

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

«16» июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (специальность) 01.04.14 Теплофизика и теоретическая
теплотехника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Гидродинамика и теплообмен в термоядерных установках»

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

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе

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

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30.07 2014 г. № 867 и паспорта специальности 01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение особенностей течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках.

Задачами дисциплины являются:

- изучение проблем и процессов охлаждения и термостабилизации элементов термоядерных реакторов и установок, методов интенсификации теплообмена;
- обучение навыкам расчета тепловых режимов работы теплообменного и тепловоспринимающего оборудования термоядерных реакторов и установок;

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

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к обоснованному выбору предмета самостоятельных научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники (ПК-1);

– готовность решать задачи аналитического характера в области теплофизики и теоретической теплотехники, предполагающие выбор и многообразие актуальных способов их решения (ПК-2);

– готовность к проведению экспериментов и анализу результатов измерений в области теплофизики и теоретической теплотехники (ПК-3).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

– основные физические явления и законы, лежащие в основе создания управляемого термоядерного синтеза (УК-1);

– проблемы и процессы охлаждения и термостабилизации элементов термоядерных реакторов и установок, методы интенсификации теплообмена (ОПК-1);

– технические решения по конструированию тепловоспринимающих поверхностей в термоядерных реакторах и установках (ПК-2);

уметь:

– рассчитывать тепловые режимы работы теплообменного и тепловоспринимающего оборудования термоядерных реакторов и установок (ПК-1);

– планировать и проводить экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена в модельных элементах тепловоспринимающих устройств (ПК-3);

– учитывать влияние магнитного поля на течение и теплообмен жидких металлов (ПК-2);

владеть:

– навыками выполнения расчетов гидродинамики и теплообмена с использованием современных программных средств (ПК-3);

– навыками работы с источниками литературы (ОПК-1).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Введение.

Современное состояние энергетики. Перспективы развития энергетики. Возможности использования энергии термоядерного синтеза. Управляемый термоядерный синтез (УТС). Концепции УТС. Классификация термоядерных реакторов. Термоядерные экспериментальные установки. Возможности применения термоядерных источников нейтронов. Гибридные реакторы. Теплофизические задачи охлаждения и термостабилизации элементов конструкций термоядерных реакторов и установок.

2. Реакторы-токамаки.

Принципиальная схема реактора. Важнейшие элементы конструкций на примере реактора ITER. Вакуумная камера реактора. Первая стенка. Бланкет. Дивертор. Диверторные пластины. Схема диверторной кассеты ITER и тепловоспринимающих устройств. Системы нагрева плазмы. Приемники пучков системы инъекции. Гидравлический контур системы охлаждения. Температурные режимы первой стенки. Теплофизические задачи при охлаждении первой стенки и приемников пучков водой. Режимы теплообмена. Расчет параметров течения теплоносителя при охлаждении однофазным вынужденным потоком. Кипение в потоке сильно недогретой до температуры насыщения жидкости. Кризис теплообмена при кипении. Методики расчета теплообмена и критических тепловых нагрузок. Методы интенсификация теплообмена и увеличения критических тепловых потоков (КТП), предлагаемые для ITER. Расчет гидравлического сопротивления каналов с интенсификаторами. Закрутка потока как метод интенсификации теплообмена и увеличения КТП. Особенности течения и теплообмена в закрученном потоке. Результаты экспериментов по охлаждению прототипов тепловоспринимающих элементов ITER. Методики расчета теплообмена и КТП в закрученных потоках.

3. Защита первой стенки.

Альтернативные подходы к защите и охлаждению первой стенки. Газовые мишени, контактные устройства с твердой рабочей поверхностью, пленки жидкого металла, струйные и капельные завесы, капиллярно-пористые структуры. Особенности расчета теплообмена и течения.

4. Теплоносители в термоядерных реакторах и установках.

Требования к теплоносителям. Газовые теплоносители. Вода. Жидкие металлы (ЖМ). Расплавы солей. Сравнительные преимущества и недостатки различных типов теплоносителей. Расчёт течения и теплообмена.

