

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

«Методы расчета процессов испарения и конденсации»

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 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 систематизация полученных при изучении базовых дисциплин знаний о неравновесных процессах переноса, характеризующихся значительной неравновесностью, ознакомление с современным состоянием исследований в соответствующих областях, приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с методами расчета процессов испарения и конденсации;
- дать информацию о специфике описания систем в условиях сильной неравновесности процессов переноса;
- научить принимать и обосновывать конкретные методические решения при обосновании расчетов процессов испарения и конденсации.

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);

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты образования:

знать:

– расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования теплогидравлических процессов, принципы организации научно-исследовательской работы и выполнения экспериментальных исследований, осуществления обработки, анализа и обобщения полученных результатов при реализации теплофизических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия (ОПК-1);

– методы моделирования процессов испарения и конденсации в конкретных технических системах и математические модели элементов, работающих на различных физических принципах, способы применения соответствующих пакетов прикладных программ и основы разработки программных продуктов для моделирования процессов и систем (ПК-2);

– способы расчета существенно неравновесных процессов переноса на межфазных поверхностях различных теплоносителей с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий (ПК-2);

уметь:

– применять современные методы исследования неравновесных процессов, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты, оценивать результаты выполненной работы (ПК-1);

– анализировать информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса (УК-1);

владеть:

- навыками выполнять научные исследования в области проектирования и создания аппаратов новой техники (ПК-2);
- способностью владеть принципами построения алгоритмов оптимизационных проектных расчетов, готовностью использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии (ОПК-1);
- навыками применения полученной информации при расчете сильнонеравновесных процессов в соответствующих установках (ПК-1).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Постановка задач расчета испарения и конденсации однокомпонентной среды и парогазовых смесей.

Термические сопротивления: внешнее (газодинамическое), межфазное, пленки конденсата. Роль каждого в зависимости от интенсивности процесса.

2. Методы расчета термических сопротивлений, определенных в разделе о постановке задач.

А. Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой. Б. Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена. В. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата. Конденсация Нуссельта.

3. Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации.

Линейная теория. Моментный метод решения одномерных задач. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана (для разных чисел Кнудсена, многомерные задачи). Прямое статистическое моделирование. Модельные уравнения. Методика реализации алгоритма решения уравнения Больцмана, сопряженного с решением уравнений сохранения сплошных сред. Особенности задач испарения и конденсации из парогазовой среды.

4. Результаты исследования задач испарения-конденсации.

Параметричность испарения, дозвуковой и сверхзвуковой конденсации. Предельные потоки испарения-конденсации. Инженерные соотношения для расчета испарения и конденсации в дозвуковом режиме. Диаграмма

предельных потоков в сверхзвуковой области. Конденсация в присутствии неконденсируемых газов. Кривые $q=f(\Delta T)$ для конденсации-испарения во всем диапазоне изменения интенсивностей. Рекомендации по уменьшению ΔT . Определение итогового перепада температур от газа через межфазную поверхность, пленку конденсата, стенку теплообменника (конденсатора) охлаждающему теплоносителю. Влияние неполной конденсации на границе раздела фаз на характеристики процесса. Модели описания: коэффициенты испарения-конденсации, «сквозные» кинетические уравнения для пара и конденсата; расчет взаимодействий молекул газа и конденсата методами молекулярной динамики; предельные скорости и предельные потоки массы. Применение методов молекулярно-кинетической теории для определения формы межфазных поверхностей при пленочном кипении недогретых жидкостей.

5. Процессы криовакуумирования.

Роль направленности потоков при криоконденсации (десублимации). Расчет теплопереноса в области неприменимости законов градиентного типа. Примеры расчета течений, характеризуемых малыми числами Кнудсена, с учетом сильной неравновесности на межфазной границе

6. Конденсация паров металлов.

Роль процессов переноса на межфазной поверхности при определении общего термического сопротивления в системе: пар – пленка конденсата – стенка конденсатора – охлаждающий теплоноситель. Влияние неконденсируемых газов. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными.

7. Сонолюминесценция.

Сущность явления. Математическое описание: уравнения сохранения для жидкости и парогазовой смеси; универсальные и специальные условия совместности. Влияние испарения-конденсации на межфазной поверхности на характеристики процесса.

