

**Решения задач
размещены на сайте
zadachi24.ru**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РСФСР
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНИКУМОВ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ТЕХНИКУМ

УТВЕРЖДЕНО
Всесоюзным заочным
сельскохозяйственным техникумом

ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ И ГИДРАВЛИКИ

Методические указания и контрольные задания
для учащихся-заочников средних
сельскохозяйственных учебных заведений
по специальностям
«Механизация сельского хозяйства»,
«Электрификация сельского хозяйства»,
«Механизация и электрификация животноводства»

ЗАГОРСК — 1985

Учебное задание разработано по программе, утвержденной Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования МСХ СССР 24 мая 1984 года, и одобрено цикловой комиссией технических дисциплин Всесоюзного заочного сельскохозяйственного техникума.

Составил **Игорь Николаевич ЛУНЕВ**, преподаватель Рыльского совхоза-техникума им. Ф. Д. Кулакова.

Рецензенты: преподаватели **Г. Н. Костюшев** (Всесоюзный заочный сельскохозяйственный техникум), **В. Н. Радионова** (Арзамасский им. В. А. Новикова совхоз-техникум), **Л. Б. Воробьева** (Ржевский совхоз-техникум).

Зав. ред.-изд. отделом **А. Г. Денисенков**
Техн. редактор **Н. И. Жигулев**
Редактор **Ю. М. Сиротин**
Корректор **Л. Г. Монсева**

Сдано в набор 4.06.85 г. Подписано к печати 12.08.85 г.
Объем 4,5 п. л. Тираж 14 200 Заказ 4416

Загорская типография Упрполиграфиздата Мособлсполкома

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение предмета «Основы теплотехники и гидравлики» дает учащемуся необходимые для будущего специалиста знания по гидравлике, технической термодинамике, теплообмену, о топливах и процессах их горения, о насосах, вентиляторах, теплогенерирующих установках, тепловых двигателях, компрессорах, холодильных машинах и сушильных установках, а также о способах производства теплоты и электроэнергии на современных тепловых установках и использовании теплоты в сельском хозяйстве.

Получаемые сведения являются базой для изучения смежных специальных предметов: «Тракторы и автомобили», «Сельскохозяйственные машины», «Нефтепродукты и технические жидкости», «Механизация животноводства» и др.

Изучать теоретический материал рекомендуется в последовательности, указанной программой. При этом следует иметь в виду, что знания по гидравлике, термодинамике, теплообмену служат основой для изучения других разделов программы и поэтому заслуживают особого внимания.

Решите приведенные в методических указаниях задачи. Используйте вопросы для самопроверки. Часть их — программированные (карточки 1 ... 5).

После того как изучите материал программы, приступайте к выполнению контрольной работы. Ее можно выполнять и постепенно, используя решения типовых задач в методических указаниях по данной теме или разделу.

Вариант работы определяется по двум последним цифрам шифра. Например, ваш шифр 1243, следовательно номер варианта — 43. По таблице вариантов (с. 59) на пересечении горизонтальной строки 4 и вертикальной графы 3 находим номера задач: 8, 12, 29, 40, 48, 69, 94.

Выполненную контрольную работу учащиеся своевременно, в соответствии с графиком, высылают в техникум на проверку.

Чтобы глубже изучить основные теоретические вопросы, программой предмета предусмотрены лабораторные работы (8 ч.). В объеме 4-х часов согласно действующему учебному плану они будут проводиться с учащимися во время лабораторно-экзаменационной сессии. В данном учебном задании учащемуся рекомендуется выполнить самостоятельно практические занятия к темам 4.5 (1 ч), 4.6 (1 ч), 5.4 (2 ч) и составить по ним отчет. Темы практических занятий для самостоятельного выполнения могут быть уточнены предметной (цикловой) комиссией каждого техникума.

В результате изучения предмета учащиеся **должны знать:** основы технической термодинамики и теплообмена; общее устройство и работу теплотехнического оборудования и установок, их основные, производственные и экономические характеристики; основы гидравлики, устройство и принцип действия насосов; правила эксплуатации, технического обслуживания и регулировки на заданный режим работы и способы устранения неисправностей теплотехнического оборудования и установок; правила охраны труда, производственной санитарии, пожарной безопасности, охраны окружающей среды.

Учащиеся должны уметь: устанавливать необходимые режимы работы котельных, систем отопления и вентиляции производственных помещений, сушильных и холодильных установок, приборов и аппаратов гидравлических установок; выполнять операции по их техническому обслуживанию, устранению неисправностей и регулировкам; осуществлять безопасное проведение работ, принимать меры по охране окружающей среды.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Материалы XXVI съезда КПСС. — М.: Политиздат, 1981 г.
Продовольственная программа СССР на период до 1990 года и меры по ее реализации: Материалы майского Пленума ЦК КПСС 1982 года. — М.: Политиздат, 1982.
Материалы Пленума ЦК КПСС 23 апреля 1985 г. — М.: Политиздат, 1985.
Материалы совещания в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса 11—12 июня 1985 года (Коренной вопрос экономической политики партии. Доклад М. С. Горбачева. Основной резерв интенсификации экономики. Говорят участники совещания в ЦК КПСС). — Правда, 1985, 12—13 июня.

Основная

- Л-1. Черняк О. В., Рыбчинская Г. Б. Основы теплотехники и гидравлики. — М.: Высш. шк., 1979.
Л-2. Чернов А. В., Бессребренников А. К., Селецкий В. И. Основы гидравлики и теплотехники. — М.: Энергия, 1975.

Л-2. Чернов А. В., Бессребренников А. К., Селецкий В. И. Основы гидравлики и теплотехники. — М.: Энергия, 1975.

Л-3. Егорушкин В. Е., Колб В. Л., Целович Б. И. Основы теплотехники и теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий. — М.: Колос, 1972.

Дополнительная

Л-4. Жабо В. В., Уваров В. В. Гидравлика и насосы — М.: Энергоиздат, 1984.

Л-5. Кузовлев В. А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи. — М.: Высш. шк., 1983.

Л-6. Драганов Б. Х., Есин В. В., Зуев В. П. Применение теплоты в сельском хозяйстве. — Киев: Вища школа 1983.

Л-7. Охотин В. С., Жидких В. Ф., Лавинин В. Ф., Саламзода Ф. Г. Основы теплотехники. М.: Высш. шк., 1984 г.

Л-8. Справочник по теплоснабжению сельскохозяйственных предприятий/Под общ. ред. В. В. Уварова — М.: Колос 1983

Л-9. Егизаров А. Г. Общая теплотехника, теплоснабжение и вентиляция. — М.: Стройиздат 1982.

Л-10. Ерохин В. Г., Маханько М. Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники. — М.: Энергия 1979.

УЧЕБНОЕ ЗАДАНИЕ

Введение (2 часа)

ПРОГРАММА

XXVI съезд КПСС и последующие Пленумы ЦК КПСС о дальнейшем развитии гидроэнергетики и теплотехники в народном хозяйстве СССР.

Топливо-энергетические ресурсы страны. Перспективы развития и внедрения в народное хозяйство атомной энергии, энергии солнца, ветра, термальных вод и др.

Современный уровень и перспективы развития теплоэнергетики в сельскохозяйственном производстве в связи с переходом на индустриальную основу.

Современные теплосиловые установки и потребители теплоты в сельском хозяйстве. Виды топлива, применяемого в сельском хозяйстве. Перспективы использования местного топлива и вторичных энергетических ресурсов (отработавших газов и горячей воды биотоплива).

Структура предмета «Основы теплотехники и гидравлики» и его значение в подготовке технических специалистов, связь с другими предметами учебного плана.

ЛИТЕРАТУРА

Материалы XXVI съезда КПСС. Продовольственная программа СССР. Материалы Пленума ЦК КПСС 23 апреля 1985 г. Материалы совещания в ЦК КПСС 11-12 июля 1985 г.
Л-1, с. 4...6; Л-2, с. 11...13; Л-3, с. 3...6.

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И НАСОСЫ

Тема 1.1. Гидростатика (4 часа)

ПРОГРАММА

Характеристика гидравлики как науки и ее значение в технике. Характеристика жидкостей, ее физические свойства, зависимость свойств от температуры и давления. Вязкость, единицы вязкости, способы определения вязкости, зависимость вязкости от температуры и давления. Идеальная жидкость и ее свойства. Основное уравнение гидростатики. Полное и манометрическое давление. Вакуум. Пьезометрическая высота и гидростатический напор. Приборы для измерения гидростатического давления и вакуума. Закон Паскаля. Гидравлический пресс.

Сила гидростатического давления жидкости. Сила давления на плоские поверхности. Центр давления. Условие плавания тел.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 7...31; Л-2, с. 14...41; Л-4, с. 9...25.

ПРОГРАММА

Тема 1.2. Гидродинамика (6 часов)

Задачи гидродинамики. Виды движения жидкости.

Линия тока в элементарной струйке. Расход элементарной струйки. Поток жидкости. Гидравлические характеристики потока. Смоченный периметр, живое сечение, расход и средняя скорость потока. Уравнение неразрывности для элементарной струйки и потока жидкости. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной и реальной жидкости потока реальной жидкости.

Режимы движения жидкости. Число Рейнольдса, его критические значения для труб круглого и некруглого поперечного сечения. Виды гидравлических сопротивлений и потерь

напора. Определение потерь напора на трение. Определение потерь напора на преодоление местных сопротивлений.

