

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

«16»

июня

2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.04.12 Турбомашины и комбинированные турбоустановки

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Динамика и прочность турбомашин»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.2

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе

6 часов – контактная работа,
48 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки

13.06.01 Электро- и теплотехника,

код и название направления

утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 878, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников

05.04.12 Турбомашин и комбинированные турбоустановки

шифр и название специальности

утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение вибрации и прочности турбомашин и методики расчетов деталей турбомашин, принципов их конструирования и особенностей эксплуатации.

Задачами дисциплины являются:

- приобретение навыков расчета элементов с учетом ползучести, термоусталости, трещиностойкости;
- освоение совместного воздействия стационарных и переходных режимов на прочность и надежность турбомашин;
- освоение методов определения прочности и вибрационной надежности основных элементов турбомашин;
- формирование навыков принимать и обосновывать конкретные технические решения при последующем конструировании энергетических установок, в частности, турбомашин.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерирование новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);

- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- владение методами теоретических и экспериментальных исследований в области турбиностроения (ПК-1);
- владение методологией научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, используемых в турбиностроении (ПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применение в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области газодинамики и надежности турбомашин и комбинированных турбоустановок (ПК-3).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- условия работы и механические свойства материалов, используемых в турбостроении, при умеренных и высоких температурах, законы однократного и циклического деформирования и критерии прочности, поведение материалов при наличии дефектов, в коррозионно-активной и эрозионно-опасной средах (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-2);
- конструкции рабочих, сопловых и направляющих лопаток, замковых соединений паровых и газовых турбин и условия их работы (ОПК-1);
- конструкции роторов паровых и газовых турбин, условия их работы, при быстрых пусках и остановках, при наличии дефектов и в коррозионно-активных средах (ОПК-2);
- конструкции и условия работы корпусов, диафрагм и обойм для паровых и газовых турбин, системы их тепловых расширений внутри машин и на фундаменте, конструкции опорных и упорных подшипников, турбомашин, преимущества и недостатки различных конструктивных решений (ПК-1);
- причины вибрации рабочих лопаток, основы теории свободных и вынужденных колебаний, роль демпфирования, перевязки в пакеты, условия возникновения автоколебаний и меры подавления опасных колебаний различной природы (ПК-2);

- причины колебаний роторов, формы движения одномассового и многодисковых роторов, условия появления самовозбуждающиеся колебаний роторов, влияние податливости опор на динамические характеристики валопровода, основы теории крутильных колебаний валопроводов и требования к их динамическим характеристикам (ПК-1).

уметь:

- проектировать качественные конструкции рабочих, сопловых и направляющих лопаток, диафрагм, корпусов, подшипников паровых и газовых турбин с обеспечением их прочности и надежности эксплуатации (ОПК-3);
- использовать современные методики расчета рабочих, сопловых и направляющих лопаток, диафрагм и корпусов паровых и газовых турбин (ОПК-2);
- использовать программные приложения для решения научно-исследовательских задач при проектировании надежных конструкций турбомашин (ПК-1);
- оценивать прочность и надежность рабочих, сопловых и направляющих лопаток, диафрагм, корпусов имеющихся и проектируемых турбомашин (УК-2).

владеть:

- методами расчета напряжений и деформаций в рабочих, сопловых и направляющих лопатках, замковых соединениях, диафрагмах, роторах и корпусах паровых и газовых турбин (ПК-3);
- методами расчета собственных частот, возмущающих сил и вынужденных колебаний рабочих лопаток (ОПК-2);
- методами анализа результатов расчета и оценки надежности элементов конструкций паровых и газовых турбин (ПК-2);
- методами оптимизации конструкций с учетом надежности, экономичности и технологичности (УК-6).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Деформация, прочность и износ материалов (10 час.)

Условия работы и свойства материалов, используемых при проектировании турбомашин. Законы однократного деформирования и критерии прочности конструкционных материалов при умеренных температурах. Ползучесть и длительная прочность материалов. Законы знакопеременного (циклического) деформирования и критерии прочности при малоцикловой усталости. Многоцикловая усталость и расчет циклической долговечности. Трещинообразование и трещиностойкость. Коррозионный и эрозионный износ в турбомашинах.

2. Прочность рабочих и направляющих лопаток, замковых соединений турбомашин (14 час.)

Особенности конструкции рабочих, сопловых и направляющих лопаток,

замковых соединений паровых и газовых турбин. Особенности конструкций охлаждаемых сопловых и рабочих лопаток газовых турбин. Напряжения и деформации в рабочих лопатках в условиях упругости. Коэффициенты запаса и оценка надежности. Рабочие лопатки предельной длины для последних ступеней паровых турбин. Ползучесть и длительная прочность рабочих лопаток газовых турбин. Предельная мощность ГТУ в связи с длительной прочностью рабочих лопаток первых ступеней газовых турбин. Расчет долговечности в условиях ползучести. Термическая усталость рабочих и направляющих лопаток газовых турбин. Расчет на прочность замковых соединений рабочих лопаток с ротором.

3. Прочность дисков и роторов (10 час.)

Классификация и особенности исполнения дисков и роторов паровых и газовых турбин. Напряжения и деформации в дисках и роторах в условиях упругости. Влияние посадки дисков на надежность роторов. Ползучесть и длительная прочность дисков и цельнокованных роторов. Проблема создания роторов паровых турбин на суперсверхкритические параметры пара. Термоусталость роторов. Влияние коррозионной среды. Трещинообразование и трещиностойкость дисков в условиях коррозионной среды.

4. Прочность элементов статора (14 час.)

