

Приложение 19
Утверждено Приказом ФИЦ КазНЦ РАН
от _____ № _____

Разработано и утверждено
Ученым советом - ИЭПТ
структурного подразделения
ФИЦ КазНЦ РАН
30 января 2025 г., протокол № 1

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Термодинамика и теория тепломассообмена»

Составная часть
**ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ -
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров
в аспирантуре**

Научная специальность

Теплофизика и теоретическая теплотехника

СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины
5. Учебно-тематический план занятий
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары, консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В результате освоения дисциплины аспирант должен получить дополнительные знания, умения и навыки. Аспирант должен:

Знать:

- современные проблемы и методологию теоретических и экспериментальных работ в области профессиональной деятельности;
- основные положения термодинамики и теории тепломассообмена;
- основные термодинамические процессы, термодинамические циклы;
- виды теплообмена, их основные законы и способы интенсификации тепломассообмена;
- современные методы расчетных и экспериментальных исследований гидродинамических и тепловых процессов и принципы действия используемого для этих целей измерительного оборудования.

Владеть:

- методами описания состояния термодинамических систем и процессов, происходящих в них;
- опытом работы с современным экспериментальным оборудованием для проведения измерения параметров процессов;
- методикой сбора и статистической обработки полученной экспериментальной информации.

Уметь:

- ставить цели экспериментальных или расчетных исследований процессов тепломассообмена;
- определять наиболее рациональные подходы к изучению гидродинамических и тепловых процессов;
- планировать проведение научных исследований;
- рассчитывать различные параметры циклов теплоэнергетических установок, их КПД, пользоваться диаграммами в $p-v$, $T-s$, $h-s$ координатах;
- пользоваться теоретическими и критериальными соотношениями при описании процессов тепломассообмена;
- при выполнении экспериментов выбирать наиболее приемлемые средства измерений и соответствующее измерительное оборудование;
- определять метрологические характеристики систем измерений.

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Термодинамика и теория тепломассообмена» является дисциплиной по выбору и включена в Блок «Образовательная компонента» основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе (определяется индивидуальным учебным планом аспиранта).

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов термодинамики, механики сплошных сред, тепломассообмена в рамках магистерской программы образования или специалитета. Владением данными знаниями и умениями устанавливается в ходе вступительных испытаний в аспирантуру.

Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Предмет и метод термодинамики. Техническая термодинамика как основа теплоэнергетики. Значение технической термодинамики в системе подготовки инженера-теплоэнергетика. Первое начало термодинамики. Теплота и работа – форма передачи энергии. Эквивалентность теплоты и работы. Работа изменения объема газа. Понятие положительной и отрицательной работы. Внутренняя энергия тела и ее физический смысл. Второе начало термодинамики. Простейшие равновесные процессы и условия их осуществления. Круговые процессы (циклы). Термический к.п.д. Цикл Карно. Цикл Карно с идеальным газом.

Циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Смешанный цикл. Газотурбинные установки (ГТУ). Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении и с регенерацией. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме. Циклы паросиловых установок (ПСУ). Цикл Карно во влажном паре и его недостатки. Основной цикл ПСУ – цикл Ренкина. Полезная работа, термодинамический к.п.д. цикла Ренкина.

Циклы холодильных установок. Основные характеристики холодильных установок. Обратный цикл Карно. Воздушная холодильная установка. Паровая компрессионная холодильная установка. Абсорбционная холодильная установка. Вихревая холодильная установка. Пароводяная холодильная установка.

Виды теплообмена. Теплопроводность. Основные понятия и определения. Основной закон теплопроводности - закон Фурье. Теплопроводность. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Граничные условия. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях первого и третьего рода (ГУ-1, ГУ-3). Теплопроводность через цилиндрическую стенку при ГУ-1 и ГУ-3.

Конвективный теплообмен. Естественная и вынужденная конвекция. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Теплоотдача однофазной жидкости при ламинарном и турбулентном течении. Вычисление коэффициентов теплоотдачи. Эмпирические формулы. Теплообмен при фазовых превращениях. Основы массообмена.

Теплообменные аппараты. Теплопередача. Коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации теплопередачи.

Теплообмен излучением. Основные понятия и определения. Виды лучистых потоков. Законы теплового излучения. Лучистый теплообмен между поверхностями, разделенными диатермичной средой.

5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудиторные занятия	Самост. работа	Всего часов
1	Основные понятия и законы термодинамики	3	10	13
2	Циклы тепловых двигателей	4	12	16
3	Холодильные установки	3	12	15
4	Теплопроводность	4	12	16
5	Конвективный теплообмен	4	12	15
6	Теплопередача	3	10	13
7	Основы массообмена	3	12	15
8	Теплообмен излучением	3	12	16
9	Зачет	1		1
ИТОГО		28	92	120

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

6.1. Текущий контроль: текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по изучаемой теме. Формой итогового контроля по дисциплине является зачет.

Вопросы к зачету

1. Первое начало термодинамики.
2. Теплота и работа – форма передачи энергии. Эквивалентность теплоты и работы.
3. Работа изменения объема газа. Понятие положительной и отрицательной работы.
3. Внутренняя энергия тела и ее физический смысл.
4. Второе начало термодинамики.
5. Простейшие равновесные процессы и условия их осуществления.
6. Круговые процессы (циклы). Термический к.п.д.
7. Цикл Карно. Цикл Карно с идеальным газом.
8. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме.
9. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении.
10. Газотурбинные установки (ГТУ)
11. Циклы паросиловых установок (ПСУ).
12. Циклы холодильных установок.
13. Основные характеристики холодильных установок.
14. Обратный цикл Карно.
15. Воздушная холодильная установка.
16. Виды теплообмена.
17. Теплопроводность.
18. Закон Фурье.
19. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Граничные условия.
20. Теплопроводность при стационарном режиме.
21. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях первого и третьего рода (ГУ-1, ГУ-3).

22. Естественная и вынужденная конвекция.
23. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.
24. Теплоотдача однофазной жидкости при ламинарном и турбулентном течении.
25. Вычисление коэффициентов теплоотдачи. Эмпирические формулы.
26. Теплопередача. Коэффициент теплопередачи.
27. Теплообмен при фазовых превращениях.
28. Теплообмен излучением.

6.2. Критерии оценки:

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок:
зачтено	Аспирант при ответе демонстрирует знание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями и терминами, знает особенности развития соответствующей области науки, имеет представление о специфике объектов исследований. Информирован о современных направлениях работ, ознакомлен с содержанием основных литературных источников, способен сделать анализ проблем и наметить пути их решения.
Не зачтено	Аспирант демонстрирует плохое знание большей части основного материала в соответствующей области науки. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и не в состоянии наметить пути их решения.

При отсутствии оценки «зачтено» обучающийся не допускается к промежуточной аттестации

7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И РЕСУРСОВ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ", НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. М. Г. Шатров [и др.]; под ред. М. Г. Шатрова. Теплотехника: учебник для студ. вузов/ - М.: Академия, 2011. - 288 с.
2. Т. Бахшиева, Б. П. Кондауров, А. А. Захарова, В.С. Салтыкова; под ред. А. А. Захаровой. Техническая термодинамика и теплотехника: учеб. пособие для студ. вузов / Л. - 2-е изд., испр. - М.: Академия, 2008. - 272 с.
3. А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.Н. Афанасьев и др.; под общ. ред. проф. А.М. Архарова, проф. В.Н. Афанасьева Теплотехника: учебник для вузов /. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 712 с.
4. Теория тепломассообмена: учебник для вузов / С. И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высш. школа, 1979. – 495с.
5. Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия в 4-х кн. / под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. Кн.1: Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / М.С. Алхутов, А.А. Амосов, Т.Ф. Басова и др.; под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.
6. Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия. В 4-х кн. / под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. Кн. 2: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник / А.А. Александров, Б.С. Бело-

сельский, А.Г. Вайнштейн и др.; под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. - М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 564 с.

7. Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия в 4-х кн. / под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. Кн. 3: Тепловые и атомные электростанции: справочник / М.С. Алхутов, А.Н. Безгрешнов, Р.Г. Богоявленский; под ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. - М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 648 с.

8. Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия в 4-х кн. / под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. Кн. 4: Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник / Б.Г. Борисов, К.Б. Борисов, В.М. Бродянский и др.; под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. - М.: Изд-во МЭИ, 2004. - 632 с.

9. В. П. Бурдаков [и др.] Термодинамика: в 2-х ч.: учеб. пособие для студ. вузов /. - М.: Дрофа Ч.1 : Основной курс. - 2009. - 479 с.

10. В. П. Бурдаков [и др.] Термодинамика: в 2-х ч.: учеб. пособие для студ. вузов /. - М.: Дрофа Ч.2: Специальный курс. - 2009. - 361 с.

8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия и консультации, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче кандидатских экзаменов проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки и/или конференц-залы), оборудованных мебелью (столы, стулья), классной доской (меловой), компьютером, проектором для демонстрации презентаций.

Практические занятия проводятся на экспериментальной базе лаборатории гидродинамики и теплообмена ИЭПТ и базе ООО НПП ИРВИС. В распоряжении преподавателя и аспирантов учебно-научная лаборатория оснащенная аэродинамической трубой со сменными рабочими участками, установка для градуировки термоанемометрических датчиков, система измерений мгновенных векторных полей скорости SIV в комплекта с генератором аэрозолей Safex, скоростная видеокамера Fastec HiSpec с объективом Navitar. Для тепловых измерений имеются платиновые термометры сопротивления, набор измерительных теплообменных стенок на основе печатных плат, тепловизор VarioCAM HD head, источники постоянного тока.

Учебно-научная лаборатория оснащена оборудованием для градуировки и поверки расходомеров-счетчиков газа и проведения научных исследований. В состав оборудования входит Установка поверочная газодинамическая УПГ-10 с набором рабочих участков, система подачи воздуха высокого давления и устройство для создания пульсаций потока.

Мультимедийное оборудование.

Разработчик: ведущий научный сотрудник лаборатории гидродинамики и теплообмена ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, доктор технических наук Давлетшин И.А.

Ведущий научный сотрудник лаборатории гидродинамики и теплообмена, доктор технических наук

И.А. Давлетшин