

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

Рабочая программа дисциплины
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ТУРБОМАШИН


| | |
|---|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.11 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 8 семестр - 3; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 108 часов |
| Лекции | 8 семестр - 28 часа; |
| Практические занятия | 8 семестр - 14 часов; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| Самостоятельная работа | 8 семестр - 65,7 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Тестирование Контрольная работа Расчетно-графическая работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Зачет с оценкой | 8 семестр - 0,3 часа; |

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|---|---|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Богомолова Т.В. |
| | Идентификатор | R21082b96-BogomolovaTV-4ebcd3f |

(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)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение теории колебаний деталей и узлов турбомашин, колебательных процессов, происходящих в энергетических машинах с позиции вибрационной надежности, методов расчета и конструирования деталей энергетических машин

Задачи дисциплины

- изучение конструкции 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 первичных навыков проведения комплексного анализа систем с позиций одновременного удовлетворения требований вибрационной надежности, экономичности и ремонтпригодности.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--|--|--|
| ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения | ИД-3 _{ПК-1} 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 вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса. |
| ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения | 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 |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--------------------------------|--|-------------------------------------|
| | | роторов. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания | |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|--|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| 1 | Динамические характеристики подшипников | 10 | 8 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Динамические характеристики подшипников"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Динамические характеристики подшипников" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 241-256 [2], стр. 39-42</p> | |
| 1.1 | Динамические характеристики подшипников | 10 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | | |
| 2 | Колебания рабочих лопаток турбомашин | 22 | | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Колебания рабочих лопаток турбомашин"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Колебания рабочих лопаток турбомашин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 259-292 [2], стр. 43-45</p> |
| 2.1 | Колебания рабочих лопаток турбомашин | 22 | | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | - | |
| 3 | Оценка вибрационных напряжений и усталостной | 34 | | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 22 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Оценка вибрационных напряжений и усталостной</p> | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|------|------|---|
| | прочности лопаток и пакетов турбомашин | | | | | | | | | | | | прочности лопаток и пакетов турбомашин" <u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение расчетного задания "Построение вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток турбинной ступени с отстройкой от резонанса и оценкой пригодности их к эксплуатации" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 292-336 [2], стр. 47-50 |
| 3.1 | Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин | 34 | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 22 | - | |
| 4 | Колебания валов и валопроводов турбомашин | 24 | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Колебания валов и валопроводов турбомашин" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Колебания валов и валопроводов турбомашин" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 337-412 [2], стр. 39-42 |
| 4.1 | Колебания валов и валопроводов турбомашин | 24 | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | |
| | Зачет с оценкой | 18.0 | - | - | - | - | - | - | - | 0.3 | - | 17.7 | |
| | Всего за семестр | 108.0 | 28 | - | 14 | - | - | - | - | 0.3 | 48 | 17.7 | |
| | Итого за семестр | 108.0 | 28 | - | 14 | - | - | - | - | 0.3 | 65.7 | | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КНР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Динамические характеристики подшипников

1.1. Динамические характеристики подшипников

Коэффициенты жесткости и демпфирования масляной пленки подшипников. Методы расчета. Использование таблиц.

2. Колебания рабочих лопаток турбомашин

2.1. Колебания рабочих лопаток турбомашин

Причины, вызывающие вибрации лопаток. Последствия высокой вибрации. Измерение вибраций. Собственные частоты и главные формы колебаний рабочих лопаток. Математические модели для расчета колебаний. Граничные условия. Методы расчета при различных условиях закрепления. Собственные частоты и главные формы колебаний, пакетов и венцов. Учет пакетирования, демпферных связей, заделки. Отстройка от резонансов. Вибрационная диаграмма. Изгибно-крутильные колебания лопаток. Математическая модель расчета. Формы колебаний.

3. Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин

3.1. Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин

Отстройка от резонансов. Вибрационная диаграмма. Определение переменных сил, вызывающих колебания лопаток. Силы от неоднородности потока, кромочных следов, технологических неоднородностей. Методы расчетов. Демпфирование колебаний лопаток. Конструкционное и внутреннее демпфирование. Учет демпфирования в расчетах. Влияние на частоты амплитуды колебаний. Вынужденные колебания лопаток и оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток. Математические модели расчета вынужденных колебаний. Расчет напряжений, критерии прочности. Методы обеспечения вибрационной надежности рабочих лопаток. Влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на вибрацию рабочих лопаток. Совместные колебания лопаток и диска. Влияние вращения на собственные частоты системы ДЛ.

