



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

АКТУАЛИЗИРОВАНО
решением ученого совета ИАТЭ
протокол №9 от 28.04.2026

УТВЕРЖДАЮ

Директор _____ ИТЭ

Наименование института

_____ С.О. Гапоненко

«_23_» _____ 01 _____ 2024_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДЭ.01.01.05 Динамика и прочность турбомашин

(Код и наименование дисциплины в соответствии с РУП)

Направление подготовки _____ **13.03.03 Энергетическое машиностроение** _____
(Код и наименование направления подготовки)

Направленность(и) * _____ **Производство и эксплуатация газовых и паровых** _____
(профиль(и)) _____ **турбин** _____
(Наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация _____ **Бакалавр** _____
(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2024

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
ЭМС	Доцент, канд. физ-мат. наук	Клейдман Ольга Владимировна

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	ЭМС	12.01.2024	6	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	ЭМС	12.01.2024	6	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	Учебно- методический совет института ИТЭ	23.01.2024	5	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет института ИТЭ	23.01.2024	5	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)

Целью освоения дисциплины Динамика и прочность турбомашин является изучение теории колебаний деталей и узлов турбомашин, колебательных процессов, происходящих в энергетических машинах с позиции вибрационной надежности, методов конструирования и прочностного расчета деталей энергетических машин с учётом ползучести, термоусталости, трещиностойкости.

Задачами дисциплины являются:

- изучение конструкций узлов и деталей энергетических машин, подверженных вибрации, специфических условий их работы, способов математического описания процессов;
- овладение основами анализа вибрационной надежности энергетических машин, построения алгоритмов решения задач надежности, оценка ресурса и работоспособности деталей, узлов и систем энергомашиностроения с позиций механических колебаний;
- изучение методов расчета вибрации элементов турбомашин: лопаточного аппарата, роторов, статоров и опорных систем;
- получение навыков проведения комплексного анализа систем с позиций одновременного удовлетворения требований вибрационной надежности, экономичности и ремонтпригодности, используемых при проектировании турбомашин;
- привитие практических навыков применения и сравнения фундаментальных аналитических подходов и численных решений методом конечных элементов задач ползучести, термоусталости, трещиностойкости и динамической надежности турбомашин в исследовательских и прикладных целях.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-1 Способен к проектированию газотурбинных, паротурбинных установок и двигателей	ПК-1.5 Обосновывает технические решения при проектировании объектов энергетического машиностроения

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. математика, программное обеспечение и программирование в профессиональной деятельности, начертательная геометрия и инженерная графика, материаловедение и технология конструкционных материалов, механика, теоретические основы теплотехники, технологии машиностроения, методы моделирования и исследования, проектно-конструкторская деятельность в энергомашиностроении, энергетические установки и двигатели.

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. расчет и конструирование паровых турбин, конструирование газотурбинных установок,

преддипломная практика, подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы, НИР.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр р(ы)
			7
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	3	108	108
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	42	42
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	0,94	34	34
Лекции	0,5	18	18
Практические (семинарские) занятия	0,44	16	16
Лабораторные работы	-	0	0
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	2,06	74	74
Проработка учебного материала	2,06	74	74
Курсовой проект	0	0	0
Курсовая работа	0	0	0
Подготовка к промежуточной аттестации	0	0	0
Промежуточная аттестация:			3
			-

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	28	6	0	4	18	ТК1	ПК-1.5
Раздел 2	52	8	0	8	36	ТК2	ПК-1.5
Раздел 3	28	4	0	4	20	ТК3	ПК-1.5
Зачет	0				0	ОМ 1	ПК-1.5
Итого за 7 семестр	108	18	0	16	74		
ИТОГО	108	18	0	16	74		

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Введение в деформации, прочность и износ турбомашин, численные методы решения, МКЭ.

Тема 1.1. Условия работы и свойства материалов, используемых при проектировании турбомашин. Ползучесть и длительная прочность материалов.

Законы знакопеременного (циклического) деформирования и критерии прочности при малоцикловой усталости. Многоцикловая усталость и расчет долговечности. Трещинообразование и трещиностойкость. Коррозионный и эрозионный износ в турбомашинах. Демпфирующая способность конструкционных материалов.

Тема 1.2. Основы метода конечных элементов (МКЭ) в численных расчетах, используемых при проектировании объектов энергетического машиностроения.

