

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

«Спецглавы газодинамики турбомашин»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.1

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 газодинамических процессов в проточной части турбомашин методами вычислительной газодинамики.

Задачами дисциплины являются:

- формирование навыков расчета газодинамических характеристик турбомашин;
- освоение методов газодинамического проектирования;
- освоение методов газодинамического проектирования в программных комплексах оптимального проектирования проточных частей и расчета газодинамических характеристик.

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);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- 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:

- законы движения жидкостей и газов в каналах произвольных форм (ПК-1);
- теоретические основы движения сжимаемых жидкостей со сверхзвуковыми скоростями (ПК-3);
- особенности движения насыщенного и влажного пара в суживающихся и расширяющихся соплах и решетках турбомашин (ПК-2);
- основные особенности движения жидкостей в пограничном слое и простейшие методы его расчета (УК-2);
- методы расчета течений рабочих сред в соплах, диффузорах, щелях с острой кромкой (ОПК-3);
- основные преобразования энергии в решетках турбомашин (УК-1);
- методы расчета потерь энергии в решетках турбомашин (ПК-2);
- основные теории подобия и размерностей (УК-6).

уметь:

- самостоятельно разбираться в нормативных методиках расчета и применять их для решения конкретных задач (ПК-1);
- использовать программы аэродинамических расчетов течений в различных элементах проточных частей турбомашин (ОПК-2);
- анализировать научно-техническую информацию, относящуюся к исследованиям движения жидких сред (УК-3);
- самостоятельно формулировать постановку задач по математическому и физическому моделированию течений в конкретных установках (УК-1).

владеть:

- методами расчета потерь энергии в каналах произвольной формы (ОПК-1);
- методами экспериментальных исследований элементов проточных частей турбомашин (ПК-1);
- методами газодинамического проектирования в программных комплексах оптимального проектирования проточных частей (ПК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Основные понятия и уравнения газодинамики (8 час.)

Классификация сил, действующих в движущихся рабочих средах. Скорость звука. Вязкость в жидких средах. Дезориентация жидких элементов и вращательное движение в жидкости.

Уравнения неразрывности. Уравнение движения идеальной и реальной (вязкой) жидкости. Интегралы уравнений движения.

Уравнение энергии и различные формы его записи. Одномерная форма записи основных уравнений сохранения.

2. Плоские потенциальные течения идеальной жидкости (8 час.)

Потенциалы скорости, функция тока и их свойства. Уравнение для потенциала скорости в несжимаемых и сжимаемых жидкостях. Комплексный потенциал и сопряженная скорость. Примеры практического использования комплексного потенциала. Теория Н.Е. Жуковского о подъемной силе.

Вихревые течения. Основные теории вихревого течения. Особенности течения жидкости в центральных частях плоских вихрей. Скорости индуцируемые вихревыми трубками.

3. Плоские сверхзвуковые течения (6 час.)

Характеристики в сверхзвуковом потоке и их уравнения в плоскости течения и в плоскости градиента скорости. Центрированные волны разряжения и их расчет. Потери энергии в скачках уплотнений. Взаимодействие скачков и волн разряжения. Проектирование сопла Лаваля. Тепловые скачки.

4. Истечение из сопл и непрофилированных отверстий (6 час.)

Истечение из суживающихся и расширяющихся сопл. Диаграмма режимов расширяющихся сопл. Истечение из щели с острой кромкой. Лабиринтовые уплотнения и их расчет.

5. Основы физического моделирования (4 час.)

Задачи физического моделирования. П–теория и примеры её использования. Критерии подобия и моделирование течений жидкости. Частичное моделирование течений жидкости.

6. Движение вязкой жидкости (10 час.)

Уравнения движения вязкой жидкости и примеры их точных решений. Пограничный слой и основные понятия и определения. Основные уравнения пограничного слоя. Ламинарный и турбулентный пограничный слой. Потеря устойчивости пограничного слоя. Уравнение О. Рейнольдса для турбулентного

пограничного слоя. Основные характеристики турбулентности. Полуэмпирическая теория турбулентности. Расчет пограничного слоя в общем случае. Логарифмический профиль скорости. Отрыв пограничного слоя и предотвращение отрыва.

7. Движение жидкости в трубах (6 час.)

Движение несжимаемой жидкости в трубах и их гидравлический расчет. Местное сопротивление и расчет их гидравлических сопротивлений. Движение сжимаемой жидкости в трубах. Поворотное колено. Внезапное расширение и сужение труб. Слияние и разделение потоков в трубах.

8. Движение жидкости в диффузорах (10 час.)

Классификация диффузоров. Процесс торможения рабочих сред в диффузорах и характеристики, определение эффективности диффузоров. Гидравлические и аэродинамические методики расчета диффузоров. Влияние геометрических и режимных параметров на характеристики диффузоров. Способы повышения эффективности в диффузорах. Диффузоры в турбомашинах.

9. Решетки профилей в ступенях турбомашин (14 час.)

Классификация решеток профилей. Классификация потерь в решетках профилей турбомашин. Физическая картина течения рабочих сред в решетках турбомашин. Проектирование решеток турбомашин. Влияние геометрических и режимных параметров на потери в решетках. Способы снижения потерь энергии в решетках турбомашин.

10. Элементы двухфазных и двухкомпонентных течений (8 час.)

Основные понятия и определения. Двухфазные течения при фазовом равновесии. Скорость звука в газированной жидкости. Скачки конденсации. Течение насыщенного и влажного пара в соплах паровых турбин. Влияние начальной влажности пара на характер течения в конических диффузорах.