Истечение жидкости из отверстий и пазов. Истечение из малого отверстия в тонкой стенке. Истечение жидкости из цилиндрических и конических пазов. Реакция струи. Гидравлический удар в трубах.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 31...56; Л-2, с. 41...78.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Гидравликой называется наука, изучающая законы равновесия и движения жидкости. Эти две части составляют гидростатику и гидродинамику этой науки. Гидростатика изучает законы равновесия жидкостей, гидродинамика — законы движения жидкостей.

Гидравлика имеет большое практическое значение. Правильное решение таких вопросов, как расчеты водопроводов и водостоков, расчеты водяного отопления, использование гидродоъемных устройств и многих других возможно только при хорошем знании основ гидравлики.

Важнейшими вопросами в гидростатике следует считать: физические свойства жидкости и гидростатическое давление жидкости на плоские и криволинейные поверхности.

Знание законов гидравлики позволяет решать ряд важнейших технических задач. Рассмотрим примеры решения некоторых из них.

Пример 1. Определить массу дизельного топлива при 25°C в емкости объемом 50 м³, если известно: плотность топлива при 15°C составляет 835 кг/м³, а его коэффициент объемного расширения равен 0,00073°C⁻¹.

Решение. Определим плотность дизтоплива при 25°C по формуле Д. И. Менделеева

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \beta(t - t_0)} = \frac{835}{1 + 0,00073(25 - 15)} = 829 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Тогда масса топлива равна

$$M = \rho_t \cdot V = 829 \cdot 50 = 41450 \text{ кг.}$$

Из примера следует, что при изменении температуры на 10°C плотность дизтоплива изменилась на $\rho_{15} - \rho_{25} = 835 - 829 = 6 \text{ кг/м}^3$.

Пример 2. Горизонтальная металлическая цистерна (рис. 1)

круглого сечения с диаметром $D = 2$ м и длиной $l = 10$ м заполнена минеральным маслом плотностью $\rho = 917,4$ кг/м³. Давление на поверхность масла равно атмосферному. Определить силу давления на внутреннюю криволинейную поверхность.

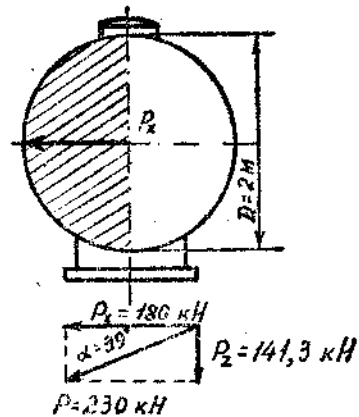


Рис. 1

Решение. Используем уравнения 1-34 и 1-35 из Л 2 (с. 38—39). Горизонтальная составляющая силы давления равна

$$P_x = \rho g h_c \omega_c = \rho g \frac{D}{2} D l = \rho g \frac{D^2}{2} l = 917,4 \cdot 9,81 \cdot \frac{2^2}{2} \cdot 10 = 180 \cdot 10^3 \text{ Н} = 180 \text{ кН.}$$

Соответственно вертикальная сила

$$P_z = \rho g V = \rho g \frac{\pi D^2}{8} l = 917,4 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,14 \cdot 2^2}{8} \cdot 10 = 141,3 \cdot 10^3 \text{ Н} = 141,3 \text{ кН.}$$

Полная сила давления жидкости равна равнодействующей сил P_x и P_z , то есть $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$.

$$\text{Тогда } P = \sqrt{(180 \cdot 10^3)^2 + (141,3 \cdot 10^3)^2} = 230 \cdot 10^3 = 230 \text{ кН.}$$

Направление действия силы P определяется углом ее наклона к горизонту:

$$\cos \alpha = \frac{P_x}{P} = \frac{180 \cdot 10^3}{230 \cdot 10^3} = 0,78; \quad \alpha = 39^\circ.$$

Изучая гидродинамику, следует уделить особое внимание уравнению Бернулли. В гидродинамике оно является фундаментальным уравнением, с помощью которого решается большой круг технических задач. Среди них важное место занимают гидравлические расчеты систем водоснабжения и отопления.

В движущейся жидкости наблюдаются потери энергии (уменьшение гидравлического напора). В одних случаях потери напора распределяются по длине — это гидравлические путевые потери; в других они сосредоточены на очень коротких участках, длиной которых можно пренебречь, и называются местными потерями (в вентилях, закруглениях, сужениях, расширениях и т. д.). Причиной потерь во всех случаях является вязкость жидкости.

При гидравлических расчетах важно помнить, что потери напора по длине и в местных гидравлических сопротивлениях существенным образом зависят от так называемого режима движения жидкости.

Рассмотрим примеры применения уравнения Бернулли и определения потерь напора в трубах.

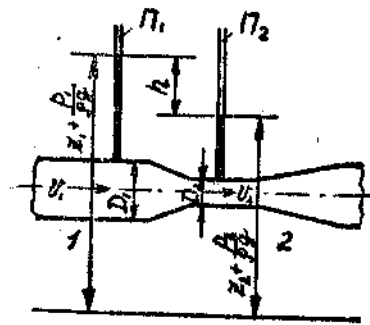


Рис. 2

Пример 3. Вода протекает по подомеру Вентури (рис. 2), состоящему из трубы диаметром $D_1 = 200$ мм, в которую вставлен участок трубы диаметром $D_2 = 100$ мм. Пренебрегая сопротивлениями, определить расход воды, если в пьезометрах Π_1 и Π_2 разность показаний $h = 0,25$ м.

Решение. Составим уравнение неразрывности потока и уравнение Бернулли для сечения 1 и 2. Имеем.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g};$$

или

$$V_1 \frac{\pi D_1^2}{4} = V_2 \frac{\pi D_2^2}{4},$$

$$h + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g},$$

где

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right) = h.$$

Или, приобразовав уравнения еще раз, получаем

$$V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2,$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = h.$$

Выражая V_1 через V_2 ($V_1 = V_2 (D_2/D_1)^2$), находим

$$\frac{V_2^2 - V_2^2 (D_2/D_1)^4}{2g} = h,$$

или

$$\frac{V_2^2}{2g} [1 - (D_2/D_1)^4] = h.$$

Отсюда

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - (D_2/D_1)^4}}.$$

Тогда расход воды $Q = \omega_2 V_2$ будет равен

$$Q = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{1 - (D_2/D_1)^4}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25}{1 - (0,1/0,2)^4}} = 0,018 \text{ м}^3/\text{с}.$$

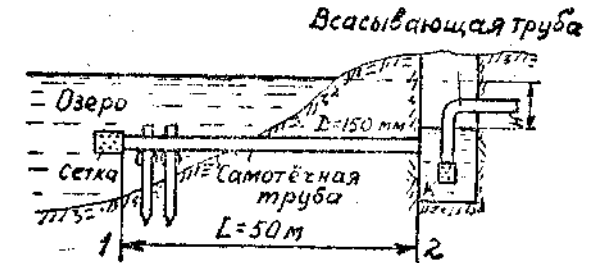
Пример 4. Из колодца (К, рис. 3) насос по всасывающей трубе выкачивает 16 л/с воды. Для обеспечения этого расхода необходимо, чтобы уровень воды в колодце был ниже уровня в озере на некоторую величину H . Найти численное значение H , если длина самотечной трубы 50 м, а диаметр 150 мм.

10

Решение. Уровень воды в колодце должен быть ниже уровня воды в озере на величину H . Следовательно, потери напора при движении воды из озера в колодец должны быть равны ей. Эти потери складываются из потерь на входе воды в трубу через фильтрующую сетку h_c и потерь по длине h_{1-2} и потерь при выходе воды из трубы в колодец $h_{\text{вых}}$. Следовательно,

$$H = h_c + h_{1-2} + h_{\text{вых}}.$$

Рис 3



Потери напора на входе в трубу определим по формуле

$$h_c = \xi \frac{V^2}{2g},$$

где ξ — коэффициент местных потерь на входе в трубу, равный 1÷5, принимаем $\xi = 5$;

V — средняя скорость движения в трубе.
Из формулы

$$Q = V\omega = V \frac{\pi D^2}{4}$$

имеем

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 0,91 \text{ м/с}.$$

Таким образом,

$$h_c = 5 \frac{0,91^2}{2 \cdot 9,81} = 0,21 \text{ м}.$$

Потери напора по длине определим по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_{1-2} = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g},$$

н

где λ — коэффициент трения;
 l — длина трубы, м.

Коэффициент трения определим по формуле Шевелера при $V < 1,2$ м/с.

$$\lambda = \frac{0,0179}{d^{0,25}} \left(1 + \frac{0,867}{V} \right)^{0,25} + \frac{0,0179}{0,15^{0,25}} \left(1 + \frac{0,867}{0,91} \right)^{0,25} = 0,0386.$$

Подставляя данные, получим

$$h_{1-2} = 0,0386 \frac{50}{0,15} \frac{0,91^2}{2 \cdot 9,81} = 0,543 \text{ м.}$$

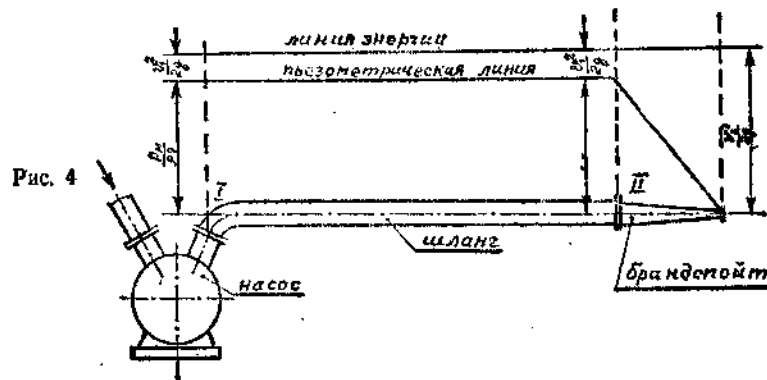
Потери напора при выходе воды в колодец представляю собой потери напора при внезапном расширении потока:

$$h_{\text{вых}} = \frac{V^2}{2g} = \frac{0,91^2}{2 \cdot 9,81} = 0,042 \text{ м.}$$

Таким образом,

$$H = h_{1-2} + h_{\text{вых}} = 0,21 + 0,543 + 0,042 = 0,795 \text{ м,}$$

или, округляя, получим $H = 0,8$ м.



