

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИВАНОВСКАЯ ПОЖАРНО-  
СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ  
СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И  
ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**



**Методические рекомендации  
по самостоятельной работе  
обучающихся по дисциплине  
«Теплотехника»**

(специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность»)

**Натареев С.В.**

Методические рекомендации по изучению учебной дисциплины «Теплотехника» для обучающихся по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. - 29 с.

Методические рекомендации содержат краткое изложение дисциплины «Теплотехника» в соответствии с требованиями государственного стандарта и рабочей программы курса «Теплотехника», советы по планированию и организации времени, необходимого на изучение дисциплины; пожелания по изучению отдельных тем курса; рекомендации по работе с литературой; советы по подготовке к экзамену.

© ИПСА ГПС МЧС России, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Общие рекомендации по работе с литературой	5
Логические принципы построения решения задач	6
Методические рекомендации по изучению тем дисциплины	7
Тесты для самоконтроля	21
Методические рекомендации для подготовки к экзамену	28
Перечень литературы для самостоятельной работы	29

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Теплотехника» является теоретической базой для изучения дисциплин «Пожарная безопасность объектов защиты», «Противопожарное водоснабжение», «Прогнозирование опасных факторов пожара», «Теория горения и взрыва», «Физико-химические основы развития и тушения пожаров».

Цель изучения дисциплины состоит в формировании научных представлений об основных законах термодинамики и закономерностей теплообмена с последующим их использованием для решения задач по обеспечению безопасности человека в современном мире, в формировании комфортной для жизни и деятельности человека техносферы, минимизации техногенного воздействия на окружающую среду, в сохранении жизни и здоровья человека за счет использования современных технических средств, методов контроля и прогнозирования. Усвоение дисциплины «Теплотехника» является необходимым условием подготовки квалифицированного специалиста пожарной охраны.

Задача дисциплины - теоретически и практически подготовить будущих специалистов к творческому применению различных методов расчета процессов теплообмена при решении вопросов пожарной безопасности.

Усвоение дисциплины «Теплотехника» является необходимым условием подготовки квалифицированного специалиста пожарной охраны.

Задачами дисциплины являются:

- изучение основных параметров состояния газов и овладение обучающимися расчётными и экспериментальными методами их определения;
- изучение основных законов термодинамики и их проявления в реальных условиях;
- изучение видов передачи тепла, их опасность и способы защиты;
- приобретение обучающимися навыков самостоятельной работы с информационно-справочной литературой,
- умение самостоятельно анализировать складывающуюся обстановку и принимать профессионально грамотные в экстренных и штатных ситуациях.

Изучение дисциплины «Теплотехника», помимо лекций и практических занятий, сопровождается выполнением ряда лабораторных работ, предназначенных для углубления и развития представлений о теплофизических процессах. Завершается изучение дисциплины сдачей экзамена.

## **Общие рекомендации по работе с литературой**

При изучении дисциплины рекомендуется использовать учебники и учебные пособия, оригинальные научные монографические источники, научные публикации в периодической печати.

При работе с литературой следует использовать различные виды чтения на определенных этапах освоения материала.

Предварительное чтение направлено на выявление в тексте незнакомых терминов, поиск значения в справочной литературе и их анализ. Сквозное чтение предполагает прочтение материала от начала до конца, что дает возможность сформировать свод основных понятий из изучаемой области и свободно владеть ими. Выборочное, наоборот, имеет целью поиск и отбор материала. В рамках курса «Теплотехника» выборочное чтение, как способ освоения содержания курса, должно использоваться при подготовке к практическим и лабораторным занятиям по соответствующим разделам.

Аналитическое чтение - это критический разбор текста с последующим его конспектированием. Освоение указанных понятий будет наиболее эффективным в том случае, если при чтении текстов у обучающихся будут возникать вопросы.

К этому можно добавить и иные приемы: прием реферирования, прием комментирования. При возникновении интереса к какой-то обсуждаемой в тексте проблеме всегда есть возможность обратиться к списку относящейся к ней литературы. В этом случае вся проблема как бы разбивается на составляющие части, каждая из которых может изучаться отдельно от других, при этом сохраняя общий контекст.

Начинать изучение дисциплины необходимо с рассмотрения ее содержания по программе, затем приступить к рассмотрению отдельных разделов. Сначала знакомятся с содержащимися в данном разделе вопросами, их последовательностью, а затем уже приступают к изучению содержания раздела. При первом чтении необходимо получить общее представление об излагаемых вопросах. При повторном чтении необходимо параллельно вести конспект, в который заносить все основные понятия и закономерности рассматриваемого раздела, математические зависимости и их выводы; химические формулы и уравнения реакций, названия веществ и впервые встретившиеся термины с кратким пояснением их сущности. По возможности старайтесь систематизировать материал, представляйте его в виде красочных графиков, схем, диаграмм, таблиц – это облегчит запоминание материала и позволит легко восстановить его в памяти при повторном обращении. Не старайтесь наполнить конспект отдельными фактами и цифрами, их всегда можно отыскать в соответствующих справочных материалах. Вникайте в сущность того или иного вопроса – это способствует более глубокому и прочному усвоению материала. Переходить к изучению нового раздела следует только после полного изучения теоретических вопросов, выполнения самопроверки и решения задач по предыдущему разделу.

Закончив изучение раздела, ответьте на вопросы для самопроверки, которые акцентируют внимание на наиболее важных вопросах. При этом старайтесь не пользоваться конспектом или учебником. Частое обращение к конспекту показывает

недостаточное усвоение основных вопросов. Необходимость частого обращения к учебнику показывает неумение правильно конспектировать основные понятия и закономерности. Внесите коррективы в конспект, который впоследствии поможет при повторении материала в период подготовки к экзамену.

### **Логические принципы построения решения задач**

*Задача* – это цель, заданная в определенных условиях, решение задачи – процесс достижения поставленной цели, поиск необходимых для этого средств. Решение задачи фактически сводится к использованию сформированного мыслительного действия, воспроизводству готового знания. Такой вид мышления называют репродуктивным.

