

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

«Газодинамика двухфазных сред»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7, 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 проблем и особенностей течения двухкомпонентных и двухфазных сред, движущихся с большими скоростями.

Задачами дисциплины являются:

- освоение законов движения и физического содержания сложных процессов движения двухфазных сред;
- приобретение навыков решения конкретных задач расчета и профилирования сопл, каналов, диффузоров, инжекторов, длинных коммуникаций (труб);
- формирование практических умений и навыков расчета движения двухфазных сред (влажные пары, испаряющиеся жидкости) с большими скоростями;
- освоение экспериментальных методов диагностики влажнопаровых потоков.

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:

- общую теорию гетерофазных флуктуаций Я.И.Френкеля (УК-1);
- физические особенности движения и сопротивления частиц в несущем потоке (УК-2);
- приближенную методику расчета стационарных конденсационных скачков в переохлажденной среде (ПК-1);
- экспериментальные методы исследований эрозионного разрушения материалов под воздействием капель жидкости (УК-6);
- приближенную методику определения потерь от влажности в турбинной ступени (ПК-1);
- механизм эрозионных разрушений под воздействием капель жидкости (УК-1);
- способы удаления влаги из проточной части (ПК-3).

уметь:

- проектировать элементы конструкций паровых турбин, работающие в области влажного пара с обеспечением их эффективности и надежности эксплуатации (ПК-3);
- использовать современные методики расчета ступеней, рабочих, сопловых и направляющих лопаток, работающих в области влажного пара (ОПК-2);
- использовать программные приложения для решения научно-исследовательских задач при проектировании элементов проточных частей турбомашин (ПК-3);

- оценивать экономическую эффективность рабочих, сопловых и направляющих лопаток в имеющихся и проектируемых турбомашин (ПК-2).

владеть:

- методами газодинамического расчета потоков влажного пара в элементах проточных частей турбомашин (ПК-1);
- методами экспериментальных исследований влажнопарового потока в элементах проточных частей турбомашин (ОПК-1);
- методами анализа результатов расчета и оценки эффективности элементов конструкций паровых (УК-1);
- методами оптимизации конструкций элементов проточных частей турбомашин с учетом негативного влияния влажности (ОПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Кинетическая теория фазовых превращений (16 час.)

Неравновесные (метастабильные состояния систем). Общая теория гетерофазных флуктуаций Я.И.Френкеля. Основное кинетическое уравнение. Скорость образования ядер конденсации. Роль твердых поверхностей и посторонних включений в процессах конденсации пара и вскипания жидкости. Поверхностные явления. Основы гидрофобизации.

2. Уравнения движения и энергии (20 час.)

Уравнение сохранения массы. Уравнение сохранения количества движения. Уравнение сохранения полной энергии. Тепломассообмен в потоках двухфазных сред. Некоторые условия подобия потоков двухфазных сред. Физические особенности движения и сопротивления частиц в несущем потоке. Силы, действующие на частицу в потоке газа. Уравнения движения частиц. Сопротивление капель жидкости в газовых потоках. Дробление капель в газовом потоке.

3. Влияние концентрации и дисперсности жидкой фазы на характеристики двухфазных потоков (16 час.)

Влияние начальной концентрации жидкой фазы на спонтанную конденсацию пара. Влияние дисперсности жидкой фазы на расходные и энергетические характеристики потоков. Процессы коагуляции капель в двухфазных потоках. Движение парокapельной среды в турбинных решетках. Двухфазный пограничный слой и потери на трение. Образование пленок и режимы их течения. Физические особенности скачков. Общие уравнения для расчета конденсационных и адиабатических скачков. Приближенная методика расчета стационарных конденсационных скачков в переохлажденной среде. Потери энергии в конденсационных скачках.

4. Течение влажного пара в решетках турбин (20 час.)

Структура потока влажного пара в неподвижных решетках турбин. Структура потока влажного пара в криволинейных каналах. Аэродинамические характеристики решеток в потоке влажного пара при дозвуковых скоростях.

Особенности структуры потока и потери энергии в турбинных решетках при сверхзвуковых скоростях. Экспериментальные стенды для исследования потоков влажного пара. Подготовка влажного пара на входе в исследуемую модель. Пневмометрические методы исследований потоков влажного пара. Методы лазерной диагностики влажнопаровых потоков. Современные программные комплексы для расчета потоков влажного пара в элементах проточных частей турбомашин.