Пример 5. Ручная шланговая мойка автомобилей и прицепов производится брандспойтом. Какое давление ($P_{\text{ман}}$) должен создавать насос, чтобы получить расход воды 40 м/мин через сопло диаметром отверстия 3,5 мм?

Диаметр шланга 22 мм. Потери напора не учитывать.

Выпишем исходные данные для расчета, приведем их размерность в одну систему.

$$Q = 40 \text{ л/мин} \\ d = 3,5 \text{ мм} \\ D = 25 \text{ мм}$$

$$Q = 0,67/10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} \\ d = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ D = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Решение. 1. Определяем скорость движения воды по шлангу

$$Q = (\pi D^2/4) V_1, \text{ откуда } V_1 = 4Q/(\pi D)^2,$$

$$V_1 = \frac{4 \cdot 0,67 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 25^2 \cdot 10^{-6}} = \frac{2680}{1962} = 1,36 \text{ м/с.}$$

2. Определяем скорость истечения воды из сопла

$$V_2 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,67 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 3,5^2 \cdot 10^{-6}} = \frac{2680}{38,3} = 70 \text{ м/с.}$$

3. Для определения давления у насоса используем уравнение Бернулли для сечений I—I (см. рис. 4)

$$z_1 + p_1/\rho g + V_1^2/2g = z_2 + p_2/\rho g + V_2^2/2g.$$

Так как $z_1 = z_2$, то уравнение примет вид

$$p_1/\rho g + V_1^2/2g = p_2/\rho g + V_2^2/2g.$$

Откуда $p_1 = \rho(p_2/\rho + V_2^2/2 - V_1^2/2)$.

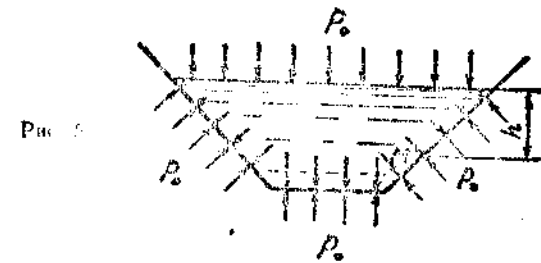
$$p_2 = p_0 \approx 10^5 \text{ Па, } \rho \text{ воды} = 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда

$$p_1 = 10^3 \left(\frac{10^5}{10^3} + \frac{70^2}{2} - \frac{1,36^2}{2} \right) = 2,55 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,55 \text{ МПа.}$$

$$p_{\text{ман}} = p_1 - p_0 = 2,55 - 0,1 = 2,45 \text{ МПа}$$

Решите сами несколько задач из приведенных ниже.



Задача 1 В сосуде (рис. 5) налита вода. Вычислить давление, которое испытывает стенка сосуда в точке М лежащей на глубине $h = 0,4$ м.

Ответ: 3924 Па.

Задача 2. Стальная труба диаметром $d = 400$ мм находится под давлением $p = 16 \cdot 10^6$ Па. Определить толщину стенок трубы, если допустимое напряжение на разрыв для стали $[\sigma] = 16 \cdot 10^7$ Па.

Ответ: 2 мм.

Задача 3. Входное отверстие сопла имеет диаметр 20 мм и угол схождения 12° . Каким должен быть диаметр выходного отверстия, чтобы скорость жидкости при прохождении сопла возросла в десять раз? Какова будет длина сопла?

Ответ: 6,32 мм; 65,0 мм.

Задача 4. Установить, какой будет режим течения воды в трубе диаметром $D = 200$ мм, если средняя скорость $V = 0,36$ м/с, а кинематическая вязкость $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Ответ: Турбулентный.

Задача 5. Определить повышение давления при гидравлическом ударе в чугунной трубе диаметром 200 мм, если толщина стенок 16,5 мм, модуль упругости воды $E = 2 \cdot 10^9$ Па, модуль упругости чугуна $E_c = 10^{11}$ Па, а скорость течения 2 м/с.

Ответ: 2,4 МПа.

Задача 6. Вычислить расходы воды, вытекающей из бака (рис. 1) через отверстие, 2) через внутреннюю цилиндрическую насадку, 3) через внешнюю цилиндрическую насадку. Диаметр отверстия 200 мм, напор 4 м.

Ответы: 1. 172 л/с; 2. 197 л/с; 3. 228 л/с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

(Карточка 1)

Вопрос 1. По какой формуле необходимо подсчитать давление жидкости в космических условиях, например, на станции «Салют»?

Ответ: 1. $p = p_0 + \rho gh$; 2. $p = \rho gh$; 3. $p = p_0$; 4. $p = 0$.

Вопрос 2. Расход жидкости в трубопроводе определяется по формуле $Q = V_{ср} S$. Что необходимо сделать, чтобы расход увеличился в 2 раза при неизменном напоре?

Ответ: 1. Увеличить диаметр трубопровода в 2 раза; 2. Увеличить диаметр трубопровода в $\sqrt{2}$ раза; 3. Увеличить диаметр трубопровода в 4 раза; 4. Увеличить расход жидкости без увеличения напора напоре.

Вопрос 3. Потери напора на трение определяются по формуле Дарси-Вейсбаха $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}$. Как изменятся поте-

ри напора, если при том же расходе жидкости диаметр трубопровода увеличить в 2 раза?

Ответ: 1. Потери напора уменьшатся в 2 раза. Потери напора уменьшатся в 4 раза. 3. Потери напора уменьшатся в 32 раза. 4. Потери напора не изменятся.

Вопрос 4. Какими способами можно увеличить расход жидкости при истечении ее через отверстие в тонкой стенке? Напор жидкости остается без изменения.

Ответ: 1. Не изменяя напор, расход увеличить нельзя. 2. Можно только за счет увеличения площади отверстия. 3. Можно и за счет увеличения площади отверстия и применив цилиндрические и другие насадки. 4. Можно только за счет применения насадки по форме струи.

Вопрос 5. Известно, что для водомера Вентури (рис. 2) справедливо неравенство

$$\frac{V_1^2}{2g} < \frac{V_2^2}{2g}$$

Может ли давление в сечении 2 стать ниже атмосферного, если уменьшать размер D_2 ?

Ответ: 1. Не может. 2. Может. 3. Может уравняться с атмосферным.

Тема 1.3. Насосы (2 часа)

ПРОГРАММА

Назначение и область применения насосов в сельском хозяйстве. Классификация насосов. Устройство, принцип действия и основные показатели работы поршневых и центробежных насосов. Сравнение работы поршневых и центробежных насосов, их преимущества и недостатки. Принципы действия осевого, винтового, струйного, шестеренчатого и крыльчатого насосов.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 57..77; Л-2, с. 78..101; Л-3, 159..168.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Одним из видов машин, устройство и работа которых основаны на законах гидравлики, являются насосы. Насосы

нашли широкое применение во многих отраслях техники для создания потока жидкой среды (вода, нефть, нефтепродукты, молоко, пульпа и т. д.). При изучении насосов следует уделить особое внимание вопросам определения высоты всасывания, полного напора насоса, подачи, мощности и КПД насосов. Правильный выбор основных параметров насоса обеспечивает бесперебойность работы гидравлической системы, цикличность технологических процессов при наименьших эксплуатационных расходах.

Сказанное о насосах в значительной мере относится и к вентиляторам, так как теоретические основы работы насосов и вентиляторов одинаковы.

Разберите решения предлагаемых задач.

Пример 6. Центробежный насос имеет рабочее колесо диаметром 128 мм. Какой должна быть частота вращения колеса, чтобы насос создавал напор 19 м? ($\psi=1$)

Решение. Определим величину окружной скорости из формулы

$$H = \psi \frac{U^2}{2g} \\ U = \sqrt{\frac{2gH}{\psi}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 19} = 19,3 \text{ м/с.}$$

Тогда частота вращения

$$n = \frac{U}{\pi d} = \frac{3,24 \cdot 128 \cdot 10^{-3}}{19,3} = 48 \text{ с}^{-1} \text{ (2880 мин}^{-1}\text{)}.$$

Пример 7. Насос 1,5 К-8/19 имеет техническую характеристику: подача $Q = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор $H = 20 \text{ м}$; КПД $\eta_k = 53\%$. Определить мощность, потребляемую насосом.

Решение. Потребную мощность определим по формуле

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta_k} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 6 \cdot 20}{0,53 \cdot 3600} \text{ Вт} = 617 \text{ Вт.}$$

или, округляя, $N = 0,62 \text{ кВт}$.

Задача 7. Определить напор у центробежных насосов типа 1,5К при частоте вращения рабочего колеса $n = 48 \text{ с}^{-1}$ и $\psi = 1$. Диаметры колес у 1,5К 8/19 $d_1 = 128 \text{ мм}$.

1,5К 8/19а $d_2 = 115 \text{ мм}$.

