

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Динамика и прочность турбомашин**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Богомолова Т.В.
	Идентификатор	R21082b96-BogomolovaTV-4ebcd3e

Т.В.
Богомолова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

О.М.
Митрохова

Заведующий
выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

В.Г. Грибин

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. РПК-2 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения

ИД-3 Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

ИД-5 Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Выполнение задания

1. Выполнение и защита расчетного задания «Построение вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток турбинной ступени с отстройкой от резонанса и оценкой пригодности их к эксплуатации» (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Тест №1 «Динамические характеристики подшипников» (Тестирование)

2. Тест №2 «Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин» (Тестирование)

3. Тест №3 «Колебания валов и валопроводов» (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин. Оценка собственных частот лопаток и пакетов турбомашин» (Контрольная работа)

2. Контрольная работа №2 «Колебания» (Контрольная работа)

БРС дисциплины

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Тест №1 «Динамические характеристики подшипников» (Тестирование)

КМ-2 Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин. Оценка собственных частот лопаток и пакетов турбомашин» (Контрольная работа)

КМ-3 Тест №2 «Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин» (Тестирование)

КМ-4 Контрольная работа №2 «Колебания» (Контрольная работа)

КМ-5 Выполнение и защита расчетного задания «Построение вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток турбинной ступени с отстройкой от резонанса и оценкой пригодности их к эксплуатации» (Расчетно-графическая работа)

КМ-6 Тест №3 «Колебания валов и валопроводов» (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	3	6	8	12	13	14
Динамические характеристики подшипников							
Динамические характеристики подшипников	+	+					
Колебания рабочих лопаток турбомашин							
Колебания рабочих лопаток турбомашин		+	+	+	+		
Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин							
Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин			+		+		
Колебания валов и валопроводов турбомашин							
Колебания валов и валопроводов турбомашин				+		+	
Вес КМ:		20	15	15	20	20	10

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
РПК-2	ИД-ЗРПК-2 Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности	Знать: статические и динамические характеристики опорных и упорных подшипников Уметь: применять методики расчета подшипников рассчитывать 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	КМ-1 Тест №1 «Динамические характеристики подшипников» (Тестирование) КМ-2 Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин. Оценка собственных частот лопаток и пакетов турбомашин» (Контрольная работа) КМ-4 Выполнение и защита расчетного задания «Построение вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток турбинной ступени с отстройкой от резонанса и оценкой пригодности их к эксплуатации» (Расчетно-графическая работа) КМ-5 Контрольная работа №2 «Колебания» (Контрольная работа)

		вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса	
РПК-2	ИД-5РПК-2 Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения	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	КМ-3 Тест №2 «Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин» (Тестирование) КМ-6 Тест №3 «Колебания валов и валопроводов» (Тестирование)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Тест №1 «Динамические характеристики подшипников»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

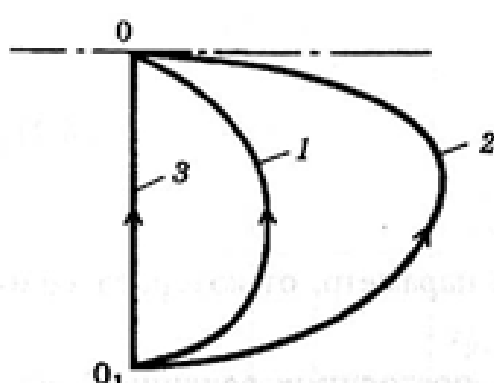
Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Время проведения 30 минут. При выполнении тестовых заданий нужно выбрать все правильные ответы и поставить в итоговой таблице знак "+" против их номеров, а знак "-" против номеров, содержащих неправильные ответы.