Приступая к решению задачи, каждый человек воспринимает и обрабатывает в своем сознании информацию, заложенную в условии задачи. Для оптимального выполнения этой деятельности рекомендуем следующий алгоритм решения задач:

1. Внимательно прочитайте условие задания и уясните основной вопрос, представьте процессы и явления, описанные в условии.
2. Повторно прочтите условие для того, чтобы чётко представить основной вопрос, проблему, цель решения, заданные величины, опираясь на которые можно вести поиски решения.
3. Произведите краткую запись условия задания:
  - 1) если необходимо составьте таблицу, схему, рисунок или чертёж;
  - 2) определите метод решения задания, составьте план решения;
  - 3) запишите основные понятия, формулы, описывающие процессы, предложенные заданной системой.
4. Найдите решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
5. Проверьте правильность решения задания.
6. Произведите оценку реальности полученного решения.
7. Запишите ответ.

## **Методические рекомендации по изучению курса**

Приступая к изучению дисциплины «Теплотехника», необходимо ознакомиться с рабочей программой, настоящими методическими указаниями и списком рекомендуемой литературы. Список литературы дан как в рабочей программе, так и в конце каждой темы данных методических указаний.

Основная трудность, с которой сталкивается обучающийся при изучении курса, состоит в неумении систематизировать материал, выделять наиболее важные сведения, устанавливать взаимосвязь и взаимообусловленность теплофизических явлений и процессов, происходящих при пожаре. Этому в значительной степени помогает разбор материала каждой темы, а также вопросы для самопроверки. Настоятельно рекомендуется вести подробный конспект лекций и практических занятий. Это тем более важно, что материал дисциплины придется изучать по разным литературным источникам.

## **Тема 1. Идеальные газы**

Материал данного раздела подробно и доступно изложен в [1], обычного его изучение не вызывает у обучающихся затруднений.

1. Изучите данный раздел с использованием материала лекций и учебной литературы.
2. Заучите определения основных понятий: «термодинамическая система», «основные параметры состояния», «основные газовые законы», «равновесное и неравновесное состояние».

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Идеальный газ. Рабочее тело. Характерные свойства газа.
2. Основные параметры, единицы измерения.
3. Виды давления, единицы измерения, приборы.
4. Температура, системы и единицы измерения.
5. Основное уравнение состояния для газов.
6. Уравнение Клапейрона. Практическое значение.
7. Универсальная газовая постоянная, физический смысл, размерность.
8. Газовая постоянная, физический смысл, размерность.
9. Основные газовые законы.
10. Закон Бойля-Мариотта, практическое проявление.
11. Закон Гей-Люссака, практическое проявление.
12. Закон Шарля, практическое проявление.
13. Газовые смеси, основные параметры. Закон Дальтона.
14. Способы задания газовых смесей. Закон Амага.



## Тема 2. Термодинамические процессы и циклы

В данном разделе предусмотрено изучение теоретического материала на лекциях, решение практических задач, выполнение лабораторных работ. Материал данного раздела тесно переплетается с материалом дисциплин «Физико-химические основы развития и тушения пожаров».

### 1-й закон термодинамики

- Теплоёмкость газов. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных объеме и давлении. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Средняя и истинная теплоемкости.

- Сущность первого закона термодинамики. Формулировка первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия.

- Теплоемкость с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

### Решение задач

- Термодинамические процессы. Изображение процессов в координатах  $pV$  и  $Ts$ . Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный - частные случаи политропного процесса.

- Термодинамические процессы в практической работе.

- Анализ политропных процессов.

- Расчет работы и термодинамических параметров в различных термодинамических процессах.

### Примеры решения задач

Избыточное давление в колесе пожарного автомобиля 2 атм, давление атмосферное 760 мм рт. ст. Температура в гараже 17°C. На улице  $t_2 = -10^\circ\text{C}$ . Какое будет давление в колесе при работе на улице, если объём воздуха в колесе 50 л. Сколько тепла отведено.

$P_{\text{изб.}} = 2\text{атм}$		$P_{\text{абс.}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{атм.}} = 2+1 = 3\text{атм.}$
$P_{\text{атм.}} = 1\text{атм}$		$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{3 \cdot 263}{290} = 2.72\text{атм}$
$t_1 = 17^\circ\text{C} (290\text{K})$		$m = \frac{P_1 V_1}{RT} \quad R = \frac{R_y}{M} = \frac{8314}{29} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$
$t_2 = -10^\circ\text{C} (263\text{K})$		$m = \frac{0.3 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{287 \cdot 290} = 0.18\text{кг}$
$V = \text{const } 50\text{л.}$		$Q = m C_V (T_2 - T_1)$
$P_2 = ? \quad Q = ?$		$Q = \frac{20.93}{29} \cdot 0.18 \cdot (-27) = -3.5\text{кДж}$

(Пояснить знак « - »)

Ответ:  $Q = -3,5 \text{ кДж}$

При пожаре внутри помещения образовалось  $120 \text{ м}^3$  продуктов сгорания при средней температуре  $120^\circ\text{C}$ . При работающем вентиляторе они попали в

смежное помещение и охладилось до 30°C при постоянном давлении 0.1 МПа. Какой объём они займут? Построить график процесса. Сколько тепла отдали продукты сгорания, если их  $M=35$  у.е.

Дано:

$$V_1 = 120 \text{ м}^3.$$

$$T_1 = (273 + 120) = 393 \text{ К}$$

$$T_2 = (273 + 30) = 303 \text{ К}$$

$$V_2 = ? \quad Q = ?$$

Решение:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

$$V_2 = \frac{120 \cdot 303}{393} = 92.5 \text{ м}^3$$

$$Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$PV = mRT \quad m = \frac{P_1 V_1}{RT}$$

$$R = \frac{R_y}{M} = \frac{8314}{35} = 237 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad m = \frac{10^5 \cdot 120}{237 \cdot 393} = 128.8 \text{ кг}$$

$$Q = 128.8 \frac{37.68}{35} (-90) = 12483 \text{ кДж}.$$

Ответ:  $V_2 = 92.5 \text{ м}^3$ ,  $Q = 12483 \text{ кДж}$

4 кг воздуха при  $P = 0.1$  МПа нагревается от 27°C до 47°C. Рассчитать теплоту, работу расширения воздуха и изменение внутренней энергии.

