

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Казанский научный центр Российской академии наук**

**Утверждаю**  
Председатель КазНЦ РАН

\_\_\_\_\_ О.Г.Синяшин  
\_\_\_\_\_ 2016г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**Термодинамика и теория тепломассообмена**

основная образовательная программа подготовки аспиранта  
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль программы Теплофизика и теоретическая теплотехника

Уровень высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов к основной образовательной программе высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании Ученого совета КазНЦ РАН Протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_ 2016 г.

Разработчик

И.А. Давлетшин

## 1. Цели освоения дисциплины

### 1.1. Цели и задачи изучения дисциплины

**Целью** преподавания дисциплины «Термодинамика и теория тепломассообмена» является формирование знаний у аспирантов навыков, необходимых для понимания закономерностей преобразования энергии в тепловых процессах, тепловых двигателях, машинах, установках и элементах оборудования по специальностям, а также закономерностей распространения теплоты в твердых телах, жидкостях и газах.

**Задачи** изучения дисциплины «Термодинамика и теория тепломассообмена» состоят в том, чтобы научить аспиранта формулировать и решать задачи, связанные с термодинамическими и тепловыми процессами, происходящими в технологических процессах, тепловых двигателях, машинах и установках соответствующей специальности.

### 2. Место дисциплины в структуре профессиональной подготовке

Дисциплина «Термодинамика и теория тепломассообмена» относится к дисциплинам по выбору аспиранта. Общая трудоемкость дисциплины составляет 180 часов, из которых 36 часов лекций).

«Термодинамика и теория тепломассообмена» является наукой об энергии и об обмене энергии в процессах. Она устанавливает законы превращения энергии и особенности процессов, посредством которых эти превращения осуществляются. Термодинамика и теория тепломассообмена также отражают закономерности теплового движения и свойства рабочих тел в твердом, жидком и газообразном состояниях и является теоретической базой для ряда специальных теплотехнических дисциплин (котельные установки, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания, компрессоры и т.д.). Следовательно, курс «Термодинамика и теория тепломассообмена» является одной из важнейших теплоэнергетических дисциплин, необходимых для современного научного работника.

### 3. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1 способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции обучающийся должен <ul style="list-style-type: none"> <li>• ЗНАТЬ: первый и второй законы термодинамики, уравнения состояния идеальных</li> </ul>	Лекции. Самостоятельная работа обучающихся по изучению теоретического материала	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля

<p>и реальных газов, соотношения для расчета термодинамических параметров в основных термодинамических процессах в открытых системах, характеристики эффективности термодинамических циклов, термодинамические основы работы и циклы двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и теплосиловых установок, холодильных машин и термотрансформаторов: виды теплообмена и их основные законы, уравнения процессов теплоотдачи и теплопередачи и способы их интенсификации, основы теплового расчета теплообменных аппаратов, основы энергоснабжения.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• УМЕТЬ: определять температурное состояние твердых тел, жидкостей при их течении в трубопроводах</li><li>• рассчитывать различные параметры циклов теплоэнергетических установок, их КПД, уметь пользоваться диаграммами в <math>p-v</math>, <math>T-s</math>, <math>h-s</math> координатах. Он должен уметь не только рассчитать цикл теплоэнергетической установки, но и указать пути увеличения ее КПД, уметь составить технико-экономический анализ.</li></ul>		
---	--	--

## 4. Структура и содержание рабочей программы

### 4.1. Распределение часов учебных занятий

Виды занятий	Количество часов	Количество часов	
		Час.	
Лекции	36	36	
Самостоятельная ра-	144	144	
<b>Итого</b>	<b>180</b>	<b>180</b>	

## 4.2. Содержание дисциплины

### 4.2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

Но- мер лек- ции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоем- кость	
		Час.	
	Раздел 1. Основные понятия и законы технической термодинамики		
1	Тема 1.1. Введение. 1.1.1. Предмет и метод термодинамики. 1.1.2. Техническая термодинамика как основа теплоэнергетики. 1.1.3. Значение технической термодинамики в системе подготовки инженера-теплоэнергетика. Тема 1.2. Первое начало термодинамики. 1.2.1. Теплота и работа – форма передачи энергии. Эквивалентность теплоты и работы. 1.2.2. Работа изменения объема газа. Понятие положительной и отрицательной работы. 1.2.3. Внутренняя энергия тела и ее физический смысл. Тема 1.3. Второе начало термодинамики. 1.3.1. Простейшие равновесные процессы и условия их осуществления. 1.3.2. Круговые процессы (циклы). Термический к.п.д. 1.3.3. Цикл Карно. Цикл Карно с идеальным газом.	8	
	Раздел 2. Циклы тепловых двигателей		
2	Тема 2.1. Циклы двигателей внутреннего сгорания. 2.1.1. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме. 2.1.2. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. 2.1.3. Смешанный цикл. Тема 2.2. Газотурбинные установки (ГТУ) 2.1.1. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. 2.1.2. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном	4	