Краткое содержание задания:

Тест состоит из 30 вопросов.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: статические и динамические характеристики опорных и упорных подшипников	1. Изображена кривая всплытия ротора 1 для: а) сегментных подшипников; б) эллиптических подшипников в) цилиндрических подшипников.  2. Механический КПД ротора выше при применении: а) сегментных подшипников; б) цилиндрических подшипников; в) эллиптических подшипников. 3. В сегментных подшипниках рост нагрузки: а) повышает устойчивость ротора; б) понижает устойчивость ротора; в) не влияет на устойчивость ротора. 4. В эллиптических подшипниках рост нагрузки: а) повышает устойчивость ротора; б) понижает устойчивость ротора; в) не влияет на устойчивость ротора. 5. В подшипниках скольжения анизотропия

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	опор: а) повышает устойчивость ротора; б) понижает устойчивость ротора; в) не влияет на устойчивость ротора.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 2 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 4 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 10 вопросов даны неправильные ответы.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если более чем на 10 вопросов даны неправильные ответы.

**КМ-2. Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин.
Оценка собственных частот лопаток и пакетов турбомашин»**

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения два академических часа. Для решения задач могут предоставляться справочные данные по свойствам материалов турбомашин.

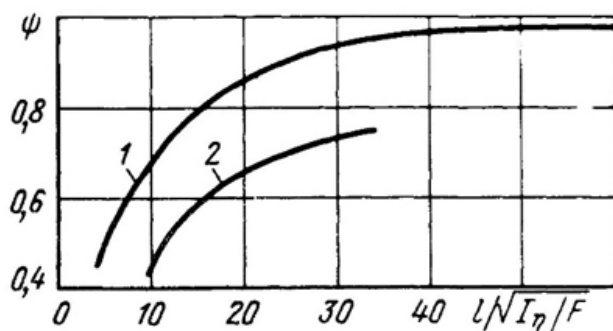
Краткое содержание задания:

Задача №1

Как изменится толщина масляной пленки в эллиптическом подшипнике, если из-за расцентровки опор нагрузка на подшипник возросла с 180 до 300 кН? Диаметр подшипника $D = 440$ мм; длина $L = 350$ мм; боковой зазор $D_g = 0,6$ мм; степень эллиптичности $m = 2/3$; поверхность вкладышей не имеет выборки; угол охвата $\alpha = 160^\circ$; вязкость масла $\eta = 0,0196$ Па*с; угловая скорость $\omega = 314,16$ рад/с.

Задача №2

Лопатка постоянного профиля, защемленная у корневого сечения и свободная на вершине, имеет длину $L = 0,098$ м, профиль Р-23-14А, хорду $b = 40$ мм. Материал лопатки – сталь 20Х13. Рабочая температура $t = 450^\circ\text{C}$. Лопатка выполнена как одно целое с промежуточным телом. Определить наименьшую собственную частоту и период колебаний. Определить, как изменится частота первого тона колебаний лопатки, если ее хорду увеличить в два раза.



Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: применять методики расчета подшипников	1. Определить изменение толщины масляной пленки в эллиптическом подшипнике, если из-за расцентровки опор нагрузка на подшипник возросла.
Уметь: рассчитывать собственные частоты и главные формы рабочих лопаток в том числе с учетом демпфирования	1. Рассчитать собственную частоту и период колебаний лопаток.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, но есть недочеты: не указаны размерности, ошибки в арифметических вычислениях, искажающие результат не более чем в два раза.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если одна задача решена верно, а во второй задаче указан только путь решения, но она не доведена до результата.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решена только одна задача и студент не приступал к решению второй задачи или выбрал неверный путь решения.

КМ-3. Тест №2 «Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

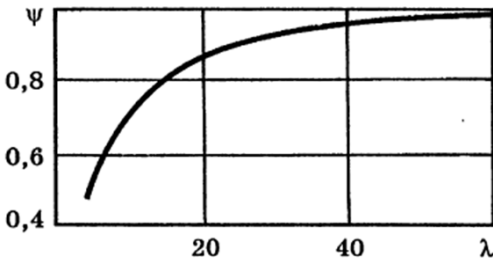
Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Время проведения 30 минут. При выполнении тестовых заданий нужно выбрать все правильные ответы и поставить в итоговой таблице знак "+" против их номеров, а знак "-" против номеров, содержащих неправильные ответы.