Тема 1.3. Прочность элементов статора. Тепловые расширения паровой турбины. Диафрагмы турбомашин. Подшипники турбомашин и их динамические характеристики. Методы расчета.

Раздел 2. Колебания рабочих лопаток турбомашин

Тема 2.1. Причины колебаний лопаток. Основы теории колебаний естественно-закрученной лопатки. Свободные колебания незакрученной невращающейся лопатки и пакета лопаток. Собственные частоты и главные формы колебаний закрученных лопаток переменного профиля и численные методы расчёта. Влияние вращения на собственные частоты колебаний лопаток и пакетов. Количественная оценка возмущающих сил в ступенях турбомшины. Вынужденные колебания лопаток. Совместные колебания лопаток и диска. Колебания венцов с лопатками большой длины. Самовозбуждающиеся колебания лопаток турбомашин. Вибрационная надежность лопаточного аппарата турбомшины.

Раздел 3. Колебания роторов турбомашин

Тема 3.1. Причины колебаний роторов. Колебания одномассового ротора. Уравнения движения. Формы движения одномассового ротора. Инерция поворота и гироскопическое действие дисков. Колебания многомассовых роторных систем. Самовозбуждающиеся колебания ротора. Крутильные колебания ротора. Вибрационная надежность турбоагрегатов. Балансировка - статическая и динамическая.

3.4. Тематический план практических занятий

1. Диафрагмы турбин. Определение прогибов, напряжений, коэффициентов запаса по длительной прочности аналитическими методами;
2. Динамические характеристики подшипников турбин;
3. Свободные колебания рабочих лопаток турбомашин. Собственные частоты и формы колебаний рабочих лопаток и пакетов. Аналитические и численные методы;
4. Определение переменных сил, вызывающих колебания лопаток;
5. Вынужденные колебания лопаток. Отстройка от резонансов;
6. Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток;
7. Динамика роторов. Аналитические и численные методы;
8. Самовозбуждающиеся колебания ротора.

3.5. Тематический план лабораторных работ

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			Зачтено			не зачтено
ПК-1	ПК-1.5 Обосновывает технические решения при проектировании объектов энергетического машиностроения	знать:				
		- влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на вибрацию рабочих лопаток и методы обеспечения вибрационной надежности лопаток и венцов; - причины, вызывающие колебания валов и валопроводов, и меры повышения вибрационной надежности роторов	Студент самостоятельно извлекает новые знания по темам дисциплины. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Студент демонстрирует уверенно аналитические знания. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию. Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		уметь:				
		- применять методики расчета подшипников и динамические характеристики - рассчитывать	Студент умеет самостоятельно творчески выполнять	Студент умеет самостоятельно выполнять действия	Студент умеет корректно выполнять предписанные	При решении стандартных задач не продемонстрирова

		собственные частоты и главные формы рабочих лопаток в том числе с учетом демпфирования - определять собственные частоты колебаний ротора, формы колебаний с учетом податливости опор, а также амплитуды вынужденных колебаний на рабочей частоте вращения; - применять методы оценки вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток, а также расчета вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса	действия, связанные с решением исследовательских задач. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	по решению нестандартных задач. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	действия по инструкции. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	ны основные умения, имеют место грубые ошибки
		владеть:				
		Навыками применения аналитических и численных методов (МКЭ) определения прочности и вибрационной надёжности и свойств материала, используемых для проектирования турбомашин	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

5.1.1. Основная литература

1. Динамика и прочность турбомашин : учебник / А. Г. Костюк. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014271.html>. - ISBN 978-5-383-01427-1. - Текст : электронный.

2. Паровые и газовые турбины для электростанций : учебник / А. Г. Костюк [и др.] ; под ред. А. Г. Костюка. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - 557 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011577.html>. - ISBN 978-5-383-01157-7. - Текст : электронный.

3. Белкин, А. П. Диагностика теплоэнергетического оборудования / А. П. Белкин, О. А. Степанов. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-507-44499-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/230378>.

5.1.2. Дополнительная литература

1. Введение в метод конечных элементов : учебное пособие для вузов / В.Н.Шлянников, Б.В.Ильченко. - Казань : КГЭУ, 2004. - 144 с. - ISBN 5-89873-100-8. - Текст : непосредственный.