Дано:

$$m = 4 \text{ кг}$$

$$T_1 = (273 + 27) = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = (273 + 47) = 320 \text{ К}$$

$$C_p = 29.31 \text{ кДж/(кг К)}$$

$$Q = ? \quad L = ? \quad \Delta U = ?$$

$$1. Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$Q = 4 \frac{29.31}{29} 20 = 80.85 \text{ кДж}.$$

$$2. L = P(V_2 - V_1)$$

$$V = \frac{mRT}{P} \quad R = \frac{R_y}{M} = \frac{8314}{29} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$V_1 = \frac{4 \cdot 287 \cdot 300}{10^5} = 3.44 \text{ м}^3$$

$$V_2 = \frac{4 \cdot 287 \cdot 320}{10^5} = 3.67 \text{ м}^3$$

$$L = 10^5 (3.67 - 3.44) = 23 \text{ кДж}.$$

$$3. \Delta U = m C_v (T_2 - T_1)$$

$$C_v = 20.93/29 = 0.72 \text{ кДж/(кг К)}$$

$$\Delta U = 4 \cdot 0.72 \cdot 20 = 57.6 \text{ кДж}$$

Ответ:  $L = 23 \text{ кДж}$ ,  $\Delta U = 57.6 \text{ кДж}$ ,  $Q = 80.85 \text{ кДж}$

В закрытом сосуде объемом 200 л находится азот при давлении 490 кПа и температуре 17 °С. Какое количество тепла необходимо подвести, для того чтобы температура азота поднялась до 200 °С. Зависимость теплоемкости от температуры считать постоянной, линейной и нелинейной.

Дано:

$$V = 200 \text{ л}$$

$$P = 490 \text{ кПа}$$

$$T_1 = (273 + 17) = 290 \text{ К}$$

$$T_2 = (273 + 200) = 473 \text{ К}$$

$$Q = ?$$

$$1. PV = mRT \quad m = \frac{PV_1}{RT}$$

$$R = \frac{R_y}{M} = \frac{8314}{28} = 297 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$m = \frac{490 \cdot 10^3 \cdot 0.2}{297 \cdot 290} = 1,14 \text{ кг}$$

$$2. Q = m C_V (T_2 - T_1)$$

$$3. C = \text{const:}$$

$$C_v = \frac{C_{\mu c}}{M_n} = \frac{20.93}{28} = 0.7475 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$$

4. линейная зависимость теплоемкости от температуры:

$$C_v = a + b \cdot t_{cp} = 0,7289 + 0,0001676 \cdot \left( \frac{17 + 200}{2} \right) = 0,7472 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$$

5. нелинейная зависимость теплоемкости от температуры:

$$C_{t_1}^{t_2} = \frac{C_0^{t_2} \cdot t_2 - C_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1} = \frac{0.7465 \cdot 200 - 0.7424 \cdot 17}{200 - 17} = 0,7470 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$$

6. при постоянстве теплоемкости :

$$Q_1 = 1,14 \cdot 0,7475(200 - 17) = 155,9 \text{ кДж}$$

7. при линейной зависимости теплоемкости от температуры:

$$Q_2 = 1,14 \cdot 0,7472(200 - 17) = 155,9 \text{ кДж}$$

8. при нелинейной зависимости от температуры:

$$Q_3 = 1,14 \cdot 0,7470(200 - 17) = 155,8 \text{ кДж}$$

Ответ: 155,9 кДж, 155,9 кДж, 155,8 кДж

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие о количестве теплоты и теплоемкости.
2. Массовая, объемная и киломолярная теплоемкости.
3. Теплоемкость газа при постоянном объеме и постоянном давлении.
4. Истинная и средняя теплоемкости.
5. Теплоемкость газовой смеси.
6. Термодинамическая система и процессы, протекающие в ней.
7. Внутренняя энергия и работа.
8. 1-й закон термодинамики.
9. Изохорный процесс.
10. Изотермический процесс.
11. Изобарный процесс.
12. Адиабатный процесс.
13. Политропный процесс.

## 2-й закон термодинамики

- Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики. Термодинамический анализ теплотехнических устройств. Термодинамические циклы. Циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы. Термодинамический КПД и холодильный коэффициент. Циклы Карно и анализ их свойств. Аналитическое выражение второго закона термодинамики.

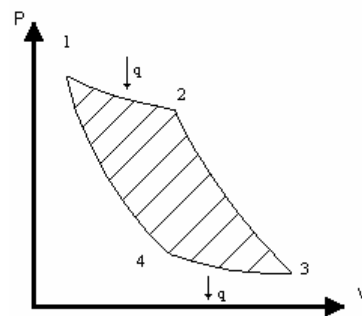
- Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Принцип действия поршневых ДВС. Циклы с изохорным и изобарным подводом тепла. Цикл со смешанным подводом теплоты. Изображение циклов в  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  диаграммах. Термические и эксергические КПД циклов ДВС. Сравнительный анализ термодинамических циклов ДВС.

- Циклы газотурбинных установок.

### Решение задач

1 кг воздуха совершает прямой цикл Карно в пределах температур  $627^\circ\text{C}$  и  $27^\circ\text{C}$ . При этом наибольшее давление равно 5 МПа, а наименьшее 0,1 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла и количество отведенной теплоты, принимая показатель адиабаты 1.4. Построить данный цикл графически.

Дано:	СИ
воздух	
$m = 1 \text{ кг}$	
$t_1 = 627^\circ\text{C}$	$T_1 = 900 \text{ K}$
$t_2 = 27^\circ\text{C}$	$T_2 = 300 \text{ K}$
$P_1 = 5 \text{ МПа}$	
$P_3 = 0,1 \text{ МПа}$	
$k = 1.4$	



$P_2 = ?$   $P_4 = ?$   
 $v_1 = ?$   $v_2 = ?$   
 $v_3 = ?$   $v_4 = ?$

### Решение.

а) анализ данных и формул

Цикл Карно состоит из 2-х изотерм и 2-х адиабат  
 $v_1$  и  $v_3$  находим, используя уравнение Клапейрона

$$1 \text{ кг газа } P_1 v_1 = RT_1 \text{ и } P_3 v_3 = RT_2$$

значения  $v_2$  и  $v_4$  находим, рассмотрев адиабатные процессы

$$v_2 - v_3 \text{ и } v_4 - v_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_2}{v_3} \right)^{k-1} \Rightarrow v_2 = v_3 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{v_4}{v_1} \right)^{k-1} \Rightarrow v_4 = v_1 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