4. Колебания валов и валопроводов турбомашин

4.1. Колебания валов и валопроводов турбомашин

Причины, вызывающие колебания валов и валопроводов. Особенности моделирования системы валопровод-подшипники-основание. Демпфирование колебаний валов и валопроводов. Внутреннее, конструкционное, аэродинамическое и гидродинамическое демпфирование. Влияние демпфирования на амплитуды и частоты. Собственные частоты и главные формы валопроводов. Определение частот и форм колебаний для системы с одной и несколькими степенями свободы. Амплитуды колебаний под действием неуравновешенности. Влияние эксцентриситета массы. Балансировка - статическая и динамическая. Меры повышения вибрационной надежности роторов. Самовозбуждающиеся колебания валопроводов. Причины, вызывающие низкочастотную вибрацию роторов турбомашин. Последствия, определение и устранение причин.

3.3. Темы практических занятий

1. Динамические характеристики подшипников турбин (2 часа);

2. Колебания рабочих лопаток турбомашин. Собственные частоты и главные формы

колебаний рабочих лопаток. Собственные частоты и главные формы колебаний, пакетов и венцов (2 часа);

3. Определение переменных сил, вызывающих колебания лопаток (2 часа);

4. Вынужденные колебания лопаток. Отстройка от резонансов (2 часа);

5. Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток (2 часа);

6. Колебания валов турбомашин. Собственные частоты и главные формы валопроводов. Траектории и фазы колебаний роторов. Влияние опор (2 часа);

7. Амплитуды колебаний роторов под действием неуравновешенности. Определение возмущающих сил, вызывающих вибрацию роторов (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | | Оценочное средство (тип и наименование) |
|---|------------------|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Знать: | | | | | | |
| статические и динамические характеристики опорных и упорных подшипников | ИД-3ПК-1 | + | | | | Тестирование/Тест №1 «Динамические характеристики подшипников» |
| причины, вызывающие колебания валов и валопроводов, и меры повышения вибрационной надежности роторов | ИД-5ПК-1 | | | | + | Тестирование/Тест №3 «Колебания валов и валопроводов» |
| влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на вибрацию рабочих лопаток и методы обеспечения вибрационной надежности лопаток и венцов | ИД-5ПК-1 | | + | + | | Тестирование/Тест №2 «Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин» |
| Уметь: | | | | | | |
| применять методы оценки вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток, а также расчета вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток и отстройкой их от резонанса | ИД-3ПК-1 | | + | + | | Расчетно-графическая работа/Выполнение и защита расчетного задания «Построение вибрационной диаграммы пакетированных рабочих лопаток турбинной ступени с отстройкой от резонанса и оценкой пригодности их к эксплуатации» |
| определять собственные частоты колебаний ротора, формы колебаний с учетом податливости опор, а также амплитуды вынужденных колебаний на рабочей частоте вращения | ИД-3ПК-1 | | + | | + | Контрольная работа/Контрольная работа №2 «Колебания» |
| рассчитывать собственные частоты и главные формы рабочих лопаток в том числе с учетом демпфирования | ИД-3ПК-1 | | + | | | Контрольная работа/Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин. Оценка собственных частот лопаток и пакетов турбомашин» |
| применять методики расчета подшипников | ИД-3ПК-1 | + | | | | Контрольная работа/Контрольная работа №1 «Характеристики подшипников турбомашин. Оценка |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | собственных частот лопаток и пакетов турбомашин» |
|--|--|--|--|--|--|--|

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №8)

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

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Костюк А.Г.- "Динамика и прочность турбомашин", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020 <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014271.html>;
2. Костюк, А. Г. Сборник задач по динамике и прочности турбомашин : Учебное пособие для вузов по специальности "Турбостроение" и "Динамика и прочность машин" / А. Г. Костюк . – М. : Машиностроение, 1990 . – 336 с. - ISBN 5-217-00081-3 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SmathStudio.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|--|--|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| | П-25, Учебная аудитория | |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| | П-25, Учебная аудитория | |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| | П-25, Учебная аудитория | |
| Помещения для самостоятельной работы | НТБ-303, Компьютерный читальный зал | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| | П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов | |
| Помещения для консультирования | П-22, Кабинет сотрудников каф. ПГТ (проф. Богомолова Т.В.) | |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | П-05/1, Помещение для учебного инвентаря | |
| | П-03/3, Подсобное | |

| | | |
|--|-----------|--|
| | помещение | |
|--|-----------|--|

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Динамика и прочность турбомашин

(название 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.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 3 | 6 | 8 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | Динамические характеристики подшипников | | | | | | | |
| 1.1 | Динамические характеристики подшипников | | + | + | | | | |
| 2 | Колебания рабочих лопаток турбомашин | | | | | | | |
| 2.1 | Колебания рабочих лопаток турбомашин | | | + | + | + | + | |
| 3 | Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин | | | | | | | |
| 3.1 | Оценка вибрационных напряжений и усталостной прочности лопаток и пакетов турбомашин | | | | + | | + | |
| 4 | Колебания валов и валопроводов турбомашин | | | | | | | |
| 4.1 | Колебания валов и валопроводов турбомашин | | | | | + | | + |
| Вес КМ, %: | | | 20 | 15 | 15 | 20 | 20 | 10 |