5. Особенности течения и теплообмена жидкометаллического теплоносителя.

Классические конфигурации МГД-течений. Проблема МГД-сопротивления. Особенности теплообмена ЖМ в полях массовых сил. Особенности экспериментального исследования теплообмена ЖМ. Проблема термического контактного сопротивления. Зондовые измерения в жидких металлах. Гидродинамика и теплообмен ЖМ в трубе без магнитного поля. Гидродинамика и теплообмен ЖМ в трубе в продольном магнитном поле. Подавление турбулентности. Соотношение Фрейма-Хайзера. Влияние термогравитационной конвекции. Гидродинамика и теплообмен ЖМ в трубе в поперечном магнитном поле. Профиль скорости и влияние проводимости стенок канала. Влияние продольного и компланарного магнитного поля на течение и теплообмен.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Управляемый термоядерный синтез. Основные существующие концепции УТС.
2. Принципиальная схема гибридного реактора с термоядерным источником нейтронов.
3. Принципиальная схема реактора-токамака.
4. Приведите схему диверторной кассеты.
5. Опишите схему гидравлического контура системы охлаждения ITER.
6. Опишите режимы теплообмена, возможные в охлаждающих элементах ITER. Представьте расчетные соотношения.
7. Методики расчета теплообмена и критических тепловых нагрузок в потоке сильно недогретой до температуры насыщения жидкости.

8. Методы интенсификация теплообмена и увеличения критических тепловых потоков, предлагаемые для ITER.
9. Расчет гидравлического сопротивления каналов с интенсификаторами.
10. Закрутка потока как метод интенсификации теплообмена и увеличения КТП. Особенности течения и теплообмена в закрученном потоке.
11. Представьте основные альтернативные водяному охлаждению подходы к защите и охлаждению первой стенки.
12. Сравнительные преимущества и недостатки различных типов теплоносителей в термоядерных реакторах и установках.
13. Особенности теплообмена ЖМ в полях массовых сил.
14. Особенности экспериментального исследования теплообмена ЖМ.
15. Зондовые измерения в жидких металлах.
16. Гидродинамика и теплообмен ЖМ в трубе в продольном магнитном поле.
17. Гидродинамика и теплообмен ЖМ в трубе в поперечном магнитном поле.
18. Профиль скорости и влияние проводимости стенок канала.
19. Влияние продольного и компланарного магнитного поля на течение и теплообмен.

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Идеи и решения фундаментальных проблем науки и техники / В. В. Гладких, П. В. Гладких, В. П. Гладких . – СПб. : БХВ-Петербург, 2010 . – 176 с. - ISBN 978-5-94157-663-0 .
2. Основы физики плазмы и управляемого синтеза : пер. с англ. / К. Миямото . – М. : Физматлит, 2007 . – 424 с. - ISBN 978-5-922108-38-6 .

3. Энергетика в современном мире / В. Е. Фортов, О. С. Попель . – Долгопрудный : Интеллект, 2011 . – 168 с. - ISBN 978-5-91559-095-2 .
4. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. В. Ягов . – М. : Изд. дом МЭИ, 2014 . – 542 с. - ISBN 978-5-383-00854-6.
5. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок / О. В. Митрофанова . – М. : Физматлит, 2010 . – 288 с. - ISBN 978-5-9221-1223-9 .

Дополнительная литература:

6. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах / Л. Г. Генин, В. Г. Свиридов . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 200 с. - ISBN 5-7046-0650-4 .
7. Теплообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов по специальностям "Теплофизика" и "Атомные электрические станции и установки" направления "Техническая физика" / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев, и др. . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 548 с. - ISBN 5-7046-0843-4 .

ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

1. Интернет-ресурс. Международный проект экспериментального термоядерного реактора. www.ITER.org
2. Реферативные базы данных научного цитирования SCOPUS (<http://www.scopus.com>), WEB OF SCIENCE (<http://webofknowledge.com>), РИНЦ (<http://elibrary.ru>)