величины давлений  $P_2$  и  $P_4$  определяем из закона Бойля-Мариотта

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 v_1}{v_2}$$

$$P_3 v_3 = P_4 v_4 \Rightarrow P_4 = \frac{P_3 v_3}{v_4}$$

теплота в цикле Карно отводится в изотермическом процессе. В изотермическом процессе теплота равна совершаемой работе:

$$Q_2 = RT_2 \ln \frac{v_4}{v_3}$$

б) вычисления

газовая постоянная воздуха при  $M=29$  кг/моль  $R=8314/29=286,7$  Дж/(кг·К)

Рассчитываем  $v_1$ .

$$v_1 = \frac{286,7 \cdot 900}{5000000} = 0,05 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Рассчитываем  $v_3$ .

$$v_3 = \frac{286,7 \cdot 300}{100000} = 0,86 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Рассчитываем  $v_2$ .

$$v_2 = 0,86 \left( \frac{300}{900} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} = 0,055 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Рассчитываем  $v_4$ .

$$v_4 = 0,05 \left( \frac{900}{300} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} = 0,779 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Рассчитываем  $P_2$ .

$$P_2 = \frac{5000000 \cdot 0,05}{0,055} = 4545454,5 \text{ Па}$$

Рассчитываем  $P_4$ .

$$P_4 = \frac{100000 \cdot 0,86}{0,05} = 1720000 \text{ Па}$$

Рассчитываем количество отведённой теплоты

$$Q_2 = 286,7 \cdot 300 \ln \frac{0,779}{0,86} = -6327,88 \text{ Дж}$$

Ответ: в цикле Карно от воздуха отведено -6327,88 Дж тепла. Знак минус свидетельствует о том, что тепло отводится. При этом параметры состояния, в характерных точках следующие:  $v_1 = 0,05 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $v_2 = 0,055 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $P_2 = 4545454,5 \text{ Па}$ ,  $v_3 = 0,86 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $v_4 = 0,779 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $P_4 = 1720000 \text{ Па}$ .

#### Вопросы для самоконтроля

1. 2-й закон термодинамики.
2. Круговые циклы. Прямой, обратный циклы.
3. Цикл Карно.
4. ДВС с изохорным подводом тепла.
5. ДВС с изобарным подводом тепла.
6. ДВС со смешанным подводом тепла.
7. Газотурбинные установки.

8. Паросиловые установки.
9. Циклы холодильных установок.
10. Циклы компрессорных установок.

Литература:

1. Кошмаров Ю.А., Теплотехника. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 501 с.
2. А.А. Сырбу Термодинамика газовых систем. – Иваново. с. 26-50.
3. И.В. Багажков, О.Е. Сторонкина Первый закон термодинамики. - Иваново. с. 24-47.

### Тема 3. Теплопроводность. Теплообмен

#### Теплопроводность

- Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в промышленных процессах. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция и излучение. Сложный теплообмен. Актуальные задачи противопожарной защиты объектов народного хозяйства, которые решаются с использованием теории теплообмена.
- Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, диэлектриках, полупроводниках, жидкостях и газах.
- Теплопроводность при стационарном режиме. Решение уравнения теплопроводности для однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1-го рода при постоянном коэффициенте теплопроводности.

#### Решение задач

Толщина кладки из силикатного кирпича 25 см. Температура обогреваемой поверхности  $300^{\circ}\text{C}$ , плотность теплового потока  $800 \text{ Вт/м}^2$ . Определить температуру на необогреваемой стороне стены.

Дано:

$$\begin{aligned} t_1 &= 300^{\circ}\text{C} \\ \delta &= 25 \text{ см} = 0.25 \text{ м} \\ q &= 800 \text{ Вт/м}^2 \end{aligned}$$

$t_2 = ?$

Решение:

Для решения данного типа задач используют «Метод последовательных приближений».

1. Произвольно задаёмся температурой на необогреваемой стороне  $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$ :
2. Рассчитываем среднюю температуру  $t_{\text{ср.}}$ .

$$t_{\text{ср.}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad t_{\text{ср.}} = \frac{300 + 100}{2} = 200^{\circ}\text{C}$$

3. Определяем коэффициент теплопроводности

$\lambda_{\text{ср.}}$  при средней температуре:

$$\lambda_{\text{ср.}} = 0,79 + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot 200 = 0,86 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

4. В первом приближении:

$$t_2 = t_1 - q \frac{\delta}{\lambda}, \quad t_2 = 300 - 800 \frac{0.25}{0.86} = 68^{\circ}\text{C}$$

5. Рассчитываем ошибку:

$$\Delta = \frac{t_2 - t_{\text{м.}}}{t_2} \cdot 100\% \quad \Delta = \frac{100 - 68}{100} \cdot 100\% = 32\%$$

Погрешность более 10 %. Расчёт продолжаем согласно методике (с пункта 2):

$$2. \quad t_{\text{ср.}} = \frac{300 + 68}{2} \approx 184^{\circ}\text{C}$$

$$3. \quad \lambda_{\text{ср.}} = 0,79 + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot 184 = 0,85 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$4. \quad t_2 = 300 - 800 \frac{0.25}{0.85} = 65^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta = \frac{68 - 65}{68} \cdot 100\% = 4,4\%$$

Разница  $4,4 \% < 10\%$ . В качестве ответа принимаем температуру, представляющую наибольшую опасность, т.е.  $68^{\circ}\text{C}$ .

Ответ: температура на необогреваемой стороне стены  $68^{\circ}\text{C}$ .

Определить требуемую толщину теплоизоляции стального трубопровода, чтобы температура на наружной поверхности теплоизоляции не превышала  $80^{\circ}\text{C}$ , температура на внутренней поверхности -  $120^{\circ}\text{C}$ . Материал – асбоцементные скорлупы. Внутренний диаметр трубопровода  $0,15\text{ м}$ . Плотность теплового потока составляет  $300\text{ Вт/м}$ .