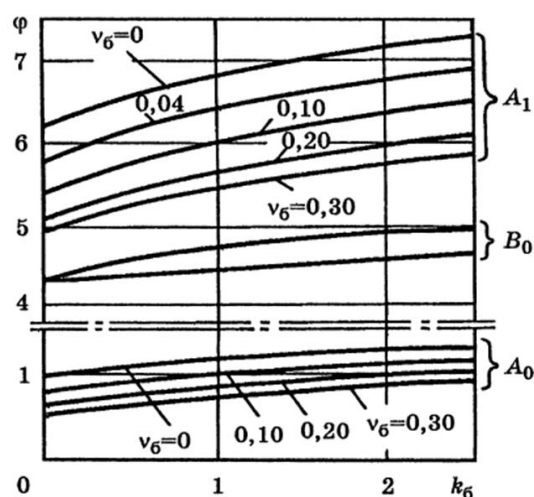
Краткое содержание задания:

Тест состоит из 30 вопросов.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на вибрацию рабочих лопаток и методы обеспечения вибрационной надежности лопаток и венцов	1.Алгоритм определения собственных частот одиночных лопаток турбомашин требует в качестве исходных данных: а) располагаемый теплоперепад ступени; б) давление на входе в ступень; в) длину лопатки; г) площадь поперечного сечения профиля; д) момент инерции профиля; е) площадь профиля; ж) плотность потока. 2.Множитель ψ показывает влияние на собственную частоту:  Зависимость множителя ψ от гибкости лопатки а) жесткости закрепления одиночной лопатки; б) жесткости закрепления пакета лопаток; в) момента инерции поворота сечения одиночной лопатки; г) влияние бандажа на 1 собственную частоту; д) применяется для расчета 1-й и более высоких частот; е) применяется для расчета 1-й частоты. 3.Повышение температуры от 20 до 600 °С а) увеличивает собственную частоту; б) уменьшает собственную частоту; в) практически не влияет на собственную частоту. 4.Вибрационная диаграмма служит для отстройки от резонансов лопаток, применяемых для турбогенераторов с частотой тока 50 Гц, имеющих собственные частоты в пределах: а) до 350-400 Гц; б) 400-1000 Гц; в) свыше 1000 Гц. 5.Как поступают, если при конструировании 1 собственная частота лопатки с учетом вращения находится в пределах 48-50 Гц: а) уменьшают частоту ниже 48 Гц; б) увеличивают частоту свыше 50 Гц; в) иное. 6.Вращение лопатки на рабочей частоте 50 Гц с статической собственной частотой 5000 Гц влияет на

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки																								
	динамическую частоту: а) существенно (более 5%) в сторону увеличения; б) существенно (более 5%) в сторону уменьшения; в) несущественно. 7.Отметьте правильные утверждения: Опыт эксплуатации турбин позволил установить нормы необходимого запаса $\Delta n = n_p - n_{рез}$ между рабочей n_p и резонансной $n_{рез}$ частотами вращения для обеспечения надежной работы лопаток при различной кратности k: <table><tr><td>Кратность k</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>$(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$</td><td>10</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table> а) кратности ниже 2 не существует; б) кратность ниже 2 не существенна с позиции амплитуды колебаний; в) для кратности ниже 2 существует особая норма отстройки 8.Отметьте правильные утверждения: Опыт эксплуатации турбин позволил установить нормы необходимого запаса $\Delta n = n_p - n_{рез}$ между рабочей n_p и резонансной $n_{рез}$ частотами вращения для обеспечения надежной работы лопаток при различной кратности k: <table><tr><td>Кратность k</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>$(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$</td><td>10</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td></tr></table> а) кратности выше 6 не существует; б) кратность выше 6 не существенна с позиции амплитуды колебаний; в) для кратности выше 6 существует особая норма отстройки. 9.Изгибающие напряжения при колебаниях в рабочих лопатках постоянного профиля конкретной ступени: а) обратно пропорциональны квадрату хорды профиля; б) прямо пропорциональны квадрату хорды профиля; в) не зависят от размера хорды профиля; г) обратно пропорциональны хорде профиля; д) прямо пропорциональны хорде профиля. 10. Вибрационная надежность (запас прочности) при изгибе рабочих лопаток повышается при прочих равных условиях: а) применением демпферной проволоки; б) применением бандажа; в) увеличением хорды; г) применением материала с повышенным пределом текучести; д) снижением плотности применяемого материала.	Кратность k	2	3	4	5	6	$(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$	10	7	6	5	4	Кратность k	2	3	4	5	6	$(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$	10	7	6	5	4
Кратность k	2	3	4	5	6																				
$(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$	10	7	6	5	4																				
Кратность k	2	3	4	5	6																				
$(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$	10	7	6	5	4																				



Зависимость φ от параметров k_6 и ν_6

11.