1,5К-8/19б $d_3 = 105 \text{ мм}$.

Ответы: 19 м, 15,3 м, 12,7 м

Задача 8. Определить мощность центробежных насосов, если их техническая характеристика следующая:

Марка насоса	Производительность (Q), м ³ /ч	Напор (H), м	КПД, %
1,5К-8/19	6	20	53
1,5К-8/19а	5	16	50
1,5К-8/19б	4,5	13	45

Ответы: 0,6 кВт; 0,44 кВт; 0,35 кВт.

Задача 9. Определить подачу центробежного вентилятора, если напор равен 823 Па, площадь сечения воздуховода $150 \times 150 \text{ мм}$. Плотность воздуха принять $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Ответ: 0,83 м³/с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

(Карточка 2)

Вопрос 1. Каким способом можно уменьшить напор центробежного насоса (без конструктивных изменений)? Насос и двигатель соединены на одном валу. Напор определить по формуле $H = \psi \cdot U^2 / 2g$.

Ответ. 1. Уменьшить частоту вращения рабочего колеса. 2. Уменьшить диаметр рабочего колеса (обточить). 3. Изменить направление лопастей колеса. 4. Изменить число лопастей рабочего колеса.

Вопрос 2. Какой величины возможна теоретическая высота всасывания насоса (на уровне мирового океана)?

Ответ. 1. Точно определить нельзя, так как высота всасывания ограничена мощностью двигателя. 2. Точно определить нельзя, так как высота всасывания зависит от потерь напора в трубах. 3. Теоретическая высота всасывания определяется величиной атмосферного давления и равна 10 м (практически всегда меньше 10 м).

Вопрос 3. Каким должно быть давление во входной части центробежного насоса, чтобы не было срывов работы насоса?

Ответ. 1. $P_{вс} < P_0$. 2. $P_{вс} = P_0$.

3. $P_{вс} < P_0$, но $P_{вс} > P_{нас, \text{вод. пара}}$

Вопрос 4. К какому виду насосов следует отнести шестеренчатые насосы?

Ответ. 1. К объемным. 2. К лопастным. 3. К насосам трения.

Вопрос 5. Какое назначение в работе центробежного вентилятора имеет его спиралевидный кожух?

Ответ. 1. Для увеличения подачи вентилятора. 2. Для понижения скорости потока и преобразования динамического давления в статическое. 3. Для увеличения скорости потока на выходе. 4. Для правильного направления потока воздуха.

РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

ПРОГРАММА

Тема 2.1. Основные понятия и определения. Смесей газов и теплоемкость (2 часа)

Предмет и методы технической термодинамики, ее задачи и основные определения. Рабочее тело. Величины (параметры), определяющие состояние рабочего тела.

Понятие об идеальном газе. Уравнение состояния идеального газа. Понятие о реальных газах и парах как рабочих телах.

Термодинамическая система. Тепловое состояние. Равновесные и неравновесные состояния. Термодинамический процесс.

Понятие о газовой смеси. Закон Дальтона. Состав смеси в массовых и объемных долях, соотношение между ними. Состав смеси, заданный числом молей. Плотность смеси. Кажущаяся молярная масса смеси. Газовая постоянная смеси.

Массовая, объемная и молярная теплоемкости газа, зависимость между ними. Постоянные и переменные теплоемкости газов. Средняя и истинная теплоемкости газа. Теплоемкость при постоянном объеме и при постоянном давлении. Теплоемкости смеси газов.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 82...98; Л-2, с. 105...135; Л-3, с. 7...17, 22...26.

Тема 2.2. Первый закон термодинамики (2 часа)

Содержание закона и его формулировки. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Внутренняя энергия и ее свой-

ства. Работа газа, ее определение и графическое изображение в координатах pV . Расчет количества теплоты. Энтальпия газа.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 98...109; Л-2, с. 135...142; Л-3, с. 17...22.

Тема 2.3. Второй закон термодинамики (2 часа)

Содержание закона и его формулировки. Круговые процессы или циклы. Прямой и обратный циклы. Термический к. п. д. цикла и холодильный коэффициент. Цикл Карно, общие свойства обратимых и необратимых циклов. Аналитическое выражение второго закона. Энтропия газов. Система координат Ts . Абсолютная термодинамическая температура.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 121...125; Л-2, с. 159...174; Л-3, с. 39...48.

Тема 2.4. Исследование термодинамических процессов (2 часа)

Порядок и методы исследований термодинамических процессов. Изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный процессы и их изображение в координатах pV и Ts . Соотношения параметров, определение работы, теплоемкости и теплоты процесса. Политропный процесс. Уравнение политропы.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 109...120; Л-2, с. 142...159; Л-3, с. 26...38.

Тема 2.5. Идеальные циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Основы компрессорных машин (2 часа)

Циклы с подводом теплоты при постоянном объеме и постоянном давлении. Термический к. п. д. циклов. Работа газа за цикл. Сравнение циклов. Цикл со смешанным подводом теплоты. Отличие действительных циклов от идеальных.

Компрессоры и компрессорные установки. Принцип работы компрессора. Рабочий процесс одноступенчатого поршневого компрессора и его изображение в координатах pV и Ts . Термодинамическое обоснование многоступенчатого сжатия. Работа и привод компрессора.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 207...214; Л-2, 209...226, 390...397; Л-3, с. 70...78.

Тема 2.6. Водяной пар и влажный воздух (4 часа)

Физические и химические свойства воды. Водяной пар как рабочее тело. Процесс образования пара. Диаграмма pV и Ts для водяного пара. Параметры состояния жидкости, влажного, сухого насыщенного и перегретого паров и количество теплоты, необходимой для нагрева жидкости и получения пара. Таблицы водяного пара. Фазовые превращения. Тройная точка. Энтальпия водяного пара. Диаграмма hs водяного пара и изображение в ней основных термодинамических процессов.

Влажный воздух как смесь сухого воздуха и водяного пара. Насыщенный, перенасыщенный, влажный воздух. Основные параметры влажного воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, удельный объем, энтальпия. Диаграмма h_d .

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 126...137. Л-2, с. 175...195. Л-3, с. 48...59.

Тема 2.7. Истечение газов и паров (2 часа).

Основное уравнение газового потока. Исследование адиабатного процесса истечения. Скорость истечения. Критическое отношение давлений, критическая скорость и максимальный расход. Истечение из суживающегося сопла. Комбинированное сверхзвуковое сопло. Определение скорости истечения с помощью диаграммы hs . Понятие о диффузоре.

Дросселирование газов и паров.

Значение теории истечения пара и газа для создания паровых и газовых турбин. Схема устройства и принцип действия турбин. Удельный расход пара.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 139...147; Л-2, с. 195...209; Л-3, с. 59...65.

Тема 2.8. Циклы паросиловых и газотурбинных установок (2 часа)

Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Карно для пара, термический к.п.д. Цикл Ренкина, изображение его в координатах pV и Ts . Термический к.п.д. Пути повышения экономичности паросиловых установок и их использование на современных тепловых электростанциях.

Удельный расход топлива. Термодинамические основы теплофикации.

Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Условия повышения к. п. д.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 148...153, с. 231...233.

Л-2, с. 216...226, с. 372...374.

Л-3, с. 78...88.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Техническая термодинамика занимается изучением физических явлений, связанных с превращением теплоты в работу и работы в теплоту в тепловых машинах (паровых и газовых турбинах, двигателях внутреннего сгорания, холодильных машинах). На основе законов термодинамики проводятся научно обоснованные расчеты тепловых двигателей, теплообменных аппаратов, определяются условия наибольшей экономичности энергетических установок.

Изучая первый и второй законы термодинамики, являющиеся ее основой, выясните их особое значение в теории тепловых двигателей. Если первый закон устанавливает возможность превращения теплоты в работу, то второй — условия, при которых этот переход возможен.

Превращение теплоты в работу, как следует из законов термодинамики, связано с изменением состояния газа (пара). Поэтому очень важно изучить параметры, определяющие состояние газов при различных термодинамических процессах, в которых газы, их смеси и пары являются рабочим телом.

Изучая термодинамические процессы в газах, выясните, что введение понятия политропного процесса позволяет качественно описать едиными уравнениями большую группу термодинамических процессов и что изобарный, изотермический и другие изопроцессы являются частными случаями этого общего процесса, выражающегося уравнением состояния газа

$$pV^n = \text{const.}$$

Давая последовательно значения показателю политропы $n = 0$, $n = 1$, $n = k$ и $n = \infty$, получите уравнения следующих изопроцессов, протекающих, как известно, при неизменности одного какого-либо параметра:

$n = 0$; $p = \text{const}$ — изобарный процесс;

$p = 1; pV = \text{const}$ — изотермический процесс;
 $p = k; pV^k = \text{const}$ — адиабатный (изоэнтропийный) процесс;
 $p = \infty; V = \text{const}$ — изохорный процесс.

В координатах pV изопроцессы будут иметь вид, показанный на рис. 6.

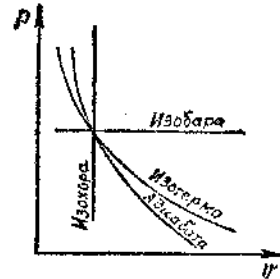


Рис. 6

Работа тепловых машин носит циклический характер. Этому требованию могут удовлетворить только круговые процессы или циклы. Следовательно, круговым процессам, а особенно циклу Карно, необходимо уделить особое внимание, придавая более важное значение экономической оценке цикла — термическому КПД.

Рассмотрим некоторые примеры наиболее важных термодинамических задач.