Дано:

$$t_1 = 120^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 80^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 0,15\text{ м}$$

$$q = 300\text{ Вт/м}$$

$$\delta - ?$$

Решение:

1. Рассчитываем среднюю температуру  $t_{\text{ср.}}$ :

$$t_{\text{ср.}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad t_{\text{ср.}} = \frac{120 + 80}{2} = 100^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем коэффициент теплопроводности

$\lambda_{\text{ср.}}$  при средней температуре:

$$\lambda_{\text{ср.}} = 0,087 + 1,28 \cdot 10^{-4} \cdot 100 = 0,0998\text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

3. Записываем закон Фурье для однослойной цилиндрической стенки:

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{2,3}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \lg \frac{d_2}{d_1}}$$

Выразим наружный диаметр  $d_2$  и, зная внутренний  $d_1$ , мы сможем рассчитать толщину теплоизоляции  $\delta = \frac{d_2 - d_1}{2}$ :

$$\lg \frac{d_2}{d_1} = \frac{t_1 - t_2}{q_l} \cdot \frac{2\pi\lambda}{2,3} \quad \text{или} \quad 10^{\frac{t_1 - t_2}{q_l} \cdot \frac{2\pi\lambda}{2,3}} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$4. \frac{d_2}{0,15} = 10^{\frac{120-80}{300} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0998}{2,3}} = 1,084, \quad d_2 = 1,084 \cdot 0,15 = 0,162(\text{м})$$

5. Рассчитываем толщину теплоизоляции:

$$\delta = \frac{d_2 - d_1}{2}, \quad \delta = \frac{0,162 - 0,15}{2} = 0,01(\text{м})$$

Ответ: толщина теплоизоляции трубопровода равна  $0,01\text{ м}$ .

Какова должна быть толщина противопожарной стены из песчаного бетона, если температура обогреваемой поверхности  $450^{\circ}\text{C}$ , температура необогреваемой поверхности  $160^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{ср.}} = 1,05 - 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{ср.}}$ , а плотность теплового потока  $1000\text{ Вт/м}^2$ .



Дано:

$$t_1 = 450^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 160^\circ \text{C}$$

$$q = 1000 \text{ Вт/м}^2$$

$$\lambda_{\text{ср}} = 1.05 - 5.8 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{ср}} \text{ Вт/м} \cdot ^\circ \text{C}$$

$\delta$  - ?

Решение:

$$1. t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad t_{\text{ср}} = \frac{450 + 160}{2} = 305^\circ \text{C}$$

$$2. \lambda_{\text{ср}} = 1.05 - 5.8 \cdot 10^{-4} \cdot 305 = 0.87 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ \text{C)}$$

3. Из уравнения теплопроводности для плоских стенок

$$\delta = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{q} (t_1 - t_2):$$

$$\delta = \frac{0.87}{1000} (450 - 160) = 0.25 \text{ м}$$

Ответ. Толщина противопожарной стены из данной марки бетона 0.28 м.

Определить предел огнестойкости перегородки из бетона на известняковом щебне, считая ее полуограниченным телом, подвергающейся одностороннему нагреву в условиях стандартного температурного режима, если начальная температура конструкции  $20^\circ \text{C}$ , температура на необогреваемой поверхности не должна превышать  $160^\circ \text{C}$ , толщина перегородки 14 см.

Дано:

$$t_0 = 20^\circ \text{C}.$$

$$\delta = 14 \text{ см} = 0.14 \text{ м}$$

$$t_{\text{хт}} = 160^\circ \text{C}$$

$\tau$  = ?

Решение:

1. По таблицам определим физические параметры бетона на известняковом щебне при температуре  $450^\circ \text{C}$ :

$$\lambda_t = 1.25 - 9.6 \cdot 10^{-4} \cdot 450 = 0.818 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ \text{C)}$$

$$C_t = 0.77 + 6.3 \cdot 10^{-4} \cdot 450 = 1.054 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ \text{C)}$$

$$\rho = 2190 \text{ кг/м}^3$$

2. Находим коэффициент температуропроводности:

$$a_t = \frac{3.6 \cdot \lambda_t}{C_t \cdot \rho} \text{ м}^2 / \text{ч}, \quad a_t = \frac{3.6 \cdot 0.818}{2190 \cdot 1.054} = 0.01276 \text{ м}^2 / \text{ч}$$

3. Находим функцию Крампа:

$$f(A) = \frac{1220 - t_{\text{хт}}}{1220 - t_0} \quad f(A) = \frac{1220 - 160}{1220 - 20} = 0.8833$$

4. По таблицам находим аргумент функции Крампа:

$$f(A) = 1.16$$

5. Рассчитываем предел огнестойкости:

$$A = \frac{0.62 + x/\sqrt{a}}{2\sqrt{\tau}}, \text{ преобразуем уравнение } \tau = \left( \frac{0.62 + x/\sqrt{a}}{2A} \right)^2$$

$$\tau = \left( \frac{0.62 + 0.14/\sqrt{0.01276}}{2 \cdot 1.16} \right)^2 = 0.641 \text{ (ч)}$$

Ответ: предел огнестойкости перегородки из бетона на известняковом щебне 0,641 часа.

Вопросы для самоконтроля

1. Общие понятия и определения теплопередачи. Виды распространения тепла в условиях пожара.
2. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.

3. Теплопроводность однослойной плоской стенки.
4. Понятие температурного поля, изотермической поверхности.
5. Тепловой поток, плотность теплового потока.
6. Режимы теплопроводности.
7. Понятие нестационарной теплопроводности.
8. Нестационарная теплопроводность полуограниченного тела при стационарных граничных условиях.
9. Стандартный температурный режим.

### Конвективный теплообмен

- Основные понятия и определения. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Основы теории подобия. Основные определения. Условия подобия физических явлений. Преобразования подобия. Числа подобия. Критериальные уравнения. Физический смысл основных чисел подобия. Методы моделирования. Понятия о математическом моделировании.

- Теплоотдача при вынужденном движении среды. Теплообмен при движении жидкостей вдоль плоской поверхности; теплоотдача при ламинарном и турбулентном пограничном слое; решение задач методом теории подобия; критериальные уравнения.

- Теплоотдача при свободном движении жидкости. Теплоотдача в неограниченном объеме: ламинарная и турбулентная конвекция у вертикальных поверхностей. Теплоотдача на горизонтальной плоской поверхности в неограниченном пространстве. Теплоотдача горизонтально расположенного цилиндра в неограниченном объеме. Теплообмен при свободной конвекции в замкнутых объемах. Расчет теплоотдачи через тонкие прослойки жидкости и газа.

### Вопросы для самоконтроля

1. Сущность конвективного теплообмена. Факторы, определяющие его интенсивность.
2. Режимы движения жидкости.
3. Критериальные уравнения в общем виде.
4. Конвективный теплообмен при конвекции в большом объеме.
5. Конвективный теплообмен при конвекции в прослойках.
6. Теплообмен при кипении жидкости.
7. Теплообмен при конденсации пара.
8. Некоторые задачи пожарной безопасности.

### Лучистый теплообмен

- Общие понятия и определения; тепловой баланс лучистого теплообмена.

- Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой; коэффициент облученности; теплообмен излучением между телами, произвольно расположенными в пространстве.

### Решение задач

Температура стены из красного кирпича  $800^{\circ}\text{C}$ . Можно ли применять экран из полированной стали для защиты деревянной поверхности, если  $t_2 \leq 90^{\circ}\text{C}$ .

Дано:

$$t_1 = 800^{\circ}\text{C} (1073\text{K})$$

$$t_2 = 90^{\circ}\text{C} (363\text{K})$$

$$\varepsilon_1 = 0.93$$

$$\varepsilon_2 = 0.85$$

$$\varepsilon_3 = 0.2$$

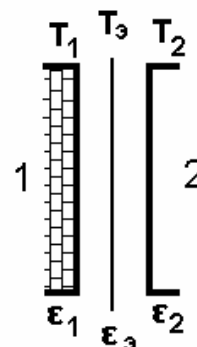
$$T_{\text{доп.}} = 1020\text{ K}$$

$$T_3 = ?$$

Решение:

$$T_3 = 100 \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{1-3} \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 + \varepsilon_{3-2} \left( \frac{T_2}{100} \right)^4}{\varepsilon_{1-3} + \varepsilon_{3-2}}}$$

$$\varepsilon_{1-3} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_3} - 1} \quad \varepsilon_{3-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_3} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$



$$\varepsilon_{1-3} = \frac{1}{\frac{1}{0.93} + \frac{1}{0.2} - 1} = 0.197 \quad \varepsilon_{3-2} = \frac{1}{\frac{1}{0.2} + \frac{1}{0.85} - 1} = 0.193$$

$$T_3 = 100 \sqrt[4]{\frac{0.197 \left( \frac{1073}{100} \right)^4 + 0.193 \left( \frac{363}{100} \right)^4}{0.197 + 0.193}} = 907\text{K}$$

Ответ: т.к.  $T_3 < T_{\text{доп.}}$ , то применение экрана обосновано.

Какое должно быть расстояние между штабелями сосновой шероховатой древесины, если штабель имеет размеры  $S=12 \times 3$  м, коэффициент безопасности принять 1.2.

Дано:

$$S=12 \times 3 \text{ м}$$

$$K_6 = 1.2$$

$$l = ?$$

Решение:

По соответствующим приложениям и таблицам принимаем:

$$T_{\text{ф}} = 1200\text{K}, \varepsilon_{\text{ф}} = 0.7, T_{\text{доп.}} = 568\text{K}, \varepsilon_{\text{д}} = 0.9, \\ q_{\text{кр}} = 12800 \text{ Вт/м}^2$$

$$1. \quad \psi_{\text{ф-д}} = \frac{q_{\text{кр}}}{K_6 \cdot \varepsilon_{\text{ф-д}} \cdot C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}$$

$$\varepsilon_{\text{ф-д}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{ф}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{д}}} - 1} \quad \varepsilon_{\text{ф-д}} = \frac{1}{\frac{1}{0.7} + \frac{1}{0.9} - 1} = 0.65$$

$$\psi_{\text{ф-д}} = \frac{12800}{1.2 \cdot 0.65 \cdot 5.67 \left[ \left( \frac{1200}{100} \right)^4 - \left( \frac{568}{100} \right)^4 \right]} = 0.147$$

$$\psi'_{\text{ф-д}} = 0.25 \cdot \psi_{\text{ф-д}} \quad \psi'_{\text{ф-д}} = 0.25 \cdot 0.147 = 0.037$$

2. Т.к. высота факела вдвое больше высоты штабеля, то площадь факела равна:  $S_{\phi} = 12 \times 6 \text{ м}$ .

Одна четверть факела равняется:

длина –  $a = 6 \text{ м}$ , высота –  $b = 3 \text{ м}$

$b/a = 3/6 = 0.5$ ;  $b/l = 1/2 b/a = 1/2 0.5 = 0.25$

По номограмме находим  $a/l$ :  $a/l = 0.7$

$l = a/0.75 = 6/0.75 = 8.00 \text{ м}$

Ответ: расстояние между штабелями должно быть не менее 8 метров.

Найти максимальную высоту штабеля сосновых досок длиной 6 метров, если расстояние между штабелями 5 метров. Коэффициент безопасности принять равным 1.2.

Дано:

$l = 5 \text{ м}$

$A = 6 \text{ м}$

$K_6 = 1.2$

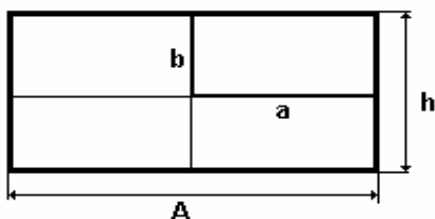
Решение:

По соответствующим приложениям находим:

$T_{\phi} = 1200 \text{ К}$ ,  $\epsilon_{\phi} = 0.7$ ,  $T_{\text{доп}} = 568$ ,  $\epsilon_d = 0.9$

$q_{\text{кр}} = 12800 \text{ Вт/м}^2$

$B = ?$



$$\psi_{\phi-d} = \frac{q_{\text{кр}}}{K_6 \cdot \epsilon_{\phi-d} \cdot C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}$$

$$\epsilon_{\phi-d} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{\phi}} + \frac{1}{\epsilon_d} - 1} \quad \epsilon_{\phi-d} = \frac{1}{\frac{1}{0.7} + \frac{1}{0.9} - 1} = 0.65$$

$$\psi_{\phi-d} = \frac{12800}{1.2 \cdot 0.65 \cdot 5.67 \left[ \left( \frac{1200}{100} \right)^4 - \left( \frac{568}{100} \right)^4 \right]} = 0.147$$

$$\psi'_{\phi-d} = 0.25 \cdot \psi_{\phi-d} \quad \psi'_{\phi-d} = 0.25 \cdot 0.147 = 0.037$$

Т.к. длина четверти пламени равна  $a = 1/2 A$  т.е  $a = 1/2 \cdot 6 = 3 \text{ м}$

Отношение  $a/l = 3/5 = 0.6$

По номограмме находим отношение  $b/l$

при  $a/l = 0.6$  и  $\psi'_{\phi-d} = 0.037$

$b/l = 0.3$

т.к.  $2 \cdot b/l = b/a$ , то  $b = a \cdot 0.6 = 3 \cdot 0.6 = 1.8 \text{ м}$ .

Ответ: высота штабеля не должна превышать 1.8 м.

### Вопросы для самоконтроля

1. Сущность теплового излучения.
2. Закон Стефана – Больцмана.
3. Закон Кирхгофа.
4. Следствия из закона Кирхгофа.
5. Закон Ламберта.
6. Варианты теплообмена между телами.
7. Пожарная опасность, критическая плотность облучения.
8. Излучение продуктов сгорания.
9. Теплообмен между продуктами сгорания и твердыми телами.
10. Излучение факела.
11. Природа излучения пламени.
12. Горение газов, жидких и твердых веществ.
13. Излучение факела на пожаре.
14. Способы защиты от теплового излучения.
15. Виды тепловых экранов.

### Тесты для самоконтроля

1. Основные термодинамические параметры газов
  - абсолютное давление
  - избыточное давление
  - удельный объём
  - абсолютная температура
  - ширина
  - скорость
2. Давление выше атмосферного называется
  - избыточным (манометрическим)
  - атмосферным
  - абсолютным
  - вакуумметрическим
  - парциальным
  - никак не называется
3. Давление ниже атмосферного называется
  - избыточным (манометрическим)
  - атмосферным
  - абсолютным
  - вакуумметрическим
  - парциальным
  - никак не называется
4. Изотермический процесс протекает?
  - при постоянной температуре
  - при постоянном давлении
  - при постоянном объёме
  - при постоянном размере
  - при постоянной скорости

- при постоянной теплоте

5. Изобарный процесс протекает ...?

- при постоянной температуре

- при постоянном давлении

- при постоянном объёме

- при постоянном размере

- при постоянной скорости

- при постоянной теплоте

6. Изохорный процесс протекает ...?

- при постоянной температуре

- при постоянном давлении

- при постоянном объёме

- при постоянном размере

- при постоянной скорости

- при постоянной теплоте

7. Адиабатный процесс протекает ...?

- при постоянной температуре

- при постоянном давлении

- при постоянном объёме

- при постоянном размере

- при постоянной скорости

- без теплообмена с окружающей средой

8. Абсолютная температура выражается ...?

- в Кельвинах

- в градусах Цельсия

- в Фаренгейтах

- в метрах

- в градусах Реомюра

- в градусах Ранкина

9. Давление, отсчитанное от нуля называют ...?

-абсолютным

-избыточным

-вакуумметрическим

-внутренним

-внешним

-атмосферным

10. Давление, выше атмосферного называют ...?

-абсолютным

-избыточным

-вакуумметрическим

-внутренним

-внешним

-атмосферным

11. Давление, ниже атмосферного называют ...?

-абсолютным

- избыточным
- вакуумметрическим
- внутренним
- внешним
- атмосферным

12. В чём измеряется давление?

- в градусах
- в Паскалях
- в м/с
- в метрах
- в литрах
- в Джоулях

13. Количество теплоты, необходимое для нагревания тела на 1 градус называется ...

- теплоёмкостью
- вязкостью
- скоростью
- температурой
- давлением
- плотностью

14. Физический смысл газовой постоянной

- работа
- теплота
- энергия
- скорость
- масса
- давление

15. Какое из выражений правильно отражает перевод температуры по шкале Цельсия в шкалу Кельвина?

- $T = t + 100$
- $T = t + 200$
- $T = t + 273$
- $T = t + 300$
- $T = t + 400$
- $T = t + 500$

16. Какое значение имеет универсальная газовая постоянная  $R_y$  ?

- 252 К
- 111 Па
- 8314 Дж/(кмоль·К)
- 356 м/с
- 333 м/с<sup>2</sup>
- 900 Вт

17. Уравнение первого закона термодинамики записывается как

- $q = mc(t_2 - t_1)$
- $q = \Delta u + p dV$

$-q = R(t_2 - t_1)$

$-q = mgh$

$-g = 2\pi r$

$-g = mc^2/2$

18. Согласно второму закону термодинамики самопроизвольные процессы идут:

-от холодного тела к нагретому

-от нагретого тела к холодному

-в обе стороны

-совсем не идут

-от нагретого к нагретому телу

-от холодного к холодному телу

19. Существуют теплоёмкости в процессе при постоянном

-давлении

-температуре

-объёме

-скорости

-линейном размере

-массе

20. Процесс перехода жидкости в пар называется

-возгонкой

-парообразованием

-ассоциацией

-деструкцией

-дросселированием

21. Как называется процесс в котором начальное и конечное состояние совпадают?

-циклом

-диффузией

-соплом

-диффузором

-изохорным

адиабатным

22. Цикл, имеющий максимальный КПД, называется

-Карно

-Тринклера

-Сабатэ

-Отто

-Дизеля

-не имеет названия

23. Канал, служащий для увеличения скорости газового потока называется

-диффузором

-соплом

-дифлегматором

-перегонкой

-трубой



-сливом

24. Канал, служащий для уменьшения скорости газового потока называется

-диффузором

-соплом

-дифлегматором

-перегонкой

-трубой

-сливом

25. Число Маха это

-скорость потока

-плотность газового потока

-отношение скорости газового потока к скорости звука в данном сечении

-вязкость газового потока

-направление потока

-равномерность потока

26. Парообразование с поверхности воды называется

-испарением

-кипением

-возгонкой

-сублимацией

-конденсацией

-кристаллизацией

27. При испарении температура воды

-повышается

-остаётся неизменной

-понижается

-в зависимости от давления

-такого процесса не существует

-в зависимости от условий испарения

28. К основным видам передачи тепла относят ...