- а) А0 и А1- внутрипакетные колебания;
- б) А0 и А1- синфазные колебания;
- в) В0-внутрипакетные колебания;
- г) все указанные виды колебаний внутрипакетные;
- д) диаграмма построена не для пакетов, а для одиночных лопаток;
- е) по диаграмме нельзя определить частоты одиночных лопаток.

12. При оценке надежности рабочих лопаток, работающих при высоких температурах (свыше 400 градусов Цельсия):

- а) учитывается трещиностойкость;
- б) учитывается ползучесть;
- в) проводится расчет на малоцикловую усталость;
- г) рассчитываются статические напряжения изгиба;
- д) определяются растягивающие напряжения;
- е) осуществляется отстройка от резонансов.

13. При оценке надежности рабочих лопаток, работающих при низкой (ниже 400 градусов Цельсия) температуре:

- а) учитывается трещиностойкость;
- б) учитывается ползучесть;
- в) проводится расчет на малоцикловую усталость;
- г) рассчитываются статические напряжения изгиба;
- д) определяются растягивающие напряжения;
- е) осуществляется отстройка от резонансов.

14. Для расчета напряжений при резонансе в корневом сечении пакетированной лопатки постоянного профиля имеем

$$\sigma = (2\pi/\eta) C_m \chi_k \sigma_{ст}$$

- а) статические напряжения изгиба $\sigma_{ст}$ определяются как отношение предела текучести лопаточной стали к

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	коэффициенту запаса прочности на изгиб; б) статические напряжения изгиба не учитывают условий работы и марки материала и определяются как: до 15 МПа в парциальных ступенях; до 35 МПа в активных с полным подводом пара; до 100 МПа в реактивных (последних) ступенях; в) выбираются по материалу с учетом условий работы и концентрации напряжений. 15. Соотношение $0,85 < \frac{nz'_n}{f_d} < 1,15,$ где z_n — число сопловых лопаток; e — степень парциальности; $z'_n = z_n / e$; nz'_n — частота первой гармоники кромочной неравномерности. определяет границы: а) безопасной зоны работы лопаток, имеющих указанные параметры и не требует дополнительной проверки; б) опасной зоны работы лопаток, имеющих указанные параметры и не требует дополнительной проверки; в) опасной зону лопаток только по тону A0 и требует дополнительной проверки по высшим тонам; г) безопасной зоны лопаток только по тону A0 и требует дополнительной проверки по высшим тонам; д) не относящиеся к тону A0. 16. Соотношение $4 < (nz'_n / f_0) < 8$ где z_n — число сопловых лопаток; e — степень парциальности; $z'_n = z_n / e$; nz'_n — частота первой гармоники кромочной неравномерности. определяет границы: а) опасной зоны работы лопаток, имеющих указанные параметры и не требует дополнительной проверки; б) безопасной зоны работы лопаток, имеющих указанные параметры и не требует дополнительной проверки; в) опасной зоны лопаток только по тонам A1 и B0 и требует дополнительной проверки по низшему тону; г) безопасной зоны лопаток только по тонам A1 и B0 и требует дополнительной проверки по низшему тону; д) не относящиеся к тонам A1 и B0.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 2 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 4 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 10 вопросов даны неправильные ответы.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если более чем на 10 вопросов даны неправильные ответы.

КМ-4. Контрольная работа №2 «Колебания»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа содержит две задачи. Время выполнения два академических часа. Для решения задач могут предоставляться справочные данные по свойствам материалов турбомашин.