Пример 8. Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются с $t_1 = 1200^\circ\text{C}$ до $t_2 = 250^\circ\text{C}$. Во сколько раз уменьшится их объем, если давление газов в начале и конце газотока одинаково?

Решение. По закону Гей-Люссака имеем:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{t_1 + 273}{t_2 + 273} = \frac{1200 + 273}{250 + 273} = \frac{1473}{523} = 2,82.$$

Пример 9. В баллоне содержится кислород массой 2 кг при давлении 8,3 МПа и температуре 15°C . Вычислить вместимость баллона.

Решение. Из уравнения состояния идеальных газов $pV = MRT$ имеем:

$$V = \frac{MRT}{p} = \frac{2 \cdot 260(15 + 273)}{8,3 \cdot 10^6} = 0,018 \text{ м}^3.$$

Для кислорода (см. прил. 2) $R = 260 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Пример 10. Найти количество теплоты, подводимое к кислороду массой 0,2 кг при постоянном давлении для повышения его температуры от 600 до 2000°C .

Решение. Искомое количество теплоты найдем по уравнению

$$Q_{1,2} = Mc_p(t_2 - t_1).$$

В данном случае теплоемкость c_p принимаем равной истинной удельной изобарной теплоемкости при среднеарифметической температуре \bar{t} , которая будет равна

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{600 + 2000}{2} = 1300^\circ\text{C}.$$

Определяем среднюю молярную изобарную теплоемкость в интервале температур $600 \dots 2000^\circ\text{C}$ как истинную теплоемкость при средней температуре интервала, равную 1300°C .

По таблице IV в Л-5, с. 318 истинная молярная теплоемкость кислорода при $\bar{t} = 1300^\circ\text{C}$ равна

$$\mu c_p = 36,752 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}).$$

Средняя удельная изобарная теплоемкость

$$\bar{c}_p = \frac{\mu c_p}{\mu} = \frac{36,752}{32} = 1,1485 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Количество подведенной теплоты

$$Q = M \bar{c}_p (t_2 - t_1) = 0,2 \cdot 1,1485 \cdot 10^3 (2000 - 600) = 321,58 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 321,58 \text{ кДж}.$$

Пример 11. На сжатие газа затрачена работа $L = 200 \text{ МДж}$. Теплообмен с внешней средой был исключен. Определить изменение внутренней энергии газа.

Решение. По первому закону термодинамики имеем:

$$Q = \Delta U + L,$$

или

$$\Delta U = Q - L.$$

Так как теплообмена нет, то $Q = 0$.

Тогда изменение энергии газа

$$\Delta U = Q - (-200) \cdot 10^6 = 200 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 200 \text{ МДж}.$$

Внутренняя энергия газа возросла на 200 МДж .

Пример 12. Воздух в компрессоре сжимается политропно с показателем $n = 1,15$. Определить условия протекания процесса.

Решение. В этом процессе $1 < p < k$; следовательно, линия процесса лежит между изотермой и адиабатой (рис. 6). Поэтому теплота от газа отводится (так как данная политропа располагается ниже адиабаты), но температура повышается (так как политропа располагается выше изотермы). Практически, во избежание значительного повышения температуры сжимаемого воздуха, стенки цилиндра компрессора охлаждаются водой.

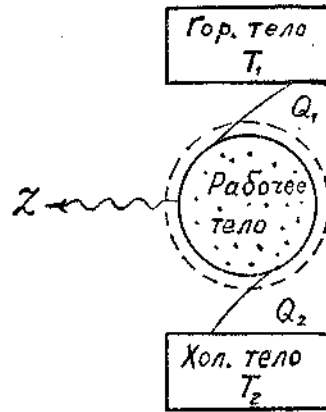


Рис. 7

Пример 13. Для уяснения сущности второго закона термодинамики рассмотрим простой опыт с шаром из эластичной оболочки, наполненной газом, составляющим рабочее тело. Объем шара периодически меняется, газом совершается определенная работа (см. рис. 7).

Когда к рабочему телу подводит теплоту Q_1 от горячего тела, шар расширяется. Чтобы шар привести в исходное состояние, от рабочего тела отводят холодному телу необходимое количество теплоты Q_2 — шар сжимается.

В работу при этом превращается часть теплоты, равная $Q_1 - Q_2$.

$$Z = Q_1 - Q_2.$$

Рассмотренный цикл может повторяться любое количество раз. Таким образом, для превращения теплоты в работу необходимы условия:

1) иметь два источника теплоты с различными температурами $T_1 > T_2$;

2) иметь рабочее тело, которое нагревают для расширения и охлаждают для того, чтобы привести его в исходное термодинамическое состояние.

Аналогичное явление происходит в двигателе внутреннего сгорания, где рабочее тело, в отличие от эластичного шара, заключено в цилиндр с подвижным поршнем. В остальном сущность остается той же самой, что и в разобранный примере.

Пример 14. Внутренняя энергия (U), теплота (Q) и работа (Z) измеряются одной и той же единицей — джоулем (Дж). Кроме того, по первому закону термодинамики они связаны уравнением.

$$Q = \Delta U + Z.$$

Рассмотрим качественные различия между ними. Они состоят в следующем:

1. Внутренняя энергия есть мера различных форм движения материи и является функцией состояния системы, то есть

$$U = f(T, V).$$

2. Работа и теплота представляют собой две единственно возможные формы передачи энергии от одного тела к другому. Работа есть макрофизическая форма передачи энергии. Теплота — совокупность микрофизических процессов (обмен энергии при соударении молекул, излучении квантов света и т. д.).

3. Работа и теплота, в отличие от внутренней энергии, не является функцией состояния системы и зависит от пути процесса, то есть

$$Z = p(V_2 - V_1).$$

В заключение можно сказать: когда мы говорим о работе или теплоте, должны иметь в виду процесс, а когда об энергии, должны представлять себе запас возможной, но еще не осуществляющейся работы.

Теплота и работа эквивалентны друг другу, но являются неравноценными формами передачи энергии.

Работа может быть направлена непосредственно на пополнение запаса любого вида энергии, теплота же непосредственно, то есть без промежуточного преобразования в работу, может быть направлена на пополнение запаса только лишь внутренней энергии тел.

Решите следующие задачи.

Задача 10. В пусковом баллоне дизеля вместимостью $0,3 \text{ м}^3$ содержится воздух, плотность которого равна $2,86 \text{ кг/м}^3$. Определить массу воздуха в баллоне.

Ответ: $0,858 \text{ кг}$.

Задача 11. Манометр, установленный на паровом котле, показывает давление $1,8 \text{ МПа}$. Найти абсолютное давление в котле, если атмосферное давление равно 99 кПа .

Ответ: $1,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

Задача 12. Определить температуру воздуха в $^\circ\text{C}$, если $T = 242 \text{ К}$.

Ответ: -31°C .

Задача 13. Давление воздуха в велосипедной шине равно $0,1599 \text{ МПа}$ при температуре 10°C . Каким станет давление в шине, если температура повысится до 40°C (считаем, что объем шины останется неизменным)?

Ответ: $0,1769 \text{ МПа}$

Задача 14. Найти плотность и удельный объем двуокиси углерода при нормальных физических условиях.

Ответ: $1,964 \text{ кг/м}^3$, $0,509 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Задача 15. Определить плотность окиси углерода при давлении $0,1 \text{ МПа}$ и температуре 15°C .

Ответ: $1,169 \text{ кг/м}^3$

Задача 16. Сухие продукты сгорания нефти массой 1 кг имеют следующий состав: двуокись углерода $3,2 \text{ кг}$, окись углерода $1,01 \text{ кг}$, кислород $1,33 \text{ кг}$, азот $17,4 \text{ кг}$. Найти массовые компоненты газов, составляющих эту смесь.

Ответ: $0,14$; $0,044$; $0,058$; $0,758$.

Задача 17. Найти количество теплоты, подводимое к кислороду массой 2 кг , при постоянном давлении для повышения его температуры от 600 до 2000°C .

Ответ: $3,22 \text{ МДж}$.

Задача 18. Газу сообщено 100 МДж теплоты и совершена работа при его расширении 200 МДж . Определить изменение внутренней энергии в процессе расширения.

Ответ: -100 МДж .

Задача 19. В баллоне вместимостью 15 л содержится воздух при давлении $0,4 \text{ МПа}$ и температуре 30°C . Какова будет температура воздуха в результате подвода к нему 16 кДж теплоты? (принять $c_{\text{vm}} = 717 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$).

Ответ: 354°C .

Задача 20. Определить условия политропного расширения газа с показателем $n = 1,32$ (См. выше рис. 6 и пример 12).

Задача 21. Определить термический КПД паровой турбины, если бы она работала по циклу Карно. Температура теплоотдатчика (парового котла) 600°C , а температура теплоприемника (конденсатора) 30°C .

Ответ: $0,654$.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

(Карточка 3)

Вопрос 1. Величину какого параметра показывает манометр, подключенный к баллону, если давление воздуха в нем p_1 больше внешнего давления p_0 ($p_1 > p_0$)?

Ответ. 1. p_1 . 2. p_0 . 3. $p_m = p_1 - p_0$.

Вопрос 2. Имеется ли разница между показателями температуры $T = 500 \text{ К}$ и $t = 500^\circ\text{C}$?

Ответ. 1. $T = t$. 2. $T > t$. 3. $T < t$.

Вопрос 3. Почему в качестве рабочего тела в технической термодинамике используются газы или пары?