2. Эксплуатация, диагностика и надежность ГТУ : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. : Б. М. Осипов, А. В. Титов, Р. Г. Сагадеев. - Казань : КГЭУ, 2014. - 72 с. : ил. - 4738. - Текст : непосредственный.

3. Рогалев, Н. Д. Тепловые электрические станции : учебник / Н. Д. Рогалев, А. А. Дудолин, Е. Н. Олейникова. — Москва : НИУ МЭИ, 2022. — 768 с. — ISBN 978-5-7046-2623-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/307250>.

4. Автоматизированное проектирование двигателей : учебное пособие / Б. М. Осипов [и др.]. - Казань : КГТУ им. А. Н. Туполева, 2005. - 166 с. - ISBN 5757908343. - Текст : непосредственный.

5. Зубарев, Ю. М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин : учебное пособие для вузов / Ю. М. Зубарев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 212 с. — ISBN 978-5-8114-8363-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175499>.

6. Физические величины : справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с. - Текст : непосредственный.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронно-библиотечная система «Лань»	https://e.lanbook.com/
2	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	https://ibooks.ru/
3	Электронно-библиотечная система «book.ru»	https://www.book.ru/
4	Энциклопедии, словари, справочники	http://www.rubricon.com
5	Портал "Открытое образование"	http://npoed.ru
6	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru
7	Научно-технический центр «АПМ»	https://apm.ru/

5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	http://nlr.ru/
2	Платформа SpringerLink	www.link.springer.com	www.link.springer.com
3	КиберЛенинка	https://cyberleninka.ru/	https://cyberleninka.ru/
4	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	http://elibrary.ru
5	Национальная электронная библиотека (НЭБ)	https://rusneb.ru/	https://rusneb.ru/
6	Техническая библиотека	http://techlibrary.ru	http://techlibrary.ru
7	eLIBRARY.RU	www.elibrary.ru	www.elibrary.ru
8	SpringerLink	www.link.springer.com	www.link.springer.com
9	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	http://window.edu.ru/
10	Физика твёрдого тела	journals.ioffe.ru	journals.ioffe.ru
11	«Консультант плюс»	http://www.consultant.ru/	http://www.consultant.ru/

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно
2	Office Standard 2007 Russian OLP NL AcademicEdition+	Пакет программных продуктов содержащий в себе необходимые офисные программы	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №21/2010 от 04.05.2010 Неискл. право. Бессрочно

3	LMS Moodle	ПО для эффективного онлайн-взаимодействия преподавателя и студента	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
4	Браузер Chrome	Система поиска информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
5	Компас-3D V13 Модуль APM FEM	Программное обеспечение для трёхмерного моделирования, дополнительный модуль с применением МКЭ в механических задачах	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №33659/KZN12 от 04.05 2012 Неискл. право. Бессрочно
6	APM WinMachine	ПО для проведения расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения, в том числе с применением МКЭ.	ООО "НТЦ "АПМ" №2018.53027 от 15.10.2018 Неискл. право. Бессрочно
7	ANSYS	ПО для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций методом конечных элементов и прогнозирования остаточного ресурса	лицензия

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Д-514	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (доска аудиторная (2 шт.), компьютеры в комплекте с монитором (21 шт.), учебные плакаты с изображениями деталей и узлов) и др., лицензионное программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение

	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www/kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;

- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;

- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;

- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;

- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;

- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Динамика и прочность турбомашин

(Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение
(Код и наименование направления подготовки)

Квалификация Бакалавр
(Бакалавр / Магистр)

Оценочные материалы по дисциплине Динамика и прочность турбомашин, предназначенны для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

1.Технологическая карта

Семестр 7

[illegible]

билетам									
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			Зачтено			не зачтено
ПК-1	ПК-1.5 Обосновывает технические решения при проектировании объектов энергетического машиностроения	знать:				
		- влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на вибрацию рабочих лопаток и методы обеспечения вибрационной надежности лопаток и венцов; - причины, вызывающие колебания валов и валопроводов, и меры повышения вибрационной надежности роторов	Студент самостоятельно извлекает новые знания по темам дисциплины. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Студент демонстрирует уверенно аналитические знания. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию. Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		уметь:				
		- применять методики расчета подшипников и динамические характеристики - рассчитывать собственные частоты и главные формы рабочих лопаток в том числе с учетом	Студент умеет самостоятельно творчески выполнять действия, связанные с решением исследовательских	Студент умеет самостоятельно выполнять действия по решению нестандартных задач.	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции. Продемон	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые

		демпфирования - определять собственные частоты колебаний ротора, формы колебаний с учетом податливости опор, а также амплитуды вынужденных колебаний на рабочей частоте вращения; - применять методы оценки вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток, а также расчета вибрационной диаграммы пакетированн ых рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса	тельских задач. Продемон стрирован ы все основные умения, решены все основные задачи с отдельны ми несущест венными недочета ми, выполнен ы все задания в полном объеме	Продемон стрирован ы все основные умения, решены все основные задачи с негрубым и ошибками , выполнен ы все задания в полном объеме, но некоторы е с недочета ми	стрирован ы основные умения, решены типовые задачи с негрубым и ошибками , выполнен ы все задания, но не в полном объеме	ошибки
		владеть:				
		Навыками применения аналитических и численных методов (МКЭ) определения прочности и вибрационной надёжности и свойств материала, используемых для проектировани я турбомашин	Продемон стрирован ы навыки при решении нестандар тных задач без ошибок и недочетов	Продемон стрирован ы базовые навыки при решении стандартн ых задач с некоторы ми недочета ми	Имеется минималь ный набор навыков для решения стандартн ых задач с некоторы ми недочета ми	При решении стандарт ных задач не продемон стрирова ны базовые навыки, имеют место грубые ошибки

Оценка «отлично» выставляется за выполнение *расчетных работ в семестре; тестовых заданий; глубокое понимание технологических методов расчета норм расхода материалов, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание);*

Оценка «хорошо» выставляется за выполнение *расчетных работ в семестре; тестовых заданий; понимание технологических методов расчета норм расхода материалов, ответы на вопросы билета (теоретическое или практическое задание);*

Оценка «удовлетворительно» выставляется за выполнение *расчетных работ в семестре и тестовых заданий;*

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за слабое и неполное выполнение *расчетных работ в семестре и тестовых заданий.*

3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Опрос по разделам (темам)	Знание основных понятий темы/раздела/дисциплины	Перечень определений основных понятий темы/дисциплины
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Расчетно-графическая работа (РГР)	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или выполнения заданий по разделу или дисциплине в целом	Комплект индивидуальных заданий для выполнения РГР

4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Пример задания

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК-1.5 Обосновывает технические решения при проектировании объектов энергетического машиностроения

Вопросы к комплексному заданию ТК1

1. свойства материалов, используемых при проектировании турбомашин
2. критерии прочности при умеренных температурах
3. Что такое ползучесть материала, когда необходимо учитывать в расчётах

4. Длительная прочность материалов
5. Виды усталости и долговечность
6. Тепловые расширения паровой турбины
7. Принцип Лагранжа, на котором основан метод конечных элементов

Типовые задачи:

1. Определить минимальную толщину масляного слоя и температуру нагрева масла в эллиптическом подшипнике при данных нагрузке на подшипник, длине, диаметре, зазоре, угловой скорости ротора, свойствах масла
2. Определить максимальные прогибы и напряжения в диафрагме и сопловой лопатке. Оценить коэффициенты запаса прочности по длительной прочности. Даны давление пара, рабочая температура, геометрические данные, число лопаток, свойства материалов.
3. Для исходных данных найти частоту вращения, обеспечивающей нормальный режим работы подшипника
4. Рассчитать упорный подшипник турбины, воспринимающий осевую нагрузку и др. исходных данных
5. Определить относительные потери на трение в упорном подшипнике при данной номинальной мощности турбины.
6. Применить МКЭ к расчёту частот колебаний бруса постоянного сечения с шарнирными опорами на концах

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК-1.5 Обосновывает технические решения при проектировании объектов энергетического машиностроения

Вопросы к комплексному заданию ТК2

1. Причины колебаний лопаток
2. Классификация колебаний лопаток
3. Влияние жёсткости закрепления, поперечных сил и инерции поворота на частоты собственных колебаний невращающейся лопатки
4. Влияние вращения на собственные частоты колебаний лопаток и пакетов
5. Анализ вынужденных колебаний лопатки под действием гармонической нагрузки. Резонанс
6. Вибрационная диаграмма рабочих лопаток и отстройка от резонанса
7. Напряжения при вынужденных колебаниях
8. Демпфирование при вынужденных колебаниях