Краткое содержание задания:

Задача №1

Теплоперепад ступени турбины $H_0 = 40$ кДж/кг; окружная скорость $u = 140$ м/с; $\eta_{\text{пол}} = 0,88$; суммарный коэффициент потерь $\zeta_{\Sigma} = 0,064$; угол выхода из сопловой решетки $\alpha_1 = 12^\circ$; хорды решеток $b_1 = 0,084$ м, $b_2 = 0,072$ м; $t_{\text{лотн}} = 0,81$; $t_{\text{лотн}} = 0,75$; осевой зазор между сопловой и рабочей решетками $s = 10$ мм. Оценить интенсивность первой гармоники кромочного возбуждения, если параметры следа $A = 0,66$; $B = 3$.

Задача № 2

Симметричный однодисковый ротор имеет собственную частоту колебаний без учета демпфирования $f_1 = 40$ Гц. Рабочая частота вращения $n_r = 50$ с⁻¹. Неуравновешенность на диске определяется эксцентриситетом $e = 0,1 \cdot 10^{-4}$ м. В системе имеется демпфирование с коэффициентом сопротивления $b = 0,15$. Рассчитать амплитуды колебаний на рабочей частоте вращения. Определить амплитуды колебаний ротора при резонансе. Построить АЧХ.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: определять собственные частоты колебаний ротора, формы колебаний с учетом податливости опор, а также амплитуды вынужденных колебаний на рабочей частоте вращения	1.Определить амплитуды колебаний ротора при резонансе. 2.Оценить интенсивность первой гармоники кромочного возбуждения/

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены полностью и верно, без недочетов; у всех величин указана размерность.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если две задачи решены верно, но есть недочеты: не указаны размерности, ошибки в арифметических вычислениях, искажающие результат не более чем в два раза.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если одна задача решена верно, а во второй задаче указан только путь решения, но она не доведена до результата.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решена только одна задача и студент не приступал к решению второй задачи или выбрал неверный путь решения.

КМ-5. Выполнение и защита расчетного задания «Построение вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток турбинной ступени с отстройкой от резонанса и оценкой пригодности их к эксплуатации»

Формы реализации: Выполнение задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Обучающемуся выдается задание на типовой расчет в начале семестра. Защита проводится на 12 неделе. К защите типового расчета допускаются студенты, правильно выполнившие типовой расчет. На защите студенту задаются теоретические и практические вопросы по выполненному типовому расчету.

Краткое содержание задания:

Исходные данные вариантов по номеру в журнале найти в таблице:

N	Длина лопатки, мм	Хорда, мм	Средний диаметр, м	Профиль	Угол установки	Число сопловых лопаток	Крепление бандажа	Число лопаток в пакете
1	25,0	30	1,080	P-2314A	75.48°	54	приклепан	5
2	26,7	30	1,086	P-2314A	76.12°	56	припаян	6
3	31,4	30	1,092	P-2314A	77.24°	58	приклепан	7
4	37,3	30	1,096	P-2314A	78.36°	60	припаян	8
5	44,6	30	1,106	P-2314A	79.48°	62	приклепан	9
6	53,7	30	1,114	P-2617A	80.12°	64	припаян	10
7	60,5	30	1,120	P-2617A	80.24°	66	приклепан	11
8	67,5	30	1,128	P-2617A	80.48°	68	припаян	12
9	74,2	30	1,134	P-2617A	81.12°	70	приклепан	6
10	81,4	30	1,140	P-2617A	81.36°	72	припаян	8
11	80,0	50	1,255	P-3525A	75.48°	56	приклепан	6
12	86,9	50	1,262	P-3525A	76.12°	58	припаян	7
13	102,8	50	1,278	P-3525A	77.24°	60	приклепан	8
14	109,6	50	1,284	P-3525A	78.36°	62	припаян	9
15	130,8	50	1,306	P-3525A	79.48°	64	приклепан	10
16	154,7	60	1,330	P-3525A	80.12°	66	припаян	11
17	187,9	60	1,378	P-3525A	80.24°	68	приклепан	12
18	190,2	60	1,382	P-3525A	80.48°	70	припаян	6
19	192,4	60	1,392	P-3525A	81.12°	72	приклепан	8
20	194,6	60	1,398	P-3525A	81.36°	56	припаян	6

Число рабочих лопаток определить самостоятельно с учетом оптимального шага решетки и кратное числу лопаток в пакете.

Ширина бандажа $B_b = 60$ мм; высота бандажа $d_b = 5$ мм.

Материал лопаток и бандажа 20X13.

