

**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
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель
(должность)

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Богомолова Т.В. |
| | Идентификатор | R21082b96-BogomolovaTV-4ebcd34 |

(подпись)

Т.В.
Богомолова
(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

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

(подпись)

О.М.
Митрохова
(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

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

(подпись)

В.Г. Грибин
(расшифровка
подписи)

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. ПК-1 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

| 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 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

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 |
|--------------------|--|---|--|
| ПК-1 | ИД-3ПК-1 Выполняет комплекс расчетов элементов объектов профессиональной деятельности | <p>Знать:</p> <p>статические и динамические характеристики опорных и упорных подшипников</p> <p>Уметь:</p> <p>применять методики расчета подшипников</p> <p>рассчитывать собственные частоты и главные формы рабочих лопаток в том числе с учетом демпфирования</p> <p>определять собственные частоты колебаний ротора, формы колебаний с учетом податливости опор, а также амплитуды вынужденных колебаний на рабочей частоте вращения</p> <p>применять методы оценки вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток, а также расчета</p> | <p>Тест №1 «Динамические характеристики подшипников» (Тестирование)</p> <p>Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин. Оценка собственных частот лопаток и пакетов турбомашин» (Контрольная работа)</p> <p>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)</p> <p>Контрольная работа №2 «Колебания» (Контрольная работа)</p> |

| | | | |
|------|--|--|---|
| | | вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса | |
| ПК-1 | ИД-5 _{ПК-1} 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 | Тест №2 «Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин» (Тестирование) 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

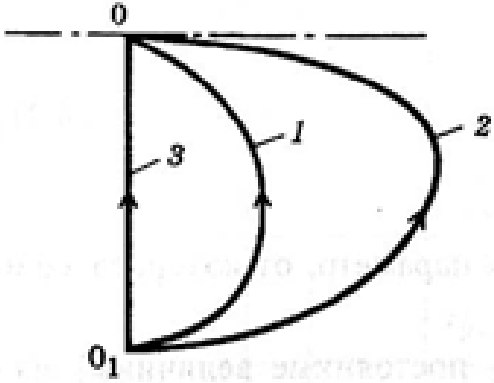
Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

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:

| | |
|---|--|
| <p>Знать: статические и динамические характеристики опорных и упорных подшипников</p> | <p>1. Изображена кривая всплытия ротора 1 для:</p> <ul style="list-style-type: none">а) сегментных подшипников;б) эллиптических подшипниковв) цилиндрических подшипников.  <p>2. Механический КПД ротора выше при применении:</p> <ul style="list-style-type: none">а) сегментных подшипников;б) цилиндрических подшипников;в) эллиптических подшипников. <p>3. В сегментных подшипниках рост нагрузки:</p> <ul style="list-style-type: none">а) повышает устойчивость ротора;б) понижает устойчивость ротора;в) не влияет на устойчивость ротора. <p>4. В эллиптических подшипниках рост нагрузки:</p> <ul style="list-style-type: none">а) повышает устойчивость ротора;б) понижает устойчивость ротора;в) не влияет на устойчивость ротора. <p>5. В подшипниках скольжения анизотропия опор:</p> <ul style="list-style-type: none">а) повышает устойчивость ротора;б) понижает устойчивость ротора;в) не влияет на устойчивость ротора. |
|---|--|

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не 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.

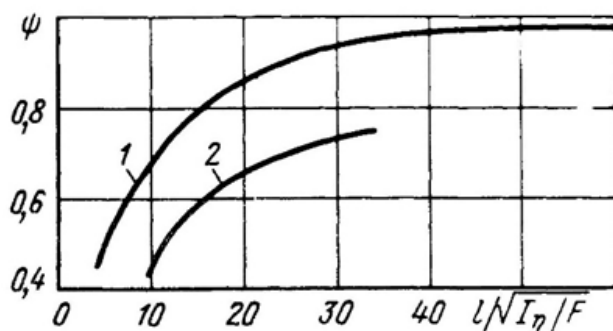
Краткое содержание задания:

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 $D_r = 0,6$ 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:

| | |
|---|--|
| 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

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

Оценка: 4

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

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

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

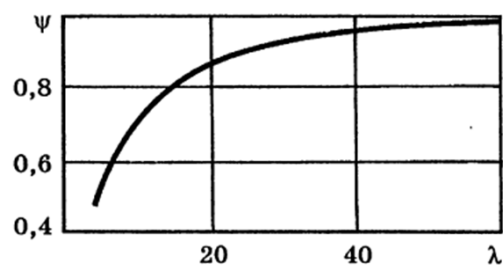
Процедура проведения контрольного мероприятия: Время проведения 30 минут. При выполнении тестовых заданий нужно выбрать все правильные ответы и поставить в итоговой таблице знак "+" против их номеров, а знак "-" против номеров, содержащих неправильные ответы.

Краткое содержание задания:

Тест состоит из 30 вопросов.