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. Термические сопротивления: внешнее (газодинамическое), межфазное, пленки конденсата.
2. Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой.
3. Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти.
4. Уравнение Больцмана в слое Кнудсена.
5. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата.
6. Конденсация Нуссельта.
7. Метод решения кинетического уравнения Больцмана. Линейная теория.
8. Моментный метод решения одномерных задач.
9. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана.
10. Прямое статистическое моделирование. Модельные уравнения.
11. Методика реализации алгоритма решения уравнения Больцмана, сопряженного с решением уравнений сохранения сплошных сред.
12. Особенности задач испарения и конденсации из парогазовой среды.
13. Параметричность испарения, дозвуковой и сверхзвуковой конденсации.
14. Предельные потоки испарения-конденсации.
15. Инженерные соотношения для расчета испарения и конденсации в дозвуковом режиме.
16. Диаграмма предельных потоков в сверхзвуковой области.
17. Конденсация в присутствии неконденсируемых газов.
18. Кривые $q=f(\Delta T)$ для конденсации-испарения во всем диапазоне изменения интенсивностей.
19. Определение итогового перепада температур от газа через межфазную поверхность, пленку конденсата, стенку теплообменника (конденсатора) охлаждающему теплоносителю.

20. Влияние неполной конденсации на границе раздела фаз на характеристики процесса.

21. Модели описания: коэффициенты испарения-конденсации.

22. «Сквозные» кинетические уравнения для пара и конденсата.

23. Расчет взаимодействий молекул газа и конденсата методами молекулярной динамики.

24. Применение методов молекулярно-кинетической теории для определения формы межфазных поверхностей при пленочном кипении недогретых жидкостей.

25. Роль направленности потоков при криоконденсации (десублимации).

26. Расчет теплопереноса в области неприменимости законов градиентного типа.

27. Роль процессов переноса на межфазной поверхности при определении общего термического сопротивления в системе: пар – пленка конденсата – стенка конденсатора – охлаждающий теплоноситель.

28. Сонолюминесценция. Математическое описание: уравнения сохранения для жидкости и парогазовой смеси; универсальные и специальные условия совместности.

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Механика двухфазных систем : учебное пособие для вузов по направлению "Техническая физика" / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2007 . – 384 с. - ISBN 978-5-383-00036-6 .
2. Методы описания конденсированных систем : учебное пособие по курсу "Физика конденсированных систем" по направлению "Нанотехнологии", и слушателей ФПКПиС МЭИ (ТУ) / П. В. Королев, А. П. Крюков, Моск.

- энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд. дом МЭИ, 2010 . – 64 с. - ISBN 978-5-383-00428-9 .
3. Численное решение кинетического уравнения Больцмана в инженерной практике : учебное пособие по курсам "Криофизика" и "Процессы переноса в существенно неравновесных условиях" по направлению "Техническая физика" / А. П. Крюков, В. Ю. Левашов, И. Н. Шишкова, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 80 с. - ISBN 5-7046-1316-0 .
 4. Введение в изучение явлений на поверхности конденсированных сред : учебное пособие по курсу "Процессы на поверхности раздела фаз" по направлению "Нанотехнологии", и слушателей ФПКПС / А. П. Крюков, И. Н. Шишкова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд. дом МЭИ, 2009 . – 80 с. - ISBN 978-5-383-00384-8 .
 5. Процессы переноса в существенно неравновесных системах : учебное пособие по курсу "Процессы переноса в существенно неравновесных системах" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. П. Крюков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 124 с. - ISBN 978-5-9902974-9-4 .
 6. 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.
 7. Формы межфазных поверхностей при переносе массы, импульса, энергии : учебное пособие по курсу "Процессы переноса в существенно неравновесных системах" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" и слушателей ФПКПС / А. П. Крюков, Ю. Ю. Пузина, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-1638-2 .

Дополнительная литература:

8. Теоретическая физика: В 10 т. Т.6. Гидродинамика. : Учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ;

Ред. Л. П. Питаевский . – 5-е изд., стереотип . – М. : Физматлит, 2001 . – 736 с. - ISBN 5-922101-21-8 .

9. Теоретическая физика : В 10 т. Т.10 : Физическая кинетика : Учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; Ред. Л. П. Питаевский . – 2-е изд., испр . – М. : Физматлит, 2001 . – 536 с. - ISBN 5-922101-25-0 .

ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

1. Реферативные базы данных научного цитирования SCOPUS (<http://www.scopus.com>), WEB OF SCIENCE (<http://webofknowledge.com>), РИНЦ (<http://elibrary.ru>).