

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

«Основы экспериментальной аэродинамики»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.2

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 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 теоретических основ и практических методов, на которых базируются экспериментальные работы в современных аэродинамических лабораториях.

Задачами дисциплины являются:

- приобретение навыков применения теории подобия и моделирования в лабораторных условиях при исследовании течений в элементах турбомашин;
- освоение принципов устройства и работы современных измерительных устройств, применяющихся для экспериментального исследования параметров потока и аэродинамических характеристик в широком диапазоне скоростей;
- развитие умения и навыков, освоение методов в правильной постановке аэродинамического эксперимента, обработки и обобщения результатов измерений;
- освоение способов визуализации течений;
- освоение методов оценки погрешностей средств измерений и результатов измерений и метрологических методов их анализа;
- освоение методов измерений для достижения заданной точности результатов измерений.

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 следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- 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:

- роль экспериментальных исследований в развитии механики жидкостей и газов и, в частности, аэродинамики турбомашин (УК-1);
- теорию подобия и размерностей, основы моделирования течений в элементах турбомашин (ОПК-1);
- величины, измеряемые при экспериментальном исследовании течений в элементах турбомашин и измерительную аппаратуру (ОПК-2);
- способы визуализации течений (ПК-1);
- методику оценки точности определяемых характеристик исследуемого объекта (ПК-2).

уметь:

- использовать теорию подобия и размерностей, а также основы моделирования при исследовании течений в элементах турбомашин (ОПК-3);
- использовать величины, измеряемые при экспериментальном исследовании течений в элементах турбомашин и измерительную аппаратуру (ПК-3);

- использовать методику оценки точности определяемых характеристик исследуемого объекта (УК-5).

владеть:

- методами расчета, основанными на теории подобия и размерностей при исследовании течений в элементах турбомашин (УК-6);
- навыками обработки величин, измеряемых при экспериментальном исследовании течений в элементах турбомашин (ПК-2);
- методами оценки точности определяемых характеристик исследуемого объекта (УК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Роль экспериментальных исследований в развитии механики жидкостей и газов и, в частности, аэродинамики турбомашин(16 час.)

Влияние экспериментальных исследований на развитие воздухоплавания и авиации в 19 веке.

Влияние экспериментальных исследований течений в цилиндрических трубах на развитие теории турбулентных течений. Экспериментальные исследования течений в проточных частях турбомашин в первой половине 20 века.

Экспериментальные исследования решеток турбомашин во второй половине 20 века.

Современное состояние экспериментальной аэродинамики турбомашин и соотношение физического и математического моделирования течений в каналах произвольной формы.

2. Теория подобия и размерностей. Основы моделирования течений в элементах турбомашин (20 час.)

Задачи моделирования. Числа подобия. Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие течений в каналах. Безразмерные и размерные величины. Основные и производные единицы измерений. Формула размерностей. Величины с независимой и зависимой размерностями. П-теорема. Примеры использования П-теоремы. Критериальная база и критерии подобия. Роль частичного моделирования течений при постановке эксперимента. Моделирование течений в турбомашинах.

3. Величины, измеряемые при экспериментальном исследовании течений в элементах турбомашин и измерительная аппаратура (16 час.)

Силовые, расходные, вибрационные и акустические характеристики исследуемых объектов. Форма их универсального представления. Величины, подлежащие прямым измерениям при постановке физического эксперимента. Способы измерений статических давлений и давлений полного торможения в каналах произвольной формы. Регистрирующие приборы. Способы определения направления движения потока и его скорости в точке измерения. Особенности измерения температур в движущемся потоке. Расходомеры. Малоинерционные датчики давлений. Измерение мгновенных давлений и

скоростей. Измерения во влажнопаровых потоках. Измерение вибраций и акустического давления. Современные измерительные комплексы.

4. Способы визуализации течений (20 час.)

Оптические методы. (Визуализация течений с помощью оптической установки «Теплер» и интерферометра). Дымовая визуализация течений. Способы получения отпечатков линий тока на обтекаемых поверхностях. Метод светящихся частиц. Фотофиксация течений в каналах.

5. Методика оценки точности определяемых характеристик исследуемого объекта (22 час.)

Абсолютные и относительные ошибки измерений. Систематические и случайные ошибки измерений. Оценка точности косвенных измерений. Использование статистических методов обработки опытных данных.

Точность измерений при проведении промышленных испытаний турбомашин.

6. Примеры постановки экспериментальных исследований элементов турбомашин (24 час.)

Исследование суживающихся и расширяющихся сопл. Исследование регулирующих ступеней. Исследование регулирующих клапанов. Исследование решеток турбомашин, исследование диффузоров, исследование выхлопных патрубков паровых и газовых турбин. Исследование трубопроводной арматуры. Особенности исследования влажнопаровых потоков.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

1 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. Экспериментальные исследования течений в проточных частях турбомашин в 20 веке.

2. Влияние экспериментальных исследований течений в цилиндрических трубах на развитие теории турбулентных течений.

3. Современное состояние экспериментальной аэродинамики турбомашин и соотношение физического и математического моделирования течений в каналах произвольной формы.

4. Задачи моделирования.

5. Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие течений в каналах. Безразмерные и размерные величины. Основные и производные единицы измерений. Формула размерностей.

6. Величины с независимой и зависимой размерностями. П-теорема. Примеры использования П-теоремы. Критериальная база и критерии подобия.

7. Роль частичного моделирования течений при постановке эксперимента. Моделирование течений в турбомашинах.
8. Силовые, расходные, вибрационные и акустические характеристики исследуемых объектов. Форма их универсального представления.
9. Величины, подлежащие прямым измерениям при постановке физического эксперимента.
10. Способы измерений статических давлений и давлений полного торможения в каналах произвольной формы.
11. Регистрирующие приборы.
12. Особенности измерения температур в движущемся потоке.
13. Измерения во влажнопаровых потоках.
14. Измерение вибраций и акустического давления.
15. Современные измерительные комплексы.
16. Оптические методы. Визуализация течений с помощью оптической установки «Теплер» и интерферометра.
17. Дымовая визуализация течений.
18. Способы получения отпечатков линий тока на обтекаемых поверхностях.
19. Метод светящихся частиц.
20. Фотофиксация течений в каналах.
21. Примеры постановки экспериментальных исследований элементов турбомашин.
22. Исследование суживающихся и расширяющихся сопл.
23. Исследование регулирующих ступеней.
24. Исследование регулирующих клапанов.
25. Исследование решеток турбомашин, исследование диффузоров, исследование выхлопных патрубков паровых и газовых турбин.
26. Исследование трубопроводной арматуры.
27. Особенности исследования влажнопаровых потоков.

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Регулирующие и стопорно-регулирующие клапаны паровых турбин. Изд-во МЭИ, 2005 (ISBN 5-7046-1143-5).
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).

Дополнительная литература:

5. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Выхлопные патрубки паровых и газовых турбин. Изд-во МЭИ, 2002 (ISBN 5-7046-0821-3).
6. Методика и результаты экспериментальных исследований внутриканальной сепарации влаги в турбинной решетке с уменьшенным числом каналов / В. Г. Грибин, Б. А. Коршунов, А. А. Тищенко // Вестник Московского энергетического института. – 2009. – № 5. – С. 29-35. (ISSN 1993-6982).
7. Носков В.В. Экспериментальное исследование режимов течения на вибрационное состояние диффузорных элементов турбомашин. Автореферат дисс. на соискание ученой степени к.т.н. М., 2010.