Классификация и особенности исполнения корпусов, диафрагм и обойм для цилиндров высокого, среднего и низкого давлений паровых турбин и для газовых турбин. Тепловые расширения паровой турбины на фундаменте. Рациональные конструкции турбоагрегатов. Конструкции корпусов паровых турбин и последствия стеснения тепловых расширений. Напряжения и деформации корпусов в условиях упругости. Ползучесть и длительная прочность элементов корпуса. Диафрагмы турбомашин. Конструкции типичных опорных и упорных подшипников турбомашин.

5. Колебания рабочих лопаток (16 час.)

Причины колебаний рабочих 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. 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 рабочими лопатками большой длины. Самовозбуждающиеся колебания лопаток турбомашин. Оценка вибрационной надежности лопаточного аппарата турбомшины. Рациональная конструкция рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин.

6. Колебания роторов турбомашин и турбоагрегатов (18 час.)

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. Влияние податливости опор на динамические характеристики валопровода. Крутильные колебания ротора. Требования к динамическим характеристикам валопровода и оценка вибрационной надежности турбоагрегатов.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

5 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. Законы однократного деформирования и критерии прочности конструкционных материалов при умеренных температурах.
2. Ползучесть и длительная прочность материалов.
3. Законы знакопеременного (циклического) деформирования и критерии прочности при малоцикловой усталости.
4. Многоцикловая усталость и расчет циклической долговечности.
5. Трещинообразование и трещиностойкость.
6. Коррозионный и эрозионный износ в турбомашинах.
7. Особенности конструкции рабочих, сопловых и направляющих лопаток, замковых соединений паровых и газовых турбин.
8. Особенности конструкций охлаждаемых сопловых и рабочих лопаток газовых турбин.
9. Напряжения и деформации в рабочих лопатках в условиях упругости.
10. Особенности рабочих лопаток предельной длины.
11. Ползучесть и длительная прочность рабочих лопаток газовых турбин.
12. Расчет долговечности в условиях ползучести.
13. Термическая усталость рабочих и направляющих лопаток газовых турбин.
14. Расчет на прочность замковых соединений рабочих лопаток с ротором.
15. Напряжения и деформации в дисках и цельнокованых роторах в условиях упругости.
16. Влияние посадки дисков на надежность роторов.
17. Ползучесть и длительная прочность дисков и цельнокованых роторов.
18. Термоусталость роторов.
19. Влияние коррозионной среды на трещинообразование и трещиностойкость дисков паровых турбин.
20. Тепловые расширения паровой турбины на фундаменте.
21. Конструкции корпусов паровых турбин.
22. Напряжения и деформации корпусов в условиях упругости.
23. Ползучесть и длительная прочность элементов корпуса.
24. Диафрагмы турбомашин и их расчет.
25. Конструкции типичных опорных и упорных подшипников

турбомашин.

26. Причины колебаний рабочих лопаток.
27. Свободные колебания незакрученной невращающейся лопатки и пакета лопаток.
28. Собственные частоты и главные формы колебаний закрученных лопаток переменного профиля.
29. Влияние вращения на собственные частоты колебаний лопаток и пакетов.
30. Количественная оценка возмущающих сил в ступенях турбомашин.
31. Вынужденные колебания лопаток.
32. Совместные колебания лопаток и диска. Колебания венцов с рабочими лопатками большой длины.
33. Самовозбуждающиеся колебания лопаток турбомашин.
34. Оценка вибрационной надежности лопаточного аппарата турбомашин.
35. Причины колебаний роторов.
36. Колебания одномассового ротора и его формы движения.
37. Колебания многомассовых роторных систем.
38. Самовозбуждающиеся колебания ротора.
39. Влияние податливости опор на динамические характеристики валопровода.
40. Крутильные колебания ротора.
41. Требования к динамическим характеристикам валопровода турбины и оценка вибрационной надежности турбоагрегатов.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. Москва, Издательский дом МЭИ, 2007 г., 474 с. (ISBN: 978-5-383-00130-1).
2. Паровые и газовые турбины для электростанций: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний. Под ред. А.Г. Костюка. – М.: Издательство МЭИ, 2008. (ISBN: 5-903072-53-4).
3. Трухний А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. М.: Издательство МЭИ, 2006. (ISBN: 5-903072-53-4).
4. Трухний А.Д., Булкин А.Е. Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций: Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ. 2011. (ISBN: 5-903072-53-4).
5. Основы современной энергетики: Учебник для вузов. В двух частях / Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – 5-е издание,

перераб. и доп. - Часть 1. Трухний А.Д., Изюмов М.А., Поваров О.А., Малышенко С.П. Современная теплоэнергетика: М.: Издательство МЭИ, 2010. – 470 с. (ISBN: 978-5-383-00502-6).

Дополнительная литература:

6. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие для вузов / В.М. Зорин. – Издательский дом МЭИ, 2012. (ISBN: 978-5-383-00604-7).
7. Основы современной энергетики: Учебник для вузов. В двух частях / Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – 5-е издание, перераб. и доп. - Часть 1. Трухний А.Д., Изюмов М.А., Поваров О.А., Малышенко С.П. Современная теплоэнергетика: М.: Издательство МЭИ, 2010. – 470 с. (ISBN: 978-5-383-00502-6).
8. Фишер В.Й., Абенс С. Валидация проектно-конструкторских решений газотурбинного агрегата в испытательном центре «Ирширг-4». – Газотурбинные технологии. Январь/2010, №1.
9. Ольховский Г.Г. Перспективные газотурбинные и парогазовые установки для энергетики (обзор). – Теплоэнергетика. 2013. №3.