Рассчитать вибрационную надёжность пакета рабочих лопаток по возмущающим силам первого рода при частоте вращения $n = 50$ Гц . Определить требуется ли отстройка от резонанса.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: применять методы оценки вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток, а также расчета вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса	1.Определить вибрационную надёжность пакета рабочих лопаток.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы либо при ответе часто допускались ошибки.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно даны ответы менее чем на половину вопросов.

КМ-6. Тест №3 «Колебания валов и валопроводов»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Время проведения 30 минут. При выполнении тестовых заданий нужно выбрать все правильные ответы и поставить в итоговой таблице знак "+" против их номеров, а знак "-" против номеров, содержащих неправильные ответы.

Краткое содержание задания:

Тест состоит из 30 вопросов.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: причины, вызывающие колебания валов и валопроводов, и меры повышения вибрационной надежности роторов	1.Укажите правильно причины колебаний роторов турбомашин: а) высокие скорости потока в проточной части; б) высокая температура на входе в турбину; в) вакуум в конденсаторе; г) двухфазное течение пара; д) неполное сгорание топлива в парогенераторе; е) центробежные силы, возникающие при небалансе; ж) кромочное возбуждение; з) силы в масляном слое подшипников

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	скольжения; и) неравножесткость сечения ротора; к) неточности при сборке полумуфт; л) неконсервативные силы в уплотнениях и на лопатках; м) остаточный погиб ротора при пуске или останове. 2. Собственная частота ротора паровой энергетической турбины: а) увеличивается при росте демпфирования; б) уменьшается при росте демпфирования; в) слабо зависит от демпфирования; 3. В паровых турбинах увеличение расстояния между опорами: а) повышает устойчивость ротора; б) понижает устойчивость ротора; в) не влияет на устойчивость ротора. 4. В паровых турбинах увеличение зазоров в лабиринтных радиальных уплотнениях: а) повышает устойчивость ротора; б) понижает устойчивость ротора; в) не влияет на устойчивость ротора. 5. При каких колебаниях фаза неустойчива в процессе эксплуатации: а) вынужденных от неуравновешенности; б) низкочастотных; в) свободных; г) вызванных неравножесткостью. 6. При каком значении виброскорости на опорах турбина немедленно отключается и что означают другие значения виброскорости: а) 11,2 мм/с; б) 4,5 мм/с; в) 7,1 мм/с. 7. При каких колебаниях фаза неизменна в процессе эксплуатации: а) вынужденных от неуравновешенности; б) низкочастотных; в) свободных; г) вызванных неравножесткостью. 8. Какая балансировка принята в турбостроении: а) только статическая; б) только динамическая; в) статическая и динамическая в нескольких плоскостях. 9. Допускается ли работа турбины при наличии в спектре виброскорости низкочастотной вибрации: а) 0,6 мм/с;

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	б) 1,2 мм/с в) 1.8 мм/с. 10. Допускается ли работа турбины при рабочей частоте 314 рад/с и собственной: а) 300 рад/с; б) 600 рад/с; в) 155 рад/с. 11. Допускается ли работа турбины при рабочей частоте 157 рад/с и собственной: а) 300 рад/с; б) 600 рад/с; в) 155 рад/с.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 2 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 4 вопроса даны неправильные ответы.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не более чем на 10 вопросов даны неправильные ответы.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если более чем на 10 вопросов даны неправильные ответы.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

1. Собственная частота ротора паровой энергетической турбины:
 - а) увеличивается при росте демпфирования;
 - б) уменьшается при росте демпфирования;
 - в) слабо зависит от демпфирования;
2. При каком значении виброскорости на опорах турбина немедленно отключается и что означают другие значения виброскорости:
 - а) 11,2 мм/с;
 - б) 4,5 мм/с;
 - в) 7,1 мм/с.