Ответ. 1. Газы и пары имеют высокие теплоемкости. 2. Газы и пары при изменении температуры и давления могут значительно изменять свой удельный объем. 3. Газы и пары способны выдерживать большие температуры, чем жидкости и твердые тела.

Вопрос 4. Почему молярная газовая постоянная называется также универсальной?

Ответ. 1. При помощи нее можно определить удельную газовую постоянную любого газа. 2. Она для всех идеальных газов имеет одно и тоже числовое значение $8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль}\cdot\text{K})$. 3. Она применима и для реальных газов.

Вопрос 5. Как записывается уравнение Менделеева-Клапейрона?

Ответ. 1. $pV = RT$. 2. $pV = MRT$. 3. $pV_1 = \mu RT$.

Вопрос 6. Назовите единицу измерения количества вещества.

Ответ. 1. Моль. 2. Килограмм. 3. м^3 .

Вопрос 7. Какое выражение является уравнением первого закона термодинамики?

Ответ. 1. $dq = du - dl$. 2. $dq = du + dl$.
3. $dq = dl$. 4. $dq = du$.

Вопрос 8. Какой вид имеет уравнение Майера?

Ответ. 1. $c_p/c_v = k$. 2. $c = \mu c/\mu$. 3. $c = c'/\rho$. 4. $c_1 = c_v + R$.

Вопрос 9. Почему для удельного цикла Карно термический КПД не может быть равен единице?

Ответ. 1. Невозможно, чтобы $T_1 = T_2$. 2. Невозможно, чтобы $T_2/T_1 = 0$. 3. КПД может быть равен единице, так как цикл идеальный.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Рабочим телом паровых двигателей является водяной пар. Пар широко используется и для технологических целей, например, при тепловой обработке продуктов. Изучая водяной пар, прежде всего научитесь определять его параметры как с помощью термодинамических таблиц воды и водяного пара, так и посредством h - s -диаграммы.

Диаграмма h - s дает возможность решать многие задачи, связанные с термодинамическими процессами в водяном паре.

Рассмотрите характерные примеры решения следующих задач.

Пример 15. Определить параметры состояния воды и сухого насыщенного пара при давлении 2 МПа.

Решение. По таблице насыщенного водяного пара (Л-10, прил. 9) для заданного давления искомые параметры состояния будут следующими:

$$\begin{aligned} t_s &= 212,37^\circ\text{C}, & h'' &= 2799 \text{ кДж/кг}, \\ V' &= 0,0011766 \text{ м}^3/\text{кг}, & r &= 1891 \text{ кДж/кг}, \\ V'' &= 0,09958 \text{ м}^3/\text{кг}, & s' &= 2,447 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}), \\ \rho'' &= 10,041 \text{ кг/м}^3, & s'' &= 6,340 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}). \\ h' &= 908,5 \text{ кДж/кг}, \end{aligned}$$

Пример 16. Давление влажного насыщенного пара 1,5 МПа и степень сухости 0,9. Найти удельный объем, удельную энтальпию и удельную энтропию пара.

Решение. По таблице (в Л-10) для сухого насыщенного водяного пара давлением $p=1,5$ МПа находим следующие параметры:

$$V'' = 0,1317 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad r = 1947 \text{ кДж/кг}; \quad h' = 844,6 \text{ кДж/кг}; \\ s' = 2,314 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); \quad s'' = 6,445 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Тогда искомые величины состояния пара будут равны:

$$V_x = xV'' = 0,9 \cdot 0,1317 = 0,118 \text{ м}^3/\text{кг}; \\ h_x = i + rx = 844,6 + 0,9 \cdot 1947 = 2597 \text{ кДж/кг};$$

$$s_x = s' + (s'' - s')x = 2,314 + (6,445 - 2,314)0,9 = 6,033 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Пример 17. Водяной пар массой 1200 кг расширяется адиабатно от $p_1 = 1,4$ МПа и $t_1 = 300^\circ\text{C}$ до $p_2 = 6$ кПа. Найти изменение энтальпии в этом процессе и степень сухости пара в конце расширения.

Решение. Находим на h - s -диаграмме для водяного пара (рис. 10) точку 1, характеризующую начальное состояние пара, на пересечении изобары $p_1 = 1,4$ МПа и изотермы 300°C .

Опустив из точки 1 вертикаль до изобары $p_2 = 6$ кПа, находим точку 2, характеризующую конечное состояние пара.

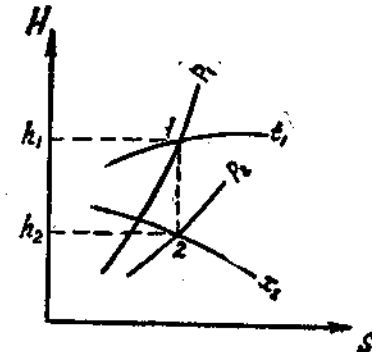


Рис. 8

Устанавливаем, что через эту точку проходит кривая постоянной сухости $x_2 = 0,825$. Далее, спроектировав точки 1 и 2 на ось удельных энтальпий, находим, что $h_1 = 3035 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, а $h_2 = 2135 \text{ кДж/кг}$.

Тогда изменение энтальпии для заданной массы пара будет:

$$h_1 = (h_1 - h_2)_{уд} = 3035 - 2135 = 900 \text{ кДж/кг}; \\ H_1 - H_2 = m(h_1 - h_2)_{уд} = 1200 \cdot 900 = 1,08 \text{ ГДж}.$$

Практическое использование паров и газов в энергетических целях связано с процессом истечения их через сопла. Уделите внимание этому процессу, изучите формулы для определения скорости истечения, массового расхода, основных размеров сопла и т. д.

Превращение энергии пара в работу производится в паросиловых установках. Особое внимание обратите на идеальный

цикл паросиловой установки — цикл Ренкина. Необходимо знать, как определяется термический КПД цикла Ренкина, расход пара для получения 1 МДж работы. Пути повышения КПД цикла Ренкина являются главными задачами теплоэнергетики.

Решите сами несколько задач.

Задача 22. Определить, начнется ли кипение воды при 190°C и давлении 1,5 МПа?

Задача 23. Найти удельный объем пара и его энтальпию и энтропию при давлении 2 МПа и $t = 400^\circ\text{C}$.

Ответ: $s = 7,122$ кДж/(кг·К); $V = 0,1511$ м³/кг;
 $h = 3246$ кДж/кг.

Задача 24. Водяной пар массой 20 кг расширяется при постоянном давлении 3 МПа от начального удельного объема $V_1 = 0,06$ м³/кг до конечного $V_2 = 0,09$ м³/кг. Найти начальные и конечные параметры пара, количество сообщенной теплоты и работу изменения объема.

Ответ: $x_1 = 0,9$; $h_1 = 2625$ кДж/кг;
 $s_1 = 5,83$ кДж/(кг·К); $t = 350^\circ\text{C}$;
 $h_2 = 3120$ кДж/кг; $s_2 = 6,75$ кДж/(кг·К);
 $Q_{1,2} = 9,9$ МДж; $Z_{1,2} = 1,8$ МДж.

Задача 25. Кислород, находящийся в баллоне, при постоянном давлении $p_1 = 5$ МПа выходит через сопло в среду с давлением $p_{\text{атм}} = 4$ МПа. Найти скорость истечения и массовый расход кислорода, если площадь выходного сечения сопла $f_2 = 20$ мм². Начальная температура кислорода $t_1 = 100^\circ\text{C}$. Начальная скорость истечения равна нулю.

Ответ: 212 м/с; 0,18 кг/с.

Задача 26. Определить изменение температуры перегретого водяного пара, давление которого понижается дросселированием до 0,3 МПа, если начальные параметры пара: $p_1 = 2$ МПа и $t_1 = 250^\circ\text{C}$.

Ответ: Перегрев пара увеличивается на 48,5°C.

Задача 27. Найти удельный расход водяного пара и термический КПД идеального парового двигателя, работающего по циклу Ренкина, если начальные параметры пара $p_1 = 1,5$ МПа, $x = 0,9$, а давление пара в конденсаторе $p_2 = 20$ кПа.

Ответ: 1,61 кг/МДж; 26,4%.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

(Карточка 4)

Вопрос 1. Какие факторы определяют температуру кипения воды в паровом котле?

Ответ. 1. Количество сообщаемой теплоты. 2. Температура стенок котла. 3. Давление пара в котле. 4. Температура воды не превышает 100°C.

Вопрос 2. Какое давление имеет водяной пар на выходе в атмосферу из суживающего сопла?

Ответ. 1. Равно атмосферному. 2. Ниже атмосферного. 3. Критическое давление. 4. Давление не выше критического.

Вопрос 3. Как изменяются параметры водяного пара при дросселировании?

Ответ. 1. Значения всех параметров (h , V , T , p) убывают. 2. Энтальпия h не изменяется, а остальные параметры (V , T , p) убывают. 3. Энтальпия не изменяется, удельный объем возрастает, а давление и температура падают. 4. Все параметры, кроме энтальпии, возрастают.

Вопрос 4. Какими способами можно повысить термический КПД цикла Ренкина?

Ответ. 1. Применить топливо с большой теплотой сгорания. 2. Повысить давление пара в котле. 3. Повысить температуру перегрева пара. 4. Одновременно с повышением давления и температуры перегрева пара понизить давление в конденсаторе.

РАЗДЕЛ 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛООБМЕНА

ПРОГРАММА

Тема 3.1. Основные понятия и определения.
Теплопроводность (2 часа).

Предмет теории теплообмена. Способы распространения теплоты: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Теплопередача.

Теплопроводность. Температурное поле. Температурный градиент. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности и его значение для различных технических материалов. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенок.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 155...158; Л-2, с. 226...233; Л-3, с. 91...96.

Тема 3.2. Конвективный теплообмен (2 часа)

Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Теплоотдача при свободном и вынужденном движении жидкости при различных условиях обтекания тел. Влияние излучения газов на теплообмен.

Коэффициент теплоотдачи излучением. Теплообмен при кипении жидкости и при конденсации пара.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 158...165; Л-2, с. 233—243; Л-3, с. 95...97.

Тема 3.3. Теплопередача и теплообменные аппараты (2 часа)

Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенки. Коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление теплопередачи. Теплопередача через цилиндрическую стенку. Методы интенсификации теплопередачи. Тепловая изоляция.

Классификация теплообменных аппаратов. Основные положения теплового расчета. Уравнения теплопередачи и тепловых балансов теплоносителей. Средний температурный напор. Сравнение прямоточных и противоточных схем движения теплоносителей.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 169...173; Л-2, с. 252...259; Л-3, с. 101...105.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Теория теплообмена занимает одно из ведущих мест в инженерных расчетах. Процессы теплообмена имеют место в системах отопления зданий, в паровых и водогрейных котлах, в тепловых двигателях, в теплообменниках различных типов и т. д. Изучая разделы теплопередачи, усвойте законы, по которым происходит передача теплоты от одного тела к другому.

Рассмотрите некоторые примеры решения задач, где используются законы теплопередачи.

Пример 18. Температура наружной поверхности котла $T = 473$ К. Толщина стенки $\delta_1 = 0,02$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_1 = 46,6$ Вт/(м·К). С внутренней стороны стенка котла покрыта слоем накипи толщиной $\delta_2 = 0,001$ м, ее

$\lambda_2 = 1,168$ Вт/(м·К). Температура внутренней поверхности $T = 413$ К. Определить удельный тепловой поток и температуру на границе накипи.

Решение. Величину удельного теплового потока определим по формуле

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{473 - 413}{\frac{0,02}{46,6} + \frac{0,001}{1,168}} = 46,6 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2 = 46,6 \text{ кВт/м}^2.$$

Температура на границе накипи

$$T_{\text{нк}} = T_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 473 - \frac{46,6 \cdot 10^3 \cdot 0,02}{46,6} = 453 \text{ К.}$$

Пример 19. Чугунный радиатор М-140-А0 отдает воздуху 1,585 кВт теплоты. Определить площадь теплоотдающей поверхности радиатора и число его секций, если известно, что температура в помещении 18°C , а коэффициент теплопередачи равен $10,1$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$).

Решение. Расчетная формула для определения теплоотдающей поверхности имеет вид: $S = Q/k\Delta t$.

где Q — количество отданной теплоты, Вт.

k — коэффициент теплопередачи, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$).

Δt — разность температур теплоносителя и воздуха помещения, $^\circ\text{C}$.

По условию:

$$Q = 1,585 \cdot 10^3 \text{ Вт;}$$

$$k = 10,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

В системах отопления наиболее часто встречающимися параметрами теплоносителя являются $t_f = 95^\circ\text{C}$, а $t_0 = 70^\circ\text{C}$. Тогда

$$\bar{t} = 0,5(95 + 70) = 82,5^\circ\text{C}.$$

Окончательно искомая величина S будет равна:

$$S = \frac{1,585 \cdot 10^3}{10,1(82,5 - 18)} = \frac{1585}{650} = 2,44 \text{ м}^2.$$

Для радиаторов М-140-А0 $s_c = 0,244 \text{ м}^2$.

Число секций

$$n = \frac{S}{s_c} = \frac{2,44}{0,244} = 10.$$

Пример 20. Плоская стенка ($\lambda = 11,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$) толщиной $\delta = 0,005$ м омывается с одной стороны горячими газами температурой $t_1 = 2000^\circ\text{C}$, с другой — охлаждается водой температурой $t_2 = 27^\circ\text{C}$. Коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке $\alpha_1 = 467 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$, от стенки к воде $\alpha_2 = 3500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$.

Определить удельный тепловой поток и температуры стенки
Решение. Коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{467} + \frac{0,005}{11,6} + \frac{1}{3500}} = 350 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}).$$

Удельный тепловой поток

$$q = k (t_1 - t_2) = 350 (2000 - 27) \text{ Вт}/\text{м}^2 = 690550 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Температура стенки со стороны газов

$$t_{c1} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 2000 - \frac{690550}{467} = 521,3^\circ\text{C}.$$

Температура стенки со стороны воды

$$t_{c2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 27 + \frac{690550}{3500} = 224,3^\circ\text{C}.$$

Решите сами несколько задач.

Задача 28. Определить тепловой поток через кирпичную стенку длиной 5 м, высотой 3 м и толщиной 25 мм, если на поверхностях стенки поддерживается температура $t_{c1} = 20^\circ$ и $t_{c2} = -30^\circ\text{C}$, а коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,696 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Ответ: 2,088 кВт.

Задача 29. Определить коэффициент теплопередачи стенки парового котла толщиной 10 мм в случае загрязнения слоем накипи 5 мм и слоем масла 1 мм. Известно, что для стальной стенки $\lambda_1 = 46,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, для накипи $\lambda_2 = 2,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, для масла $\lambda_3 = 0,116 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$. Кроме того, примем $\alpha_1 = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, $\alpha_2 = 5800 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Ответ: 18,4 Вт/(м²·К).

Задача 30. Определить величину удельного теплового потока которым обмениваются поверхности каждого квадратного метра свода топки и стальных труб, имеющих соответственно температуру 1000 и 300°C и степень черноты 0,85 и 0,8.

Ответ: 0,1 МВт/м².

Задача 31. В теплообменнике с параллельным током начальная температура греющей среды $t'_1 = 110^\circ\text{C}$, конечная $t''_1 = 70^\circ\text{C}$, начальная температура нагреваемой среды $t'_2 = 40^\circ\text{C}$, конечная $t''_2 = 60^\circ\text{C}$. Найти среднюю разность температур.

Ответ: 40°C (среднеарифметическая),
30,8°C (среднегеометрическая).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

(Карточка 5)

Вопрос 1. Как изменится тепловой поток через однослойную стенку, если одновременно увеличить в два раза ее толщину δ и площадь теплопередающей поверхности F .

Ответ. 1. Возрастет в два раза. 2. Уменьшится в два раза. 3. Не изменится.

Вопрос 2. Между стенкой и воздухом происходит конвективный теплообмен. Каким рациональным способом можно увеличить тепловой поток, не изменяя при этом разности температур?

Ответ. 1. Такого способа нет. 2. Ускорить движение воздуха у стенки. 3. Увеличить размеры стенки.

Вопрос 3. Может ли в противоточном теплообменнике конечная температура нагреваемой жидкости оказаться выше конечной температуры греющей жидкости?

Ответ: 1. Нет. 2. Да. 3. $t''_2 = t''_1$. 4. $t''_2 \leq t''_1$.

Вопрос 4. Какое выражение является формулой коэффициента теплопередачи?

Ответ. 1. $k = \delta/\lambda$. 2. $k = 1/\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$. 3. $k = 1/\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}$
— $\frac{1}{\alpha}$. 4. $k = 1/\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}$.

РАЗДЕЛ 4. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ

ПРОГРАММА

Тема 4.1. Топливо и его характеристика (2 часа)

Общие сведения об энергетическом топливе и его классификация. Элементарный состав твердого, жидкого и газообразного топлива. Формулы пересчета одной массы топлива на другую. Теплота сгорания топлива — высшая и низшая. Понятие условного топлива. Структуры топливного баланса СССР. Экономия топливно-энергетических ресурсов и энерготехнологическое использование топлива.

ЛИТЕРАТУРА

Материалы XXVI съезда КПСС.
Л-1, с. 173...180; Л-2, с. 259...270; Л-3, с. 106...128.

Тема 4.2. Процесс горения топлива и способы сжигания (2 часа)

Сущность процесса горения. Теоретически необходимое и действительное количество воздуха для горения. Коэффициент избытка воздуха. Расчет продуктов сгорания. Энтальпия продуктов сгорания и теоретическая температура горения.

Слоевой, факельный и вихревой способы сжигания топлива. Сжигание твердого топлива. Влияние летучих продуктов твердого топлива на процесс воспламенения и горения. Горение твердого топлива в слое и во взвешенном состоянии. Способы распыления жидких топлив. Смесеобразование и горение факела. Горение газового топлива. Условие горения.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 176...180; Л-2, с. 271...280; Л-3, с. 128...143.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение вопросов этого раздела начинайте со структуры топливного баланса СССР, проанализируйте изменения в структуре топливного баланса в свете решений XXVI съезда КПСС.

Уясните элементарный состав топлива и методику его пересчета с горючей массы на рабочую. Необходимо уметь

определять теплоту сгорания топлива, количество воздуха, потребное для сгорания 1 кг топлива.

Обратите внимание на методы сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива, имеющие большое практическое значение.

Решите следующие задачи.

Задача 32. Сколько бурого угля необходимо отпустить хозяйству, чтобы удовлетворить его заявку на 100 тонн условного топлива?

Ответ: 209,3 т.

Задача 33. Определить низшую теплоту сгорания и теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг высокосернистого мазута следующего состава рабочей массы: $C^p = 83\%$; $H^p = 10,4\%$; $O^p = 0,7\%$; $S^p = 2,8\%$; $A^p = 0,1\%$; $W^p = 3\%$.