	<p>давлении и с регенерацией.</p> <p>2.1.3. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме</p> <p>Тема 2.3. Циклы паросиловых установок (ПСУ).</p> <p>2.3.1. Цикл Карно во влажном паре и его недостатки.</p> <p>2.3.2. Основной цикл ПСУ – цикл Ренкина. Полезная работа, термодинамический к.п.д. цикла Ренкина.</p>		
	<b>Раздел 3. Холодильные установки</b>		
3	<p>Тема 3.1. Циклы холодильных установок.</p> <p>3.1.1. Основные характеристики холодильных установок.</p> <p>3.1.2. Обратный цикл Карно.</p> <p>3.1.3. Воздушная холодильная установка.</p> <p>3.1.4. Паровая компрессионная холодильная установка.</p> <p>3.1.5. Абсорбционная холодильная установка.</p> <p>3.1.6. Вихревая холодильная установка.</p> <p>3.1.7. Пароводяная холодильная установка.</p>	2	
	<b>Часть 2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА</b>		
	<b>Раздел 2.1. Теплопроводность</b>		
4	<p>Введение. Виды теплообмена.</p> <p>Тема. 2.1.1. Теплопроводность.</p> <p>2.1.1.1. Основные понятия и определения.</p> <p>2.1.1.2. Основной закон теплопроводности - закон Фурье. Теплопроводность.</p> <p>2.1.1.3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Граничные условия.</p> <p>Тема 2.1.2. Теплопроводность при стационарном режиме.</p> <p>2.1.2.1. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях первого и третьего рода (ГУ-1, ГУ-3).</p> <p>2.1.2.2. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при ГУ-1 и ГУ-3.</p> <p>2.1.2.3. Теплопередача. Пути интенсификации теплопередачи.</p>	8	
5	<p>Тема 2.2.1. Конвективный теплообмен.</p> <p>2.2.1.1. Естественная и вынужденная конвекция.</p> <p>2.2.1.2. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.</p> <p>2.2.1.3. Теплоотдача однофазной жидкости при ламинарном и турбулентном течении.</p> <p>2.2.1.4. Вычисление коэффициентов теплоотдачи. Эм-</p>	14	

	пирические формулы. 2.2.1.5. Теплообмен при фазовых превращениях. Тема 2.2.2. Основы массообмена Тема 2.2.3. Теплообмен излучением. 2.2.3.1. Основные понятия и определения. Виды лучистых потоков. Законы теплового излучения. 2.2.3.2. Лучистый теплообмен между поверхностями, разделенными диатермичной средой.		
<b>Итого</b>		<b>36</b>	

**4.2.2. Практические занятия, их наименование, содержание, объём в часах**  
 Не предусмотрены учебным планом

#### 4.2.3. Самостоятельная работа аспирантов.

Раздел и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень домашних заданий и других вопросов для самостоятельного изучения.	Трудоемкость	
		Час	
Раздел 1.1. Тема 1.1.1.	Смеси идеальных газов. Способы задания смеси. Закон Дальтона. Уравнение состояния смеси идеальных газов.	6	
Раздел 1.1., Тема 1.1.2.	Определение количества теплоты по табличным значениям средней теплоемкости от 0 °С до t °С.	6	
Раздел 1.1., Тема 1.1.3.	Приложения первого закона термодинамики.	8	
Раздел 1.1., Тема 1.1.3.	Диаграмма T-s и её использование.	6	
Раздел 1.1., Тема 1.1.6.	Истечение через комбинированные сопла. Сопло Лавалья.	8	
Раздел 1.2., Тема 1.2.1.	Работа одноступенчатого компрессора при наличии вредного пространства.	4	
Раздел 1.2., Тема 1.2.3.	Методы повышения к. п. д циклов ГТУ.	8	
Раздел 1.3., Тема 1.3.2.	Влияние параметров пара на термический к. п. д. цикла Ренкина.	8	
Раздел 2.1., Тема 3.1.4.	Парокомпрессионная холодильная установка.	8	
Раздел 2.1., Тема 2.1.1.	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Граничные условия.	8	
Раздел 2.3.,	Основные понятия и определения. Виды	14	

Тема 2.3.2.	лучистых потоков. Законы теплового излучения.		
Раздел 2.2., Тема 2.2.1.5.	Теплообмен при фазовых превращениях.	14	
Раздел 2.4., Тема 2.2.3.2.	Лучистый теплообмен	10	
<b>Итого</b>		<b>108</b>	

### **5. Образовательные технологии**

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

- Лекционная система обучения.
- Сопровождение лекций показом визуального материала.

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.**

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

### **7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов**

Важную роль при освоении дисциплины «Термодинамика и теория теплообмена» играет самостоятельная работа аспирантов, которая запланирована в размере 144 часов. Самостоятельная работа способствует:

- углублению и расширению знаний;
- формированию интереса к самостоятельной научно-исследовательской деятельности;
- овладению приёмами процесса познания;
- развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа аспирантов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями к основной образовательной программе послевузовского профессионального образования по отрасли «01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника».

К самостоятельной работе относятся:

- самостоятельная работа на аудиторных занятиях (лекциях);



- внеаудиторная самостоятельная работа.

В процессе обучения предусмотрены следующие виды самостоятельной работы обучающегося:

- Работа с конспектами лекций.
- Проработка пройденных лекционных материалов по конспекту лекций, учебникам и пособиям на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- Написание рефератов по отдельным разделам дисциплины.
- Проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- Самостоятельное решение сформулированных задач по основным разделам курса.
- Изучение обязательной и дополнительной литературы.
- Подготовка к текущему контролю знаний.

В целях фиксации результатов самостоятельной работы аспирантов по дисциплине проводится аттестация самостоятельной работы. Контроль результатов самостоятельной работы осуществляется преподавателем в течение всего семестра.

При освоении дисциплины могут быть использованы следующие формы контроля самостоятельной работы:

- реферат,
- контрольная работа,
- другие по выбору преподавателя.

Аспирант организует самостоятельную работу в соответствии с рабочим учебным планом и графиком, рекомендованным преподавателем. Аспирант должен выполнить объем самостоятельной работы, предусмотренный рабочим учебным планом, максимально используя возможности индивидуального, творческого и научного потенциала для освоения образовательной программы в целом. Самостоятельная работа должна нацеливать аспирантов на получение навыков самостоятельной научной работы, обработки научной информации и носить поисковый характер, нацеливая аспирантов на самостоятельный выбор способов выполнения работы, на развитие у них навыков творческого мышления, инновационных методов решения поставленных задач.

### Примерный перечень вопросов по всему курсу

1. Основные понятия термодинамики. Основные параметры состояния.
2. Основные газовые законы идеального газа.
3. Газовые смеси.
4. Реальные газы. Уравнения состояния реальных газов.
5. Теплоемкость газа.
6. Внутренняя энергия газа.
7. Первый закон термодинамики.
8. Работа газа.
9. Энтальпия.
10. Уравнение энергии газового потока.
11. Исследование изохорного и изобарного процессов.
12. Исследование изотермного и адиабатного процессов.
13. Исследование политропного процесса.
14. Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы.
15. Объединенные уравнения первого и второго уравнений термодинамики.
16. Работоспособность энергии. Эксергия. Эксергетический КПД.
17. Циклы. Цикл Карно и его следствия.
18. Энтропия. Система T-s-координат.
19. Течение газов. Уравнение газового потока.
20. Сопла и диффузоры. Сопло Лавалья.
21. Одноступенчатый поршневой компрессор.
22. Многоступенчатый поршневой компрессор.
23. Цикл ДВС с подводом теплоты при  $v = \text{const}$ .
24. Цикл ДВС с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ .
25. Цикл ДВС смешанным подводом теплоты.
26. Цикл ГТУ с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ .
27. Цикл ГТУ с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  и с регенерацией.
28. Водяной пар. Диаграммы p-v и T-s водяного пара.
29. Цикл Карно для насыщенного пара.
30. Цикл Ренкина паросиловой установки
31. Паросиловая установка с пароперегревом.
32. Влияние параметров пара на термический к. п. д, паросиловой установки.
33. Паросиловая установка с вторичным пароперегревом.
34. Паросиловая установка с регенерацией.
35. Атомная паросиловая установка.
36. Термодинамические основы теплофикации.
37. Паросиловая установка с противодавлением.
38. Паросиловая установка с теплофикационным и промышленным отбором пара.
39. Воздушная холодильная установка.
40. Теплофикационная паросиловая установка.
41. Воздушная холодильная установка.
42. Парокомпрессионная холодильная установка.
43. Виды теплообмена. Теплопередача.

44. Теплопроводность. Основной закон теплопроводности.
45. Математическая формулировка задач теплопроводности.
46. Теплопроводность плоской стенки при ГУ-1.
47. Теплопроводность многослойной плоской стенки при ГУ-1.
48. Передача теплоты через плоскую стенку при ГУ-3.
49. Передача теплоты через многослойную плоскую стенку при ГУ-3.
50. Теплопроводность цилиндрической (однослойной многослойной) стенки при ГУ-1.
51. Передача теплоты через цилиндрическую (однослойную и многослойную) стенку при ГУ-3.
52. Пути интенсификации теплопередачи.
53. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана конвективной теплоотдачи.
54. Критериальные уравнения конвективного теплообмена.
55. Теплообмен при фазовых переходах.
56. Теплообмен излучением.
57. Назначение и классификация теплообменных аппаратов.
58. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов.
59. Характер изменения температур теплоносителей в теплообменниках и основные схемы их движения.
60. Сравнение прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей в теплообменных аппаратах.
61. Промышленные котельные агрегаты. Характеристика и классификация.
62. Топливо и его характеристики.
63. Основы теории горения.
64. Возобновляемые источники энергии.
65. Котлоагрегаты. Характеристика и классификация.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная и дополнительная литература**

#### **Основная**

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.

#### **Дополнительная**

1. 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.

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

3. Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия в 4- 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.

4. 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.

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

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

#### **программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. OS MS Windows XP
2. Adobe Acrobat Reader
- MS Office 2007

### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лаборатория располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы.

1. Учебные пособия;
2. Компьютерные демонстрации;
3. Компьютерное оборудование.