Контрольные вопросы/задания:

| | |
|---|--|
| Знать: влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на вибрацию рабочих лопаток и методы обеспечения вибрационной надежности лопаток и венцов | <p>1. Алгоритм определения собственных частот одиночных лопаток турбомашин требует в качестве исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. <p>2. Множитель ψ показывает влияние на собственную частоту:</p> |
|---|--|



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 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 :

| Кратность k | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|----|---|---|---|---|
| $(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$ | 10 | 7 | 6 | 5 | 4 |

- 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 :

| Кратность k | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|----|---|---|---|---|
| $(\Delta n/n_p) \cdot 100, \%$ | 10 | 7 | 6 | 5 | 4 |

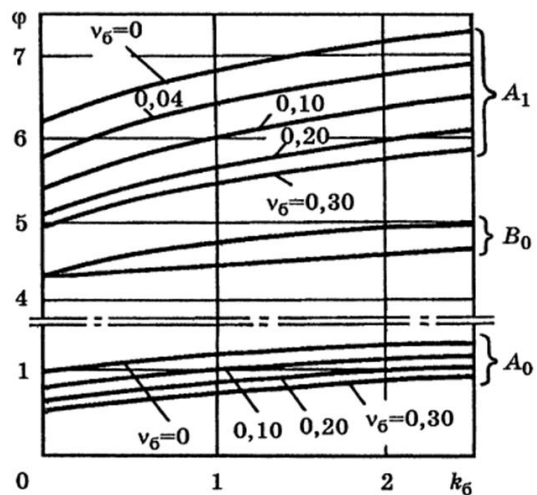
- а) кратности выше 6 не существует;
- б) кратность выше 6 не существенна с позиции амплитуды колебаний;
- в) для кратности выше 6 существует особая норма отстройки.

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.



Зависимость φ от параметров $k_б$ и $\nu_б$

- 11.
- а) A0 и A1- внутривибрационные колебания;
 - б) A0 и A1- синфазные колебания;
 - в) B0- внутривибрационные колебания;
 - г) все указанные виды колебаний внутривибрационные;
 - 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

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

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

$$0,85 < \frac{nz'_n}{f_n} < 1,15,$$

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 зоны лопаток только по тону А0 и требует дополнительной проверки по высшим тонам;

г) безопасной зоны лопаток только по тону А0 и требует дополнительной проверки по высшим тонам;

д) не относящиеся к тону А0.

16. Соотношение

| | |
|--|---|
| | $4 < (nz'_n / f_0) < 8$ <p>где z_n — число сопловых лопаток; e — степень парциальности; $z'_n = z_n / e$; nz'_n — частота первой гармоники кромочной неравномерности.</p> <p>определяет границы:</p> <p>а) опасной зоны работы лопаток, имеющих указанные параметры и не требует дополнительной проверки;</p> <p>б) безопасной зоны работы лопаток, имеющих указанные параметры и не требует дополнительной проверки;</p> <p>в) опасной зоны лопаток только по тонам А1 и В0 и требует дополнительной проверки по низшему тону;</p> <p>г) безопасной зоны лопаток только по тонам А1 и В0 и требует дополнительной проверки по низшему тону;</p> <p>д) не относящиеся к тонам А1 и В0.</p> |
|--|---|

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не 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

Температурный перепад ступени турбины $H0 = 40$ кДж/кг; окружная скорость $u = 140$ м/с; $\eta_{ол} = 0,88$; 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; $t_{1отн} = 0,81$; $t_{2отн} = 0,75$; 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 $n_p = 50$ 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:

| | |
|--|--|
| <p>Уметь: определять собственные частоты колебаний ротора, формы колебаний с учетом податливости опор, а также амплитуды вынужденных колебаний на рабочей частоте вращения</p> | <p>1. Определить амплитуды колебаний ротора при резонансе. 2. Оценить интенсивность первой гармоники кромочного возбуждения/</p> |
|--|--|

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

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

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:

| | |
|---|--|
| <p>Уметь: применять методы оценки вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток, а также расчета вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса</p> | <p>1. Определить вибрационную надёжность пакета рабочих лопаток.</p> |
|---|--|

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

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:

| | |
|--|--|
| <p>Знать: причины, вызывающие колебания валов и валопроводов, и меры повышения вибрационной надежности роторов</p> | <p>1. Укажите правильно причины колебаний роторов турбомашин:</p> <ul style="list-style-type: none">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 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. <p>2. Собственная частота ротора паровой энергетической турбины:</p> <ul style="list-style-type: none">а) увеличивается при росте демпфирования;б) уменьшается при росте демпфирования;в) слабо зависит от демпфирования; <p>3. В паровых турбинах увеличение расстояния между опорами:</p> <ul style="list-style-type: none">а) повышает устойчивость ротора;б) понижает устойчивость ротора;в) не влияет на устойчивость ротора. <p>4. В паровых турбинах увеличение зазоров в лабиринтных радиальных уплотнениях:</p> <ul style="list-style-type: none">а) повышает устойчивость ротора;б) понижает устойчивость ротора;в) не влияет на устойчивость ротора. <p>5. При каком значении виброскорости на опорах турбина немедленно отключается и что означают другие значения виброскорости:</p> <ul style="list-style-type: none">а) 11,2 мм/с;б) 4,5 мм/с;в) 7,1 мм/с. <p>6. При каких колебаниях фаза неустойчива в процессе эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none">а) вынужденных от неуравновешенности;б) низкочастотных;в) свободных;г) вызванных неравножесткостью. <p>7. При каких колебаниях фаза неизменна в процессе эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none">а) вынужденных от неуравновешенности;б) низкочастотных;в) свободных;г) вызванных неравножесткостью. <p>8. Какая балансировка принята в турбостроении:</p> |
|--|--|

| | |
|--|--|
| | <p>а) только статическая; б) только динамическая; в) статическая и динамическая в нескольких плоскостях.</p> <p>9. Допускается ли работа турбины при наличии в спектре виброскорости низкочастотной вибрации: а) 0,6 мм/с; б) 1,2 мм/с в) 1.8 мм/с.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> |
|--|--|

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: выставляется, если не 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 $\delta_b = 6$ 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 $A = 0,66$; $B = 3$.

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-ЗПК-1 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 $d_{ср} = 1,2$ 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 $A = 0,66$; $B = 3$.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

2. Компетенция/Индикатор: ИД-5_{ПК-1} 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. X

Ответы:

XX

Верный ответ: XXX

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

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 различных процессов и явлений или решения задач.

Оценка: 4

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

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

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.