Задача №1

Для лопатки постоянного профиля длиной $L = 0,125$ м со средним диаметром $d_{ср} = 1,2$ м угол установки профиля $\beta_{уст} = 85^\circ$; площадь профиля $F = 10,315 \times 10^{-4}$ м², с минимальным момент инерции $I_h = 1,719 \times 10^{-8}$ м⁴; Бандаж приклепан и припаян. Ширина бандажа $B_b = 64,0$ мм; толщина бандажа $d_b = 6$ мм. Шаг лопаток по бандажу $t_b = 50$ мм. Число лопаток в пакете $j = 8$. Угловая скорость $\omega = 314$ рад/с. Материал лопаток и бандажа – сталь 20Х13. Определить собственные частоты пакетов лопаток.

Задача №2

Теплоперепад ступени турбины $H_0 = 40$ кДж/кг; окружная скорость $u = 140$ м/с; $\eta_{ол} = 0,88$; суммарный коэффициент профильных и кромочных потерь $\chi_{ПК} = 0,064$; угол выхода из сопловой решетки $\alpha_1 = 12^\circ$; хорды решеток $b_1 = 0,084$ м, $b_2 = 0,072$ м; $t_{1отн} = 0,81$; $t_{1отн} = 0,75$; осевой зазор между сопловой и рабочей решетками $s = 10$ мм. Оценить интенсивность первой гармоники кромочного возбуждения, если параметры следа $A = 0,66$; $B = 3$.

Процедура проведения

Зачет проводится в устной форме по билетам согласно программе зачета. Билет включает теоретические тестовые вопросы и две практических задачи.

Время на подготовку - не более 60 мин.

Время опроса - не более 20 мин.

Для решения практических задач могут предоставляться справочные данные по свойствам материалов турбомашин.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗРПК-2 Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1. Примеры практических задач:

Задача №1

Для лопатки постоянного профиля длиной $L = 0,125$ м со средним диаметром $d_{cp} = 1,2$ м угол установки профиля $\beta_{уст} = 85^\circ$; площадь профиля $F = 10,315 \times 10^{-4}$ м², с минимальным момент инерции $I_h = 1,719 \times 10^{-8}$ м⁴; Бандаж приклепан и припаян. Ширина бандажа $B_b = 64,0$ мм; толщина бандажа $\delta_b = 6$ мм. Шаг лопаток по бандажу $t_b = 50$ мм. Число лопаток в пакете $j = 8$. Угловая скорость $\omega = 314$ рад/с. Материал лопаток и бандажа – сталь 20Х13. Определить собственные частоты пакетов лопаток.

Задача №2

Теплоперепад ступени турбины $H_0 = 40$ кДж/кг; окружная скорость $u = 140$ м/с; $\eta_{ол} = 0,88$; суммарный коэффициент профильных и кромочных потерь $\chi_{ПК} = 0,064$; угол выхода из сопловой решетки $\alpha_1 = 12^\circ$; хорды решеток $b_1 = 0,084$ м, $b_2 = 0,072$ м; $t_{1отн} = 0,81$; $t_{1отн} = 0,75$; осевой зазор между сопловой и рабочей решетками $s = 10$ мм. Оценить интенсивность первой гармоники кромочного возбуждения, если параметры следа $A = 0,66$; $B = 3$.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

2. Компетенция/Индикатор: ИД-5_{РПК-2} Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструкционные решения

Вопросы, задания

1. Примеры теоретических тестовых вопросов:

1. Собственная частота ротора паровой энергетической турбины:

- а) увеличивается при росте демпфирования;
- б) уменьшается при росте демпфирования;
- в) слабо зависит от демпфирования;

2. При каком значении виброскорости на опорах турбина немедленно отключается и что означают другие значения виброскорости:

- а) 11,2 мм/с;
- б) 4,5 мм/с;
- в) 7,1 мм/с.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Задания формируются случайным образом из базы заданий. В тестирование включены теоретические вопросы, предполагающие либо выбор одного верного ответа из предложенных, либо нескольких верных ответов из предложенных вариантов, и задания свободного изложения и(или) небольшие вычислительные задачи на основе КМ

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решены задачи и при ответе на тестовые вопросы зачетного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения раз-личных процессов и явлений или решения задач.

Оценка: 4 («хорошо»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если правильно решены задачи, и при ответе на вопросы зачетного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не решена одна задача, и в ответах на вопросы зачетного билета допущены ошибки.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если одна задача не решена полностью, а вторая задача имеет недочеты или не даны ответы на вопросы зачетного билета.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих.