

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

## **ТЕПЛОФИЗИКА**

### **Методические указания к самостоятельной работе**

Для направлений подготовки 20.03.01 – Техносферная безопасность

Благовещенск, 2020

*Печатается по решению  
Редакционно-издательского совета  
Энергетического факультета  
Амурского государственного  
университета*

Теплофизика: Методические указания к самостоятельной работе для направления подготовки 20.03.01 / Сост.: Е.Ю. Артюшевская, Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2020. – 34 с.

Методические указания к самостоятельной работе предназначены для подготовки бакалавров по направлению подготовки 20.03.01 – Техносферная безопасность, формирующих развитие навыков и умения использования элементов теплотехнического анализа при решении конкретных задач в области теплоэнергетики.

В методических указаниях даны структура, задания и методика реализации всех видов самостоятельных работ в соответствии с учебной программой курса.

©Амурский государственный университет, 2020  
© Кафедра энергетики, 2020  
© Артюшевская Е.Ю., составитель  
© Мясоедов Ю.В., составитель  
© Мясоедова Л.А., составитель

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Виды и формы организации самостоятельной работы студентов	5
2. Самостоятельная работа с учебной и технической литературой	8
3. Методические рекомендации для организации самостоятельной работы студентов при подготовке к аудиторным занятиям	10
3.1. Подготовка к лекциям	10
3.2. Подготовка к практическим занятиям	11
3.3. Подготовка к лабораторным работам	20
3.4. Подготовка к коллоквиуму	25
3.5. Подготовка к зачетам и экзаменам	30
Библиографический список	33

## ВВЕДЕНИЕ

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Независимо от полученной профессии и характера работы любой начинающий специалист должен обладать фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности своего профиля, опытом творческой и исследовательской деятельности по решению новых проблем.

Все эти составляющие образования формируются именно в процессе самостоятельной работы студентов, так как предполагает максимальную индивидуализацию деятельности каждого студента и может рассматриваться одновременно и как средство совершенствования индивидуальности.

Основным принципом организации самостоятельной работы студентов является комплексный подход, направленный на формирование навыков репродуктивной и творческой деятельности студента в аудитории, при внеаудиторных контактах с преподавателем на консультациях и домашней подготовке.

Среди основных видов самостоятельной работы студентов традиционно выделяют: подготовка к лекциям, практическим занятиям, зачетам и экзаменам, презентациям и докладам; написание рефератов, выполнение лабораторных и контрольных работ, решение кейсов и ситуационных задач; участие в научной работе.

Самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом учебного процесса для каждого студента и определяется учебным планом.

## 1. ВИДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию;
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

- 1) овладеть знаниями:
  - чтение текста (учебника, дополнительной литературы и т.д.);
  - составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
  - работа со справочниками и др. справочной литературой;
  - ознакомление с нормативными и правовыми документами;
  - учебно-методическая и научно-исследовательская работа;
  - использование компьютерной техники и Интернета и др.;
- 2) закреплять и систематизировать знания:
  - работа с конспектом лекции;
  - обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
  - подготовка плана;
  - составление таблиц для систематизации учебного материала;
  - подготовка ответов на контрольные вопросы;
  - заполнение рабочей тетради;

- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных литературных источников;
- тестирование и др.;

### 3) формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- решение профессиональных кейсов и вариативных задач;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- опытно-экспериментальная работа;
- анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Формы самостоятельной работы студента могут различаться в зависимости от цели, характера, дисциплины, объема часов, определенных учебным планом: подготовка к лекциям, семинарским, практическим и лабораторным занятиям; изучение учебных пособий; изучение и конспектирование хрестоматий и сборников документов; изучение в рамках программы курса тем и проблем, не выносимых на лекции и семинарские занятия; написание тематических докладов, рефератов на проблемные темы; аннотирование монографий или их отдельных глав, статей; выполнение исследовательских и творческих заданий; написание контрольных и

лабораторных работ; составление библиографии и реферирование по заданной теме.

Формы самостоятельной работы студента по дисциплине «Теплофизика» по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»:

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма самостоятельной работы
1	Модуль 1. Техническая термодинамика.	выполнение домашних заданий; подготовка к лабораторным работам; подготовка к практическим занятиям; подготовка к коллоквиуму.
2	Модуль 2. Основы теории теплообмена.	выполнение домашних заданий; подготовка к лабораторным работам; подготовка к практическим занятиям; подготовка к коллоквиуму.
3	Модуль 3. Получение тепла.	выполнение домашних заданий; подготовка к лабораторным работам; подготовка к практическим занятиям; подготовка к коллоквиуму.

## 2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА С УЧЕБНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ

Формирование у обучающихся работать с учебно-технической литературой является составной частью проблемы формирования умений самостоятельно приобретать знания. В современных условиях в связи с ускорением темпов научно-технического прогресса возрастает потребность в подготовке квалифицированных специалистов для создания и эксплуатации новой техники и автоматизированных производств. Современный специалист нуждается в углублении знаний. Техническая литература - его постоянный спутник.

В учебном процессе книга выполняет ряд функций: является источником новых знаний, эффективным средством закрепления изложенного преподавателем материала, организацией самостоятельной работы обучающихся, активизацией их познавательной деятельности, умению технически мыслить. Но практика показывает, что, нередко, обучающиеся оказываются неподготовленными к самостоятельной работе с учебником, не говоря уже о научно - популярных книгах и журналах.

Поэтому, формированию умений самостоятельной работы с учебно – технической литературой необходимо уделять достаточное внимание. Учебно-техническая литература отражает особенности технического знания, и формировать умения работы с ней без их учета невозможно.

Учебно-техническая литература включает в себя: учебники (учебные пособия), задачки, справочники, техническую документацию, технические паспорта на оборудование, а также научно-популярную литературу.

В начале учебника излагаются сведения, которые дают обучающимся представление о содержании изучаемого предмета, новыми терминами, выражениями, определениями. Это дисциплинирует мышление и речь, побуждает воспринимать новые понятия, слова в более точном значении.



К техническому материалу относятся сведения о назначении, видах, устройстве электрооборудования, его работе, неисправностях, правилах технической эксплуатации.

Основная задача обучающихся при работе с таким материалом – разобраться, сопоставляя текст и сопровождающие его иллюстрации, в устройстве и взаимодействии частей рассматриваемого оборудования.

Учебная техническая литература обладает сложной структурой и включает в себя большой разнородный материал как информативного, описательного характера, так и теоретического.

Работа с техническим материалом требует абстрактного и наглядно-действенного мышлений, умения при чтении представить себе в динамике сложные явления и процессы. В технической литературе приводятся также расчеты, схемы, таблицы, рисунки, графики.

В техническое содержание учебного материала входят следующие компоненты: основные и составные части теплотехнического оборудования; структура этих частей и их функции (назначение), взаимодействие частей оборудования. От сложности устройства зависит степень самостоятельности такого компонента содержания, как функции его частей.

Для самостоятельной работы с теоретическим материалом учебной и технической литературы по специальности необходимы умения, благодаря которым можно без помощи преподавателя понять и запомнить незнакомый материал. Основными считаются следующие: составление конспекта, плана, подготовка рефератов, докладов. Эти умения можно назвать общими, поскольку овладение ими развивает мышление обучающихся, а значит, в определенной мере помогает формированию умений, необходимых для работы с технической литературой. Поэтому целесообразно начинать обучение самостоятельной работе с технической книгой, с закрепления и развития указанных умений.

Прежде всего, следует научить обучающихся разбираться в структуре книги – оглавлении (название глав, параграфов, контрольные вопросы).

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

#### **3.1. Подготовка к лекциям**

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы.

В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин. Ежедневной учебной работе студенту следует уделять 9–10 часов своего времени, т.е. при шести часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3–4 часа.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек.

Целесообразно разработать личную систему знаков, символов, сокращения слов. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, периодические издания, которые дополнительно рекомендовал лектор. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

### **3.2. Подготовка к практическим занятиям**

Практическое занятие – это один из предусмотренных учебным планом видов учебной работы, где отрабатываются и закрепляются навыки и знания, полученные студентами на лекционных занятиях, а также умение самостоятельно работать с литературой. Поэтому работа над выполнением практического задания должна быть результатом тщательного изучения рекомендованной по данной теме научной и учебной литературы

Во время работы над теоретическими вопросами практического задания рекомендуется делать выписки наиболее важных определений, доказательств и теоретических выводов. Эти выписки помогают лучше усвоить и закрепить в памяти прочитанный материал, облегчают его систематизирование, позволяют не возвращаться снова к уже изученной литературе.

План проведения практического занятия:

1. Вводная часть включает формулировку темы и цели занятия; повторение теоретических сведений по теме;

2. Основная часть предполагает самостоятельное выполнение заданий студентами. Сопровождается дополнительными разъяснениями по ходу работы (при необходимости), текущим контролем и оценкой результатов работы;

3. Заключительная часть содержит: подведение общих итогов занятия; оценку результатов работы студентов; ответы на вопросы студентов; выдачу рекомендаций по устранению пробелов в системе знаний и умений студентов, по улучшению результатов работы; задание на дом для закрепления пройденного материала и по подготовке к следующему практическому занятию.

При изучении материалов по каждой теме выполняется ряд задач. Примерный перечень задач по темам представлен ниже.

#### Тема 1. Уравнения состояния идеальных газов

Задача 1.1. Определить плотность и удельный объем окиси углерода CO при давлении 1 бар и температуре 300°K.

Задача 1.2. Для определения теплоты сгорания топлива в калориметрической бомбе применяется кислород из баллона объемом 0,006 м<sup>3</sup> при абсолютном давлении  $p = 120$  бар и температуре  $T = 300^\circ\text{K}$ . Определить, на сколько зарядов хватит кислорода, если объем бомбы 0,0004 м<sup>3</sup>, а абсолютное давление кислорода в бомбе 22 бар при температуре  $T = 300^\circ\text{K}$ .

Задача 1.3. Какую массу грузов может поднять воздушный шар объемом 1000 м<sup>3</sup> при температуре 300°K и давлении 1 бар, если он заполнен водородом.

Задача 1.4. Определить массу кислорода в баллоне емкостью 200 л при давлении 120 бар и температуре 17°С.

#### Тема 2. Смесь идеальных газов

Задача 2.1. Определить среднюю молекулярную массу сухого атмосферного воздуха, если принять, что он состоит по объему из 21% O<sub>2</sub> и 79% N<sub>2</sub>.

Задача 2.2. Определить газовую постоянную, плотность и парциальные давления для смеси, состоящей из 20 массовых долей воздуха и одной массовой

доли светильного газа. Плотность светильного газа при температуре  $273^{\circ}\text{K}$  и давлении  $101325 \text{ н/м}^2$  равна  $0,52 \text{ кг/м}^3$ .

### Тема 3. Первый закон термодинамики

Задача 3.1. Определить часовой расход топлива, необходимого для работы паровой турбины мощностью  $500 \text{ кВт}$ , если теплотворность топлива  $30000 \text{ кдж/кг}$ , к.п.д. установки  $20\%$ .

Задача 3.2.  $10 \text{ кг}$  воздуха при начальной температуре  $30^{\circ}\text{C}$  изменяют свое состояние до конечной температуры  $300^{\circ}\text{C}$ . Определить изменение внутренней энергии воздуха, считая его идеальным газом.

Задача 3.3. В котельной электростанции за  $10 \text{ ч}$  работы сожжено  $100 \text{ т}$  каменного угля с теплотворностью  $28\,000 \text{ кдж/кг}$ . Определить количество, выработанной электроэнергии и мощность электростанции, если к.п.д. станции  $20\%$ .

### Тема 4. Теплоемкость газов. Энтропия

Задача 4.1. Воздух, имеющий начальные параметры  $p_1 = 10 \text{ бар}$ ;  $V = 0,4 \text{ м}^3$  и  $t_1 = 127^{\circ}\text{C}$ , нагревается при постоянном объеме до температуры  $327^{\circ}\text{C}$ . Определить массу воздуха, конечное давление и количество подводимой теплоты.

Задача 4.2. Смешивается воздух двух потоков: холодный с температурой  $10^{\circ}\text{C}$  и горячий с температурой  $1000^{\circ}\text{C}$ ; смесь имеет температуру  $100^{\circ}\text{C}$ . Определить массовые доли холодного и горячего воздуха, считая давление холодного, горячего и смеси воздуха одинаковым,

Задача 4.3. При постоянном давлении к  $1 \text{ кг}$  воздуха подводится  $q_p = 5000 \text{ кдж/кг}$  теплоты. Найти  $t_2$ , если  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ .

Задача 4.4. Определить изменение энтропии  $1 \text{ кг O}_2$  в процессе расширения. Начальные параметры  $\text{O}_2$ :  $t_1 = 300^{\circ}\text{C}$ .  $p_1 = 3,0 \text{ Мн/м}^2$  ( $p_1 = 30 \text{ бар}$ ); конечные:  $t_2 = 400^{\circ}\text{C}$ ,  $p_2 = 0,4 \text{ Мн/м}^2$  ( $p_2 = 4 \text{ бар}$ ). Расчет произвести для двух случаев: 1) при постоянной теплоемкости; 2) при переменной теплоемкости.

### Тема 5. Термодинамические процессы

Задача 5.1. В баллоне объемом  $0,12 \text{ м}^3$  содержится воздух при абсолютном давлении  $10 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  и температуре  $50^\circ\text{C}$ . Определить конечное давление, количество теплоты и изменение энтропии при повышении температуры воздуха до  $150^\circ\text{C}$ .

Задача 5.2. 2 кг воздуха при постоянном абсолютном давлении в 2 бар и температуре  $288^\circ\text{K}$  расширяется до конечной температуры  $423^\circ\text{K}$ . Определить конечный объем воздуха, количество подведенной теплоты, работу расширения.

Задача 5.3. 12 кг воздуха при абсолютном давлении в 6 бар и температуре  $300^\circ\text{K}$  расширяются при постоянной температуре, при этом объем увеличивается в 4 раза. Определить начальные и конечные параметры воздуха, количество подведенной теплоты и работу расширения.

Задача 5.4. 2 кг воздуха при начальном абсолютном давлении 10 бар и температуре  $600^\circ\text{K}$  расширяются по адиабате до конечного давления 1 бар. Определить конечный объем, конечную температуру, работу расширения. Показатель адиабаты для двухатомных газов  $k=1,4$

#### Тема 6. Второй закон термодинамики

Задача 6.1. Воздух в противоточном теплообменнике нагревается от температуры  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ , а газы охлаждаются от температуры  $t_3 = 450^\circ\text{C}$  до температуры  $t_4 = 200^\circ\text{C}$ . Тепловые потери теплообменника составляют 20% от теплоты, отдаваемой газом. Определить потерю работоспособности на 1 кг проходящего газа вследствие необратимого теплообмена. Газ и воздух считать идеальными газами, обладающими свойствами воздуха. Теплоемкость воздуха и газов считать величинами постоянными. Температура окружающей среды равна  $t_0 = 25^\circ\text{C}$

Задача 6.2. Определить работоспособность (эксергию) 1 кг воздуха, находящегося под давлением  $p_1 = 4,0 \text{ Мн/м}^2$  или  $p_1 = 40 \text{ бар}$  и имеющего температуру  $t_1 = 500^\circ\text{C}$ . Температура и давление окружающей среды  $t_0 = 27^\circ\text{C}$  и  $p_0 = 1 \text{ бар}$ . Задачу решить при постоянной и переменной теплоемкостях.

Задача 6.3. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы в политропном процессе нагреть 5 кг воздуха от  $T_1 = 300^\circ \text{K}$  при давлении  $p_1 = 4$  бар до температуры  $1000^\circ \text{K}$  при давлении 10 бар. Теплоемкость воздуха  $C_p = 1$  кдж/(кг·град).

Задача 6.4. Определить среднеинтегральную и среднеарифметическую температуры газа в политропном процессе, если начальная температура  $T_1 = 800^\circ \text{K}$ , а конечная  $T_2 = 2000^\circ \text{K}$ .

Тема 7. Водяной пар. Влажный воздух

Задача 7.1. Определить параметры влажного насыщенного, водяного пара при давлении 20 бар и степени сухости  $x = 0,9$ .

Задача 7.2. Определить состояние пара, если дано: 1)  $p = 10$  бар и  $v = 0,17$  м<sup>3</sup>/кг; 2)  $p = 12$  бар и  $t = 200^\circ \text{C}$ .

Задача 7.3. Определить состояние водяного пара при давлении 15 бар, если на его получение из воды с температурой  $0^\circ \text{C}$  было затрачено 2400 кдж/кг теплоты.

Задача 7.4. Определить массу и энтальпию  $0,5$  м<sup>3</sup> влажного пара со степенью влажности 10% и давлением 10 бар.

Задача 7.5. Определить расход теплоты в пароперегревателе на 1 кг пара, если параметры при входе:  $p_1 = 80$  бар и  $x_1 = 0,95$ ; при выходе:  $p_2 = 80$  бар и  $t = 500^\circ \text{C}$ .

Тема 8. Термодинамические циклы

Циклы двигателей внутреннего сгорания

Задача 8.1. Для идеального цикла поршневого двигателя с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  определить параметры всех основных точек, полезную работу, количество подведенной и отведенной теплоты, термический к. п. д. цикла Карно по условиям задачи, термический к. п. д. цикла, среднее индикаторное давление, если даны  $p_1 = 1$  бар,  $T = 320^\circ \text{K}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 4,0$ , степень повышения давления  $\lambda = 4,0$ . Рабочее тело — воздух с газовой постоянной  $R = 287$  Дж/(кг·град), показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Теплоемкость рабочего тела принять, постоянной.

Задача 8.2. Для идеального поршневого двигателя с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  определить параметры всех основных точек, полезную работу, количество подведенной и отведенной теплоты, термический к. п. д. цикла, термический к. п. д. цикла Карно по условиям задачи, среднее индикаторное давление, если даны  $p_1 = 1$  бар,  $T_1 = 350^\circ\text{K}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 20$ , степень изобарного расширения  $\rho = 2$ ; рабочее тело - воздух с газовой постоянной  $R = 287$  Дж/(кг·град), показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Теплоемкость рабочего тела принять постоянной. Расчет ведется на 1 кг рабочего тела.

#### Циклы газотурбинных установок

Задача 8.3. Для идеального цикла ГТУ с подводом теплоты при  $p = \text{const}$  определить параметры характерных точек, работу расширения, сжатия и полезную, количество подведенной и отведенной теплоты, термический к. п. д. цикла. Начальные параметры рабочего тела:  $p_1 = 1$  бар,  $T_1 = 300^\circ\text{K}$ ; степень увеличения давления в компрессоре при адиабатном процессе сжатия  $\beta = p_2/p_1 = 10$ ; показатель адиабаты  $k = 1,4$ . Температура в точке 3 не должна превышать  $1000^\circ\text{K}$ ; рабочее тело — воздух; теплоемкость воздуха постоянная; расчет проводится на 1 кг рабочего тела.

Задача 8.4. В цикле газовой турбины с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  начальные параметры рабочего тела  $p_1 = 1$  бар,  $T_1 = 300^\circ\text{K}$ . Степень увеличения давления в адиабатном процессе сжатия  $\beta = p_2/p_1 = 10$ ;  $k = 1,4$ . Температура в точке 3 не должна превышать  $1000^\circ\text{K}$ . Рабочее тело — воздух; теплоемкости постоянные; расчет проводится на 1 кг рабочего тела.

Определить параметры всех основных точек, работу расширения, сжатия и полезную, количество подведенной и отведенной теплоты, термический к. п. д. цикла.

#### Циклы паротурбинных установок

Задача 8.5. Определить к.п.д. идеального цикла Ренкина при начальной температуре пара  $t = 500^\circ\text{C}$  и конечном давлении  $p_2 = 0,1$  бар. Задачу решить, когда: 1) начальное давление  $p_1 = 20$  бар; 2)  $p_1 = 50$  бар; 3)  $p_1 = 100$  бар.



Задача 8.6. Определить термический к.п.д. цикла Ренкина при начальном давлении пара  $p_1 = 40 \text{ бар}$  и начальной температуре  $t = 500^\circ \text{C}$ . Задачу решить, когда конечное давление  $p_2 = 2 \text{ бар}$ ;  $p_2 = 0,5 \text{ бар}$ ;  $p_2 = 0,05 \text{ бар}$ .

#### Тема 9. Теплопроводность

Задача 9.1. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена:

- а) из стали [ $\lambda = 40 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ ],
- б) из бетона [ $\lambda = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ ];
- в) из диатомитового кирпича [ $\lambda = 0,11 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ ].

Во всех трех случаях толщина стенки  $d = 50 \text{ мм}$  Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными  $t_{c1} = 100^\circ \text{C}$  и  $t_{c2} = 90^\circ \text{C}$ .

Задача 9.2. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной  $d = 50 \text{ мм}$   $q = 70 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Определить разность температур на поверхностях стенки и численные значения градиента температуры в стенке, если она выполнена:

- а) из латуни [ $\lambda = 70 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ ];
- б) из красного кирпича [ $\lambda = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ ];
- в) из пробки [ $\lambda = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ ].

Задача 9.3. Определить потери тепла через стенку длиной 5 м, высотой 3 м, толщиной  $d = 0,25 \text{ м}$ , если на поверхностях стенки поддерживаются температуры  $t_1 = +20^\circ \text{C}$ ,  $t_2 = -5^\circ \text{C}$ , коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ .

Задача 9.4. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали  $450 \text{ Вт}/\text{м}^2$  Температура поверхности под изоляцией  $t_{c1} = 450^\circ \text{C}$ , температура внешней поверхности изоляции  $t_{c2} = 50^\circ \text{C}$  Определить толщину изоляции для двух случаев: а) изоляция выполнена из совелита, для которого  $\lambda = 0,09 + 0,0000874 \times t$ ; б) изоляция выполнена из асботермита, для которого  $\lambda = 0,109 + 0,000146 \times t$ .

Задача 9.5. Стенка незранированной топочной камеры парового котла выполнена из слоя пеношамота толщиной  $d_1 = 125$  мм и слоя красного кирпича толщиной  $d_2 = 500$  мм. Слои плотно прилегают друг к другу. Температура на внутренней поверхности камеры  $t_{c1} = 1100$  °С, а на наружной  $t_{c3} = 50$  °С (рис. 1). Коэффициент теплопроводности пеношамота  $l_1 = 0,28 + 0,00023t$ , красного кирпича  $l_2 = 0,7$  Вт/(м×К).

Вычислить тепловые потери через  $1$  м<sup>2</sup> стенки топочной камеры и температуру в плоскости соприкосновения слоев.

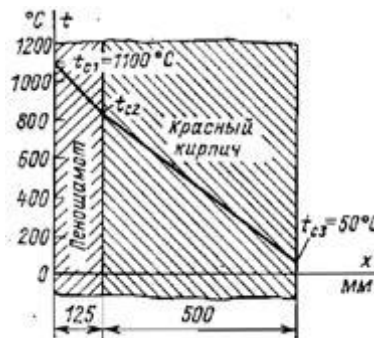


Рисунок 1 - Стенка незранированной топочной камеры парового котла

### Тема 10. Теплоотдача

Задача 10.1. Вычислить средний коэффициент теплоотдачи при течении трансформаторного масла в трубе диаметром  $d = 8$  мм и длиной  $l = 1$  м, если средняя по длине трубы температура масла  $t_{ж} = 80$  °С, средняя температура стенки трубки  $t_c = 20$  °С и скорость масла  $\omega = 0,6$  м/с

Задача 10.2. По трубке диаметром  $d = 6$  мм движется вода со скоростью  $w = 0,4$  м/с. Температура стенки трубки  $t_c = 50$  °С. Какую длину должна иметь трубка, чтобы при температуре воды на входе  $t_{ж1} = 10$  °С ее температура на выходе из трубки была  $t_{ж2} = 20$  °С

Задача 10.3. Медный шинопровод кругл. сечения диаметром  $d = 15$  мм охлаждается поперечным потоком сухого воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха равны соотв.  $w = 1$  м/с и  $t_{ж} = 20$  °С. Вычислить коэффициент теплоотдачи от поверхности шинопровода к воздуху и допустимую силу тока в шинопроводе при условии, что температура его не

должна превышать  $t_c=80^\circ\text{C}$ . Удельное электрическое сопротивление меди  $r = 0.0175 \text{ Ом}\times\text{мм}^2/\text{м}$ .

Задача 10.4. Цилиндрическая трубка диаметром  $d = 20 \text{ мм}$  охлаждается поперечным потоком воды. Скорость потока  $w = 1 \text{ м/с}$ . Средняя температура воды  $t_{\text{ж}} = 10^\circ\text{C}$  и температура поверхности трубки  $t_{\text{ст}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности трубки к охлаждающей воде.

Задача 10.5. Водяной калориметр, имеющий форму трубки с наружным диаметром  $d = 15 \text{ мм}$ , помещен в поперечный поток воздуха. Воздух имеет скорость  $w = 2 \text{ м/с}$ , направленную под углом  $90^\circ$  к оси калориметра, и среднюю температуру  $t_{\text{ж}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . При стационарном тепловом режиме на внешней поверхности калориметра устанавливается постоянная средняя температура  $t_{\text{ст}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислить коэффициент теплоотдачи от трубки к воздуху и тепловой поток на единицу длины калориметра.

## Тема 11. Тепловое излучение

Задача 11.1. Определить плотность солнечного лучистого потока, падающего на плоскость, нормальную к лучам Солнца и расположенную за пределами атмосферы Земли. Известно, что излучение солнца близко к излучению абсолютно черного тела с температурой  $t_0=5700^\circ\text{C}$ . Диаметр Солнца  $D = 1,391 \cdot 10^6 \text{ км}$ , расстояние Земли от Солнца  $l = 149,5 \cdot 10^6 \text{ км}$ .

Задача 11.2. Паропровод наружным диаметром  $d=200\text{мм}$  расположен в большом помещении с температурой воздуха  $t_{\text{ж}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура поверхности паропровода  $t_{c1}=400^\circ\text{C}$ . Определить тепловые потери с единицы длины паропровода за счет излучения и конвекции. Степень черноты поверхности паропровода  $\varepsilon = 0,8$ . Температуру стен помещения можно принять равной температуре воздуха, т.е.  $t_{c2}=30^\circ\text{C}$ . Найти также соответствующие тепловые потери при температуре паропровода  $200^\circ\text{C}$

Задача 11.3. Обмуровка топочной камеры первого котла выполнена из шамотного кирпича, а внешняя обшивка – из листовой стали. Расстояние между обшивкой и кирпичной кладкой равна  $30 \text{ мм}$ , и можно считать его малым по

сравнению с размерами стен топки . Вычислить потери теплоты в окружающую среду с единицу времени в условиях стационарного режима за счет лучистого теплообмена между поверхностями обмуровки и обшивки. Температура внешней поверхности  $t_1=127^\circ\text{C}$ , а температура стальной обшивки  $t_2=50^\circ\text{C}$ . Степень черноты шамота  $\varepsilon_{ш} = 0,8$  и листовой стали  $\varepsilon_c = 0,6$ .

### **3.3. Подготовка к лабораторным работам**

Лабораторные работы позволяют интегрировать теоретические знания и формировать практические умения и навыки студентов в процессе учебной деятельности.

Подготовку к каждому занятию по лабораторным работам каждый студент должен начать с ознакомления с целью лабораторной работы, теоретическими сведениями и изучением работы экспериментальной установки.

Задачи лабораторных занятий по дисциплине «Теплофизика»:

1. закрепление теоретического материала путем систематического контроля за самостоятельной работой студентов;
2. формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторных работ;
3. развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторных работ;
4. формирование навыков оформления результатов лабораторных работ в виде таблиц, графиков, выводов.

Структура лабораторного занятия:

1. Объявление темы, цели и задач занятия.
2. Проверка теоретической подготовки студентов к лабораторному занятию.
3. Выполнение лабораторной работы.
4. Подведение итогов занятия (формулирование выводов).
5. Проверка лабораторных тетрадей.

Лабораторная работа № 1. Определение теплопроводности твердых

материалов методом пластины.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Назовите способы передачи теплоты, укажите их основные особенности.

2. Поясните следующие понятия: температурное поле, изотермическая поверхность, градиент температуры.

3. Основной закон теплопроводности (закон Фурье).

4. Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , его физический смысл.

5. От чего зависит коэффициент теплопроводности?

6. Как изменяется наклон температурных зависимостей при одинаковом линейном масштабе, если значение теплопроводности  $\lambda$  возрастает?

7. Что называется термическим сопротивлением стенки, термической проводимостью стенки?

8. Приведите и поясните схему рабочего участка лабораторной установки.

Лабораторная работа № 2. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении воздуха в трубе.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Что такое конвективный теплообмен? От каких факторов зависит его интенсивность?

2. Режимы движения жидкости. Критические значения критерия Рейнольдса для вынужденного движения жидкости внутри трубы.

3. Закон теплоотдачи Ньютона.

4. Каков физический смысл коэффициента теплоотдачи?

5. Назовите критерии подобия для явления теплоотдачи. Какие безразмерные комплексы называются определяющими критериями подобия; какие определяемыми?

6. Как записывается критериальное уравнение для вынужденной конвекции? От чего зависят коэффициент и показатели степени?

7. Поясните понятие динамического и теплового пограничного слоя.

8. Чем объясняется изменение коэффициента теплоотдачи по мере удаления от входа на начальном участке трубы?

9. Как определяется скорость течения воздуха в трубе, как она влияет на интенсивность теплообмена?

Лабораторная работа № 3. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Что называется естественной конвекцией и в чем заключается механизм ее возникновения?

2. Чему равна подъемная сила при естественной конвекции?

3. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Каков его физический смысл?

4. Сформулируйте три теоремы подобия.

5. Чем отличаются определяемый и определяющий критерии подобия для естественной конвекции и в чем их физический смысл?

6. Что такое определяющая температура? Какая температура является определяющей для данного случая?

7. Назовите режимы теплообмена при естественной конвекции около горизонтальной поверхности; от каких параметров зависит переход от одного режима к другому; в чем заключается особенность механизма переноса тепла в каждом из режимов?

8. Каким образом определяется плотность теплового потока на данной установке?

9. Как изменяется локальный коэффициент теплоотдачи вдоль образующей поперечного сечения горизонтальной трубы при естественной конвекции? Почему?

Лабораторная работа № 4. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около вертикального цилиндра в атмосфере различных газов.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Что называется свободной конвекцией и в чем заключается механизм

ее возникновения?

2. Какое различие между свободной конвекцией в неограниченном и ограниченном пространстве?

3. Какие критерии подобия используются для исследования теплоотдачи при естественной конвекции?

4. Каким образом определяется плотность теплового потока на данной установке?

5. Приведите граничные (для определения режима движения) значения  $(Gr \cdot Pr)$  для естественной конвекции около вертикального цилиндра.

6. Как графически определяются показатель степени  $n$  и константа  $C$  в критериальной зависимости  $Nu = f(Gr \cdot Pr)$ ?

7. Каков характер изменения локального коэффициента теплоотдачи вдоль вертикальной поверхности при свободной конвекции при различных режимах движения?

8. Какова роль газовой среды в процессе теплообмена при естественной конвекции?

Лабораторная работа № 5. Определение коэффициента излучения электропроводящего материала калориметрическим методом.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Лучистый теплообмен - это ... Виды излучений.

2. От чего зависит интенсивность излучения?

3. Особенности излучения твердых тел и газов.

4. Понятие абсолютно белого, абсолютно черного, абсолютно прозрачного тела.

5. Если вещество, например, обычное стекло, проницаемо, то оно проницаемо для всех длин волн черного излучения или нет?

6. Что такое эффективное излучение, спектральная плотность потока излучения?

7. Какое излучение называется равновесным тепловым? Чему равен результирующий поток  $Q_{рез}$  в изолированной равновесной излучающей

системе?

8. Основные законы теплового излучения (закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа).

9. Как определить температуру удаленного абсолютно черного тела?

10. Что такое степень черноты тела? Укажите возможные пределы значений коэффициента излучения и степени черноты серого тела.

11. В чем сущность методов эффективного и многократного отражения, используемых для определения результирующего потока лучистого теплообмена?

12. Поясните рабочую схему, для чего производят вакуумирование экспериментального участка?

13. Поясните построенные по опытным данным графики зависимостей  $C_1 = f(T_1)$  и  $\varepsilon = f(T_1)$ .

Лабораторная работа № 6. Исследование работы теплообменного аппарата.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Типы теплообменных аппаратов.
2. Классификация рекуперативных теплообменных аппаратов.
3. Виды теплового расчета теплообменников, основные расчетные уравнения, последовательность расчета.
4. От чего зависит коэффициент теплопередачи, его физический смысл.
5. Как изменяются температуры горячего и холодного теплоносителей по длине канала для прямотока и противотока? (зарисовать).
6. Какие преимущества имеет противоточная схема по сравнению с прямоточной?
7. Как влияет увеличение температуры горячего теплоносителя на входе на тепловую мощность аппарата и температуры теплоносителей на выходе?
8. Как влияет увеличение расхода холодного теплоносителя на тепловую мощность аппарата и температуры теплоносителей на выходе?
9. Пояснить схему рабочего участка и получившиеся результаты.



Лабораторная работа № 7. Интенсификация работы теплообменного аппарата.

Вопросы к лабораторной работе:

1. Почему истечение газа из сопла можно считать адиабатным?
2. Какие режимы истечения из сопла вам известны?
3. От каких параметров зависит  $\beta_k$ ?
4. От каких параметров зависит скорость истечения через сужающееся сопло в сверхкритической области истечения?
5. Измерение каких параметров производится в опыте?
6. Что надо сделать, чтобы увеличить расход газа при истечении через сужающееся сопло неизменной геометрии в сверхкритической области истечения?
7. С помощью какого устройства создается перепад давления в данной установке?
8. Как определяется действительная температура на выходе из сопла  $T_2$ ?
9. Как осуществляется переход с одного режима работы на другой?
10. Какие параметры влияют на значения коэффициента расхода сопла  $\mu_c$ ?

#### **3.4. Подготовка к коллоквиуму**

Коллоквиум (в переводе с латинского “беседа, разговор”) – форма учебного занятия, понимаемая как беседа преподавателя с учащимися с целью активизации знаний. Коллоквиум проводится в середине семестра или после изучения модуля в форме опроса с билетами.

Коллоквиум — форма проверки и оценивания знаний учащихся в системе образования. Представляет собой мини-экзамен, проводимый в середине семестра и имеющий цель закрепить знания обучающихся. Оценка, полученная на коллоквиуме, может влиять на итоговую оценку по дисциплине.

Коллоквиум ставит следующие задачи:

- проверка и контроль полученных знаний по изучаемой теме;
- расширение проблематики в рамках дополнительных вопросов по данной теме;

- углубление знаний при помощи использования дополнительных материалов при подготовке к занятию;

- студенты должны продемонстрировать умения работы с различными видами источников.

Коллоквиум может проводиться в устной и письменной форме.

К устной форме относятся следующие виды:

- личная беседа учащегося и преподавателя;
- тестирование или опрос;
- защита письменных работ: рефератов и докладов;
- дискуссии и обсуждения в группах.

Письменные задания могут дополнять устные формы коллоквиума или, по решению преподавателя, проводиться изолированно. Проверка знаний может проводиться в виде контрольных, письменных тестов, ответов на вопросы и др.

К подготовке к коллоквиуму стоит подходить с ответственностью, поскольку выводы о знаниях учащихся складываются по результатам коллоквиума. Коллоквиум позволит студенту систематизировать свои знания по дисциплине, увидеть слабые стороны и подготовиться к сдаче итогового экзамена.

Вопросы к коллоквиуму по модулю 1 - Техническая термодинамика.

1. Предмет и метод термодинамики. Основные понятия и определения: термодинамическая система; термодинамический процесс; окружающая среда, рабочее тело.

2. Сущность первого и второго закона термодинамики

3. Идеальный газ, основные параметры состояния. Термическое уравнение состояния идеального газа.

4. Энергия, ее виды. Теплота и работа как способы передачи энергии.

5. Первый закон термодинамики для неподвижного газа. Энтальпия, ее свойства.

6. Теплоемкость газов; массовая, молярная, объемная теплоемкости, связь между ними; изохорная, изобарная; истинная и средняя теплоемкости; способы определения теплоемкости.

7. Смеси идеальных газов. Способы задания смесей. Расчет газовой постоянной и теплоемкости смеси.

8. Термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный).

9. Второй закон термодинамики. Энтропия, диаграмма T-S. Расчет изменения энтропии.

10. Понятие цикла Карно. Понятие термического КПД.

11. Элементы термодинамики движущегося газа. Массовый и объемный расходы. Уравнение неразрывности. Первый закон термодинамики для движущегося газа.

12. Основные закономерности соплового и диффузорного течений. Режимы течения. Критический режим течения, критические параметры. Сверхкритический режим истечения. Сопло Лавалья.

13. Циклы ДВС с подводом тепла при постоянном объеме, при постоянном давлении. Цикл ДВС со смешанным подводом тепла.

14. ГТУ с подводом тепла при постоянном давлении. Цикл ГТУ с регенерацией тепла. Способы повышения эффективности ГТУ.

15. Реальные газы, их свойства.

16. Водяной пар. Основные понятия и определения.

17.  $Pv$ -диаграмма водяного пара. Основные параметры жидкости, насыщенного и перегретого пара.  $Ts$ - и  $is$ - диаграммы водяного пара. Таблицы водяного пара.

18. Истечение водяного пара. Дросселирование водяного пара.

19. Цикл Карно для водяного пара. Цикл Ренкина, его термический КПД.

20. Влажный воздух. Основные понятия и определения.  $Id$ - диаграмма влажного воздуха.

Вопросы к коллоквиуму по модулю 2 - Основы теории теплообмена.

1. Назовите способы передачи теплоты, укажите их основные особенности.
2. Поясните следующие понятия: температурное поле, изотермическая поверхность, градиент температуры.
3. Основной закон теплопроводности (закон Фурье).
4. Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , его физический смысл.
5. От чего зависит коэффициент теплопроводности?
6. Что называется термическим сопротивлением стенки, термической проводимостью стенки?
7. Что такое конвективный теплообмен? От каких факторов зависит его интенсивность?
8. Режимы движения жидкости. Критические значения критерия Рейнольдса для вынужденного движения жидкости внутри трубы.
9. Закон теплоотдачи Ньютона.
10. Каков физический смысл коэффициента теплоотдачи?
11. Как записывается критериальное уравнение для вынужденной конвекции? От чего зависят коэффициент и показатели степени?
12. Поясните понятие динамического и теплового пограничного слоя.
13. Что называется естественной конвекцией и в чем заключается механизм ее возникновения?
14. Что называется свободной конвекцией и в чем заключается механизм ее возникновения?
15. Чему равна подъемная сила при естественной конвекции?
16. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Каков его физический смысл?
17. Сформулируйте три теоремы подобия.
18. Чем отличаются определяемый и определяющий критерии подобия для естественной конвекции и в чем их физический смысл?
19. Какое различие между свободной конвекцией в неограниченном и ограниченном пространстве?

20. Какие критерии подобия используются для исследования теплоотдачи при естественной конвекции?

21. Приведите граничные (для определения режима движения) значения ( $Gr \cdot Pr$ ) для естественной конвекции около вертикального цилиндра.

22. Лучистый теплообмен - это ... Виды излучений.

23. От чего зависит интенсивность излучения?

24. Особенности излучения твердых тел и газов.

25. Понятие абсолютно белого, абсолютно черного, абсолютно прозрачного тела.

26. Что такое эффективное излучение, спектральная плотность потока излучения?

27. Основные законы теплового излучения (закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа).

Вопросы к коллоквиуму по модулю 3 - Получение тепла.

1. Определение топлива. Классификация органических топлив по агрегатному состоянию.

2. Основные характеристики топлива

3. Теплота сгорания

4. Моторные топлива для поршневых ДВС.

5. Физический процесс горения топлива

6. Процессы горения топлива

7. Горение газообразного топлива.

8. Горение твердого топлива.

9. Горение жидкого топлива.

10. Токсичные газы продуктов сгорания.

11. Воздействия токсичных газов.

12. Последствия парникового эффекта.

## ОБРАЗЕЦ ЗАДАНИЯ НА КОЛЛОКВИУМ

### БИЛЕТ № 1

1. Идеальный газ, основные параметры состояния. Термическое уравнение состояния идеального газа.

2. Истечение водяного пара. Дросселирование водяного пара

### **3.5. Подготовка к зачетам и экзаменам**

Каждый учебный семестр заканчивается зачетно-экзаменационной сессией. Подготовка к зачетно-экзаменационной сессии, сдача зачетов и экзаменов является также самостоятельной работой студента. Основное в подготовке к сессии – повторение всего учебного материала дисциплины, по которому необходимо сдавать зачет или экзамен.