Типовые задачи:

1. Рассчитать вибрационные напряжения и коэффициент запаса усталостной прочности лопатки регулирующей ступени паровой турбины при определённых данных.
2. Как изменится статическая частота собственных колебаний лопатки, если её температура в процессе пуска турбины повышается от 20 до 500 градусов цельсия. Материал лопатки дан.
3. Лопатки, выполненные из стали 15Х12ВНМФ имеют первую

статическую частоту собственных колебаний 54Гц. Как изменится частота собственных колебаний при выполнении лопатки из титанового сплава BT-5?

4. Построить формы колебаний пакета лопаток для тона A1, используя исходные данные

5. Лопатка имеет длину, изгибную жёсткость, погонную массу. Определить низшие собственные частоты и формы колебаний лопатки

6. Построить вибрационную диаграмму и определить отстройку от резонансов свободной лопатки по двум первым формам колебаний. Разброс частот составляет $\pm 4\%$. (исходные данные в таблицах)

7. Каким образом надо изменить хорду профиля для обеспечения безопасной работы при частоте 50 с^{-1} , если коэффициент влияния вращения = 3,2? Даны статическая частота пакетов лопаток на колесе 180Гц при разбросе $\pm 5\%$

8. Сколько лопаток следует связать в пакет, чтобы пакетный множитель для средней частоты 1400Гц был равен нулю? На венце 210 лопаток.

Для текущего контроля ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ПК-1.5 Обосновывает технические решения при проектировании объектов энергетического машиностроения

Вопросы к комплексному заданию ТКЗ

1. Причины колебаний роторов
2. Что такое критическая частота вращения ротора
3. Создание конечно-элементной модели ротора турбомашин.
4. Самовозбуждающиеся колебания ротора. Силы масляного возбуждения
5. Самовозбуждающиеся колебания ротора. Венцовые силы
6. Самовозбуждающиеся колебания ротора. Надбандажные силы
7. Расчёт порогового расхода пара
8. Нормы вибрации турбоагрегатов.
9. Причины необходимости нормирования уровня вибрации турбоагрегата
10. Влияние балансировки роторов на вибрацию валопровода

Типовые задачи:

1. Определить частоты собственных колебаний и критические скорости однодискового ротора на подшипниках качения для индивидуальных исходных данных.

2. Ротор опирается на два одинаковых подшипника с эллиптической расточкой вкладышей. Рассчитать амплитуды колебаний ротора на низших критических частотах вращения, если неуравновешенность сосредоточена в среднем сечении ротора и соответствует центробежной силе, равной 0,1 веса ротора. Заданы параметры ротора, нормированные формы колебаний и собственные частоты.

3. Для турбины, ротор ВД которой рассмотрен на лекции, рассчитать относительную пороговую мощность, положив, что циркуляционная

аэродинамическая сила имеет жёсткость 10^7Н/м .

4. Для однодискового ротора с невесомым валом на абсолютно жёстких опорах для данных размеров, изгибной жёсткости вала, массе ротора определить критические угловые частоты, пренебрегая угловым смещением диска

5. Определить влияние податливости опор на критические частоты вращения вала длиной L с одним диском массой 4300 кг

6. Для регулирующей ступени турбины мощностью 300 МВт типа К-300-23,5 определить возбуждающие аэродинамические силы для уплотнений двух типов. Провести сравнение жёсткостей венцовых и надбандажных сил для ступеней с уплотнением двух типов.

Для промежуточной аттестации:

Список примерных вопросов

1. Причины возникновения высокочастотных колебаний. Причины возникновения низкочастотной вибрации.

2. Сложение колебаний. Синхронные и несинхронные колебания. Биения и модулированные колебания.

3. Колебания многодискового ротора.

4. Уравнение вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы под воздействием гармонической силы.

5. Колебания вала с диском по середине на жестких опорах.

6. Вал на податливых опорах. Влияние податливости опор на критические частоты вращения.

7. Неуравновешенность. Причины возникновения неуравновешенности.

8. Влияние демпфирования на вынужденные колебания роторов.

9. Гироскопический эффект и его влияние на собственные частоты.

10. Причины повышенной вибрации турбомашин