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. Что понимается под термином «жидкость» в МЖГ и как классифицируются модели жидкостей?
2. Чем характеризуются поверхностные и массовые силы в гидрогазодинамике.
3. Поверхностные и массовые силы в жидкости.
4. Методы изучения движения жидкости.
5. Линейные, угловые и объемные скорости деформации жидких элементов.

6. Как связан вектор угловой скорости в жидкости с проекциями скорости на оси координат?
7. Теория Гельмгольца о движении жидкой частицы в особом случае.
8. Что такое конвективное ускорение?
9. Уравнение неразрывности в сжимаемой и несжимаемой жидкости.
10. Какой закон сохранения отражает уравнение движения жидкости?
11. Интегралы уравнений движения идеальной жидкости
12. Что такое функция давления и как она определяется
13. Уравнение энергии и различные его формы
14. Характеристика скорости в движущихся рабочих средах
15. Что такое критическая скорость?
16. Каковы необходимые и достаточные условия для перехода от дозвуковых к сверхзвуковым скоростям?
17. Основные газодинамические функции.
18. Удельный и приведенный расход.
19. Геометрическая трактовка удельного приведенного расхода.
20. Потенциал скорости и функция тока и их свойства.
21. Уравнение для потенциала скорости в несжимаемых и сжимаемых жидкостях.
22. Комплексный потенциал и примеры его использования.
23. Теория Н.Е. Жуковского о подъемной силе.
24. Основные теории вихревого течения.
25. Условия возникновения волн разряжения и скачков уплотнения в сверхзвуковых потоках.
26. Что такое профилирование сопла Лавалья?
27. Графоаналитическая методика расчета величин разряжения и скачков уплотнения в сверхзвуковых потоках.
28. Какие величины можно получить с помощью ударной поляры?
29. Как определить расход жидкости через суживающиеся сопла?
30. Переменный режим течения в суживающихся соплах.
31. Диаграмма расчетов сопла Лавалья.
32. Истечение сжимаемой жидкости из щелей с острой кромкой.
33. Расчет лабиринтовых уплотнений.
34. В чем суть теории подобия и задачи моделирования?
35. Что такое формула размерностей?
36. Сформулируйте П-теорему.
37. Моделирование и критерии подобия.
38. Что такое частичное моделирование
39. Уравнение движения для вязких жидкостей (Уравнение Навье-Стокса).
40. Приведите примеры точных решений уравнений Навье-Стокса.
41. Основные определения и характеристики пограничного слоя.
42. В чем разница между уравнениями Прандтля и Кармана для пограничного слоя?
43. Что такое условные толщины пограничного слоя.
44. Отрыв пограничного слоя с гладких обтекаемых поверхностей?

45. Каковы проявления осреднения турбулентных потоков?
46. Дайте определение основным характеристикам турбулентности
47. Факторы определяющие переход от ламинарного к турбулентному течению.
48. Что такое турбулентные напряжения?
49. Теория турбулентности Прандтля и логарифмический профиль скорости.
50. Расчет пограничного слоя в общем случае.
51. Что такое кризис сопротивления плохо обтекаемого тела?
52. Что такое начальный участок трубы?
53. Что такое режим «шероховатого» течения в трубах?
54. Движение сжимаемой жидкости в трубах с трением.
55. Местные сопротивления и их коэффициенты сопротивления.
56. Классификация диффузоров.
57. Процесс преобразования энергии в диффузорах.
58. Что такое коэффициент полных потерь энергии в диффузорах и как он связан с коэффициентом восстановления энергии.
59. Как влияет степень реактивности диффузора на его коэффициент полных потерь.
60. Гидродинамический и аэродинамический метод расчета потерь в диффузорах.
61. В чем суть использования диффузоров в регулирующих клапанах и выхлопных патрубках паровых и газовых турбин.
62. Преобразование энергии в ступенях турбин.
63. Что такое коэффициенты скорости и как они связаны с коэффициентом потерь энергии в решетках турбомашин?
64. Классификация решеток турбомашин
65. В чем причина отклонения потока в решетках ступеней турбин и как определить добавочный угол отклонения в косом срезе решеток при сверхкритических перепадах давления.
66. Концевые потери в решетках и методы их расчета.
67. Методы расчета суммарных потерь энергии в решетках
68. Пути снижения потерь энергии в решетках.
69. Что такое двухфазные и двухкомпонентные среды?
70. Дайте определения коэффициентам скольжения.
71. Что такое степень влажности и степень сухости пара?
72. Может ли возникнуть скачек конденсации при дозвуковых скоростях течения влажного пара.
73. Как влияет наличие воздуха в паре на величину скорости звука?

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. Зарянкин А.Е. Грибин В.Г. Расчет течений идеальной жидкости: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2005. (ISBN: 5-7046-1076-5).
3. Грибин В.Г., Нитусов В.В. Механика жидкости и газа: сборник задач – Москва, Издательский дом МЭИ. 2009. – 52 с. (ISBN: 978-5-383-00216-2).

Дополнительная литература:

4. Дейч М.Е. Газодинамика: Учебное пособие для теплотехнических специальностей вузов / М. Е. Дейч, А. Е. Зарянкин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 384 с.
5. Самойлович Г.Ю. Газодинамика: учебник для вузов. М: Машиностроение, 1990.
6. Дейч М.Е. Газодинамика решеток турбомашин. М: Энергоатомиздат. 1996. (ISBN: 5-283-00155-5).
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкостей и газов: учебник для вузов. Дрофа, 2003. (ISBN: 5-7107-6327-6).
8. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Регулирующие и стопорно-регулирующие клапаны паровых турбин. Изд-во МЭИ, 2005 (ISBN 5-7046-1143-5).
9. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Выхлопные патрубки паровых и газовых турбин. Изд-во МЭИ, 2002 (ISBN 5-7046-0821-3).
10. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. М: Энергия. 1974.