5. Влияние влажности на характеристики турбин (22 час.)

Элементарный анализ структуры потока влажного пара в осевой турбинной ступени. Влияние влажности на характеристики ступеней с цилиндрическими лопатками. Экспериментальное исследование ступеней большой верности и отсеков турбин. Энергетические характеристики турбинных ступеней, работающих на влажном паре. Баланс потерь. Приближенная методика определения потерь от влажности в турбинной ступени. Типичная конструкция влажнопаровой турбины. Быстроходные и тихоходные турбины для АЭС.

6. Эрозия твердых поверхностей в потоке влажного пара (24 час.)

Эрозионный износ поверхностей лопаток паровых турбин. О механизме эрозионных разрушений. Примеры эрозии элементов оборудования АЭС. Влияние коррозионно-активных примесей в двухфазных средах на повреждение элементов оборудования. Влияние некоторых параметров двухфазной среды на скорость эрозии. Экспериментальные методы исследований эрозионного разрушения материалов под воздействием капель жидкости. Способы удаления влаги из проточной части. Периферийная и внутриканальная сепарация. Вдув греющего пара.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

7 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. Общая теория гетерофазных флуктуаций Я.И.Френкеля.
2. Основное кинетическое уравнение. Скорость образования ядер конденсации.
3. Роль твердых поверхностей и посторонних включений в процессах конденсации пара и вскипания жидкости. Поверхностные явления. Основы гидрофобизации.
4. Уравнения движения и энергии.
5. Тепломассообмен в потоках двухфазных сред.
6. Некоторые условия подобия потоков двухфазных сред.
7. Физические особенности движения и сопротивления частиц в несущем потоке.

8. Силы, действующие на частицу в потоке газа. Уравнения движения частиц.
9. Сопротивление капель жидкости в газовых потоках. Дробление капель в газовом потоке.
10. Влияние начальной концентрации жидкой фазы на спонтанную конденсацию пара.
11. Влияние дисперсности жидкой фазы на расходные и энергетические характеристики потоков.
12. Процессы коагуляции капель в двухфазных потоках. Движение парокapельной среды в турбинных решетках.
13. Двухфазный пограничный слой и потери на трение.
14. Образование пленок и режимы их течения.
15. Физические особенности скачков. Общие уравнения для расчета конденсационных и адиабатических скачков.
16. Структура потока влажного пара в неподвижных решетках турбин.
17. Аэродинамические характеристики решеток в потоке влажного пара при дозвуковых скоростях.
18. Особенности структуры потока и потери энергии в турбинных решетках при сверхзвуковых скоростях.
19. Пневмометрические методы исследований потоков влажного пара.
20. Методы лазерной диагностики влажнопаровых потоков.
21. Элементарный анализ структуры потока влажного пара в осевой турбинной ступени.
22. Влияние влажности на характеристики ступеней с цилиндрическими лопатками.
23. Энергетические характеристики турбинных ступеней, работающих на влажном паре. Баланс потерь.
24. Типичная конструкция влажнопаровой турбины. Быстроходные и тихоходные турбины для АЭС.
25. Эрозионный износ поверхностей лопаток паровых турбин.
26. Влияние коррозионно-активных примесей в двухфазных средах на повреждение элементов оборудования.
27. Способы удаления влаги из проточной части. Периферийная и внутриканальная сепарация. Вдув греющего пара.

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Зарянкин А.Е. Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей. Учебник для вузов по направлению "Энергетическое машиностроение" и "Теплоэнергетика и теплотехника". – М.: Изд. дом МЭИ, 2014 . – 590 с. (ISBN: 978-5-383-00903-1).

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).

Дополнительная литература:

5. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие для вузов / В.М. Зорин. – Издательский дом МЭИ, 2012. (ISBN: 978-5-383-00604-7).
6. Дейч М. Е., Филиппов Г. А. Газодинамика двухфазных сред. М.: Энергоиздат, 1981.
7. Филиппов, Г. А. Неадиабатические и двухфазные течения сжимаемых сред. В 2-х частях / Г. А. Филиппов, Г. А. Салтанов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М . – 1977.