Экзамен это завершающий этап подготовки студента, механизм выявления и оценки результатов учебного процесса и установления соответствия уровня профессиональной подготовки. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент должен ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, систематизировать и упорядочить свои знания.

При подготовке к экзамену студентам целесообразно использовать материалы лекций, учебно-методические комплексы, основную и дополнительную литературу.

Формулировка вопросов экзаменационного билета совпадает с формулировкой перечня рекомендованных для подготовки вопросов экзамена, доведенного до сведения студентов накануне экзаменационной сессии.

При проработке той или иной темы курса сначала следует уделить внимание конспектам лекций, а уж затем учебникам, и другой печатной продукции. При подготовке необходимо кратко записать ответы на наиболее трудные, с точки зрения студента, вопросы. Запись включает дополнительные (моторные) ресурсы памяти.

Представляется крайне важным посещение студентами проводимой перед экзаменом консультации. Здесь есть возможность задать вопросы преподавателю по тем разделам и темам, которые недостаточно или противоречиво освещены в учебной, научной литературе или вызывают затруднение в восприятии.

Важно, чтобы студент грамотно распределил время, отведенное для подготовки к экзамену. В этой связи целесообразно составить календарный план подготовки к экзамену, в котором в определенной последовательности отражается изучение или повторение всех экзаменационных вопросов. Подготовку к экзамену студент должен вести ритмично и систематично.

Примерный перечень вопросов к экзамену по дисциплине «Теплофизика»:

1. Предмет и метод термодинамики. Основные понятия и определения: термодинамическая система; термодинамический процесс; окружающая среда, рабочее тело.

2. Идеальный газ, основные параметры состояния. Термическое уравнение состояния идеального газа.

3. Энергия, ее виды. Теплота и работа как способы передачи энергии.

4. Первый закон термодинамики для неподвижного газа. Энтальпия, ее свойства.

5. Теплоемкость газов и связь между ними; изохорная, изобарная; истинная и средняя теплоемкости; способы определения теплоемкости.

6. Смеси идеальных газов. Способы задания смесей. Расчет газовой постоянной и теплоемкости смеси.

7. Термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный).

8. Второй закон термодинамики. Энтропия, диаграмма T-S. Расчет изменения энтропии.

9. Понятие цикла Карно. Понятие термического КПД.

10. Элементы термодинамики движущегося газа. Массовый и объемный расходы. Уравнение неразрывности. Первый закон термодинамики для движущегося газа.
11. Основные закономерности соплового и диффузорного течений. Режимы течения. Критический режим течения, критические параметры. Сверхкритический режим истечения. Сопло Лавалья.
12. Циклы ДВС с подводом тепла при постоянном объеме, при постоянном давлении. Цикл ДВС со смешанным подводом тепла.
13. ГТУ с подводом тепла при постоянном давлении. Цикл ГТУ с регенерацией тепла. Способы повышения эффективности ГТУ.
14. Реальные газы, их свойства.
15. Водяной пар. Основные понятия и определения.
16. Диаграммы водяного пара. Основные параметры жидкости, насыщенного и перегретого пара. Таблицы водяного пара.
17. Истечение водяного пара. Дросселирование водяного пара.
18. Цикл Карно для водяного пара. Цикл Ренкина, его термический КПД.
19. Влажный воздух. Основные понятия и определения. Диаграмма влажного воздуха.
20. Теплопроводность. Основной закон теплопроводности.
21. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана.
22. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубе.
23. Теплоотдача при естественной конвекции.
24. Лучистый теплообмен. Основные понятия и законы.
25. Сложный теплообмен. Интенсификация теплопередачи.
26. Типы теплообменных аппаратов. Основные расчетные уравнения.
27. Виды и характеристики топлив. Основы теории горения.
28. Охрана окружающей среды от вредных выбросов ТЭС.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты : учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М. : Издательство Юрайт, 2020. — 199 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01850-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://www.bibli-online.ru/bcode/448363>

2. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М. : Издательство Юрайт, 2020. — 308 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01738-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://www.bibli-online.ru/bcode/448239>

3. Замалеев, З.Х. Основы гидравлики и теплотехники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / З.Х. Замалеев, В.Н. Посохин, В.М. Чефанов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/39146>. — Загл. с экрана.

4. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. А. В. Васильев, Ю. С. Бахрачева. — Электрон. текстовые данные. — Волгоград : Волгоградский институт бизнеса, Вузовское образование, 2009. — 208 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11352.html>

5. Теплотехника. Практикум : учебное пособие для вузов / В. Л. Ерофеев [и др.] ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М. : Издательство Юрайт, 2020. — 395 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-6992-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://www.bibli-online.ru/bcode/450867>

6. Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — Электрон. дан. — Санкт-

Петербург : Лань, 2012. — 208 с. — Режим доступа:  
<https://e.lanbook.com/book/3900>. — Загл. с экрана.

7. Гриценко, М. В. Теплотехника [Текст] : Лабораторный практикум / М. В. Гриценко, А. В. Гриценко ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. - 132 с.

8. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [Текст] : Справочник: Рек. Гос. службой стандартных справ. данных. ГСССД Р-776-98 / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та. - [Б. м. : б. и.], 19992003. - 165 с. : табл.

9. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] / В. В. Нащокин. – М., 2008. – 469 с.

10. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы [Текст] : справ. / Под общ.ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 1999, 2000. - 528 с.

11. Зенкин. А.С. Самостоятельная работа студентов. Методические указания /сост. А.С. Зенкин, В.М. Кирдяев, Ф.П. Пильгаев, А.П. Лащ – Саранск.: Изд-во Морд. у-та, 2009. – 35 с.

12. Ковалевский И. Организация самостоятельной работы студента// Высшее образование в России. – 2000. – №1. – С.114–115.