-тепловое излучение

-фазовый переход

-теплопроводность

-конвекция

-течение жидкости

-сложный теплообмен

29. Процесс переноса тепла внутри тела, за счёт взаимодействий макрочастиц с разной температурой называется

-тепловое излучение

-фазовый переход

-теплопроводность

-конвекция

-течение жидкости

-сложный теплообмен

30. Процесс переноса тепла, осуществляемой при перемешивании называется

- тепловое излучение
- фазовый переход
- теплопроводность
- конвекция

- течение жидкости
- сложный теплообмен

31. Процесс переноса тепла осуществляемой тепловыми лучами называется

- тепловое излучение
- фазовый переход
- теплопроводность
- конвекция

- течение жидкости
- сложный теплообмен

32. Основное уравнение теплопроводности  $Q = -\lambda \text{grad}t \cdot F$  называется

- уравнением Ньютона-Рихмана
- законом Фурье
- уравнением Менделеева-Клапейрона
- уравнением неразрывности
- законом Бойля-Мариотта
- Законом Ламберта

33. Основное уравнение конвективного теплообмена  $q = \alpha_k(t_f - t_w)$  называется

- уравнением Ньютона-Рихмана
- законом Фурье
- уравнением Менделеева-Клапейрона
- уравнением неразрывности
- законом Бойля-Мариотта
- Законом Ламберта

34. Как выглядит закон Стефана-Больцмана ?

- $E = C(T/100)^4$
- $Q = -\lambda \text{grad}t \cdot F$
- $q = \alpha_k(t_f - t_w)$
- $mgh$

- $g = 2\pi r$
- $g = mc^2/2$

35. Коэффициент излучения абсолютно чёрного тела имеет значение

- $g = 111 \text{ Дж}$
- $C = 5.67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
- $u = 333 \text{ м}/\text{с}^2$
- $l = 500 \text{ м}/\text{с}$
- $k = 153 \text{ с}$
- $I = 654 \text{ м}$

36. Тела, полностью поглощающие тепловую энергию, называются

- абсолютно белыми
- абсолютно прозрачными
- абсолютно синими

-абсолютно чёрными

-цветными

-никак не называются

37. Тела, полностью отражающие тепловую энергию, называются

-абсолютно белыми

-абсолютно прозрачными

-абсолютно синими

-абсолютно чёрными

-цветными

-никак не называются

38. Тела, полностью пропускающие тепловую энергию, называются

-абсолютно белыми

-абсолютно прозрачными

-абсолютно синими

-абсолютно чёрными

-цветными

-никак не называются

## Методические указания для подготовки к экзамену

Универсальных методов для подготовки к экзамену не существует, поэтому важно выбрать наиболее приемлемый для Вас. Приведенные ниже правила можно рассматривать в качестве общего руководства.

1. Предусмотрите как можно больше времени для подготовки. Если Вы оставляете основную работу на последний момент, это снижает Ваши шансы на успех. Развивается состояние стресса, снижается способность к концентрации.
2. Составьте расписание занятий. Спланировать подготовку к экзаменам нужно за несколько недель до их начала (лучше всего - в начале семестра). Твердо следуйте намеченному плану.
3. Отдыхайте. Усердная подготовка – очень тяжелая работа. Важно время от времени давать себе возможность расслабиться. Предусмотрите в своем расписании время на отдых.
4. Делайте перерывы. После часа занятий сделайте 15 -20-минутный перерыв и с новыми силами возвращайтесь к продуктивной работе.
5. Контролируйте степень готовности. Используйте список вопросов к экзамену, чтобы отслеживать степень усвоения материала. Отмечайте уже проработанные вопросы. Сконцентрируйте свое внимание на тех вопросах, которые Вы знаете хуже.
6. Делайте краткие записи. Часто подготовка оказывается не очень эффективной, если Вы просто читаете материал. Делайте краткие записи, отмечая ключевые мысли. Старайтесь не просто запомнить факты, а понять стоящие за ними идеи.
7. Тренируйтесь отвечать на вопросы. Проработав каждую тему, попробуйте ответить на проверочные вопросы. Некоторые из них приведены в разделе «Контрольные вопросы» после каждой темы. Вначале Вам, возможно, потребуется заглядывать в книгу или конспект, но к концу подготовки Вы сможете отвечать на вопросы самостоятельно, как на экзамене. Старайтесь проговаривать ответы на вопросы вслух, это способствует более глубокому усвоению материала и является хорошей тренировкой перед зачетом.

## Перечень литературы для самостоятельной работы

1. Кошмаров Ю.А., Теплотехника. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 501 с.: ил.
2. Сырбу А.А. Теплопередача. Учебное пособие. / Сырбу А.А., Сторонкина О.Е. – Иваново: ИВИ ГПС МЧС России, 2012. – 114 с.
3. Ульев Д.А. Теплофизика: Лучистый теплообмен. Учебное пособие. / Д.А. Ульев, Г.Е. Назаров, М.С. Маршалов – Иваново: ИВИ ГПС МЧС России, 2014. – 72 с.
4. Сторонкина О.Е., Назаров Г.Е., Маршалов М.С. Лабораторный практикум Теплофизика и Теплотехника. Учебное пособие. - Иваново: ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, 2015. – 112 с
5. Сторонкина О.Е., Учебное пособие для выполнения курсовой работы по теплофизике. / Сторонкина О.Е., Маршалов М.С. – Иваново: ИВИ ГПС МЧС России, 2013. – 72 с.
6. СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru).
7. [www.vniipo.ru](http://www.vniipo.ru)
8. [www.gost.ru](http://www.gost.ru).
9. [www.mchs.gov.ru](http://www.mchs.gov.ru)
10. Образовательный сервер Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. – Режим доступа: <http://192.168.32.106/eduserver/>
11. Электронная библиотека академии «MCHS books» <http://Bibliomchs37.ru>.
12. Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России сеть Интранет по адресу: 10.46.0.45.
13. ЭБС «Юрайт».
14. Национальная электронная библиотека.