Ответ: 38,9 МДж, 10,23 м³/кг.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите основные направления изменения топливного баланса СССР на период до 1990 года.
2. Назовите элементарный состав горючей, сухой и рабочей масс топлива.
3. Как определяется удельная теплота сгорания топлива практическим и аналитическим способами?
4. Что такое коэффициент избытка воздуха и какие он может иметь числовые значения?
5. Назовите марки ископаемых углей.

Тема 4.3. Котельные установки. Тепловой баланс котельного агрегата (2 часа)

ПРОГРАММА

Котельные установки, их типы и назначение. Принципиальная схема котельной установки. Основное и вспомогательное оборудование котельной установки. Состав котельного агрегата. Элементы котельного агрегата. Тягодутьевое устройство.

Тепловой баланс котельного агрегата. Полезно использованная теплота. Потери теплоты. К.п.д. котельного агрегата.

та. Часовой расход топлива. Испарительная способность топлива.

Правила эксплуатации котельной установки. Техника безопасности и пожарная безопасность.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 185...187; Л-2, с. 299...303; Л-3, с. 407...409.

Тема 4.4. Топочные устройства (2 часа)

Классификация топочных устройств и общие требования к ним.

Топки для слоевого сжигания твердого топлива. Тепловое напряжение зеркала горения и топочного объема. Растопка топки и регулирование процесса горения. Очистка топок от золы и шлака. Схемы устройства для вихревого способа сжигания твердого топлива. Тепловой баланс топочного устройства и теплопередача в топке.

Топки для факельного сжигания жидкого и газообразного топлива. Полезное тепловыделение в топке и теоретическая температура горения. Определенные температуры газов, покидающих топку, и величины необходимой радиационной поверхности в топке.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 130...135; Л-2, с. 282...299; Л-3, с. 409...415.

Тема 4.5. Водогрейные и паровые котлы (3 часа)

Классификация котлов. Котлы водогрейные и паровые, малой и средней производительности для отопительных и отопительно-производственных котельных. Внутрикотловые процессы. Котлы-утилизаторы. Порядок гидравлического испытания котлов. Арматура и гарнитура котла. Правила эксплуатации котлов. Техника безопасности. Обеспечение надежности и экономичности работы котельных установок.

Лабораторная работа № 1

Испытание парового котельного агрегата. Выполнение регулировочных работ с частичной разборкой и сборкой агрегата (по заданию).

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 187...197; Л-2, с. 303...330; Л-3, с. 415...422.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Уделите внимание экономическим характеристикам топок и котельных установок в целом, а также топкам с интенсифицированным процессом сжигания топлива. Так, циклонные топки, обеспечивающие интенсивность и эффективность процесса сжигания топлива при очень высокой тепловой мощности топочного объема, достигающей до 4,1 МВт/м³, и 14...17,4 МВт/м² сечения камеры циклонного предтопка, позволяют улавливать до 85—90% золы топлива, чем создают благоприятные условия работы поверхностей нагрева котлов, допускают использование практически любых видов топлива.

Изучите конструктивные особенности котлов малой и средней производительности для отопительных и отопительно-производственных целей.

Из теоретических положений заслуживает внимание уравнение для расчета естественной тяги с помощью дымовой трубы:

$$h_{тр} = \frac{29,5H_{кв}}{P_{бар} \frac{1}{t_n + 273} - \frac{1}{t_r + 273}}$$

где $P_{бар}$ — барометрическое давление, Па;

t_n — температура наружного воздуха, °С;

t_r — средняя температура дымовых газов в трубе, °С;

$H_{кв}$ — газовое сопротивление котельной установки, Па.

Оно состоит из газовых сопротивлений котла $H_{кот}$, бортова $H_{бор}$, шибера $H_{ш}$, дымовой трубы $H_{тр}$, разрежения в топке H_t и потерь напора на выходе дымовых газов из трубы $H_g = \frac{w^2}{2V} = \frac{\rho_g w^2}{2}$ (w — скорость дымовых газов на выходе, м/с). В расчете диаметр устья трубы принимают равным $(1/20 \div 1/30) h_{тр}$.

Решите следующие задачи.

Задача 34. Слойная топка удельной тепловой мощностью $0,8 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ имеет площадь зеркала колосниковой решетки 2 м^2 . Определить часовой расход топлива топкой, если $Q_{н}^p = 25 \text{ МДж/кг}$.

Ответ: 230,4 кг/ч.

Задача 35. Паропроизводительность котла $D = 1,12$ кг/с при давлении сухого пара 1,4 МПа и температуре питательной воды 85°C , к.п.д. котла 77,4%. Определить часовой расход топлива топкой котельного агрегата, если $Q_p = 25$ МДж/кг.

Ответ: 392,5 кг/ч.

Задача 36. Газовое сопротивление котельной установки 115 Па. Определить высоту дымовой трубы и диаметр устья, если температура наружного воздуха 10°C , средняя температура газов в трубе 200°C , а барометрическое давление 99 кПа.

Ответ: 23,86 м; ≈ 1 м.

Практическое задание

В условиях своего хозяйства примите участие в подготовке к работе и пуске системы отопления. Для этого:

1. Ознакомьтесь с устройством котельной и схемой присоединения к ней потребителей.

2. Проверьте, заполнена ли водой система отопления, открыв вентиль на сигнальной трубе, выведенной от расширительного бака.

3. Проверьте исправность арматуры, действие циркуляционных насосов (пустив на некоторое время при закрытой задвижке), работу вентиляторов (при закрытом шибере на выходе из вентилятора), наличие тяги (при отсутствии тяги прогреть боров и дымовую трубу разведением костра).

4. Плотнo закройте и провентилируйте топку, газоходы, котел и боров, открыв шибера, загрузочные и поддувальные дверки на 8...10 минут.

5. Пустите в действие циркуляционный насос, откройте задвижки на всасывающей нагнетательной линии насосов (на отводной линии задвижку закрыть).

6. Растопите топку и пустите котел в работу.

7. Отрегулируйте горение в топке путем уменьшения или увеличения подачи топлива и воздуха и следите по термометру за температурой воды на выходе из котла (установить температуру воды в зависимости от наружной температуры воздуха).

8. При обнаружении неисправности остановите котел и устраните ее.

9. Ознакомьтесь с инструкцией остановки котла после отопительного сезона.

Составьте отчет о проделанной работе; начертите схему котельной и сделайте ее описание.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Из каких элементов состоит котельная установка?
2. На основании теплового баланса котельной установки укажите возможные пути повышения КПД установки.
3. Какие существуют способы сжигания топлива в топках? Их достоинства и недостатки.
4. Какие преимущества имеют экранные котлы и что такое топочные экраны?
5. Назовите дополнительные поверхности нагрева котлов и укажите их места в котельном агрегате.
6. Что называется арматурой и гарнитурой котлов?
7. До какой температуры нагревают воду в некипящих экономайзерах?

Тема 4.6. Теплогенераторы (2 часа)

ПРОГРАММА

Назначение и устройство теплогенераторов. Типы теплогенераторов и их характеристики. Топливная система. Устройство для сжигания жидкого и газообразного топлива. Рабочий процесс и регулирование режима. Тепловой баланс и к. п. д. Автоматическое управление теплогенераторами. Характерные неисправности и способы их устранения.

Водонагреватели. Типы газовых водонагревателей и области применения. Автоматическое регулирование температуры воды.

Техника безопасности и пожарная безопасность.

Лабораторная работа № 2

Выявление и устранение неисправностей теплогенераторов. Регулирование режима работы теплогенератора, водонагревателя (по заданию). Рассмотрение устройства автоматизированного управления работой теплогенератора.

ЛИТЕРАТУРА

Л-8, с. 89...91.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Теплогенераторы широко используются в сельском хозяйстве для воздушного отопления и вентиляции животноводче-

ских, птицеводческих, производственных помещений и теплиц.

Применение теплогенераторов сопряжено с возможными взрывами топливных паров. Изучая устройство теплогенераторов, уделите внимание правилам их эксплуатации и условиям безопасности.

Практическое задание

1. Ознакомьтесь с заводской инструкцией по устройству и эксплуатации теплогенератора. При отсутствии инструкции можно использовать справочники по теплоснабжению сельскохозяйственных предприятий (Л-8 и др.).

2. Изучите: устройство теплогенератора и его отдельные узлы (теплообменник, форсунку, систему питания топливом, станцию управления и др.);

— порядок пуска теплогенератора в работу и осуществите пуск;

— последовательность включения (выключения) отдельных узлов теплогенератора при пуске (остановке) и запустите его в автоматический режим работы.

3. Проведите регулировки теплогенератора: подачу главного вентилятора; количества воздуха, поступающего в форсунку.

4. Примите участие в выявлении и устранении неисправностей теплогенератора.

5. Ознакомьтесь с требованиями безопасности при обслуживании теплогенератора.

Составьте отчет о проделанной работе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что предполагает система управления в режиме «отопление автоматическое»?

2. На каком топливе работают теплогенераторы?

3. Каковы правила запуска теплогенератора после кратковременной остановки?

4. Какие правила необходимо соблюдать при остановке теплогенератора?

РАЗДЕЛ 5. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Тема 5.1. Отопление и горячее водоснабжение жилых и производственных помещений (2 часа)

ПРОГРАММА

Назначение и классификация систем отопления. Принцип расчета тепловых потерь помещением. Водяное отопление с естественной и насосной циркуляцией. Нагревательные приборы систем отопления, типы и характеристики. Принцип расчета площади поверхности нагрева и подбор нагревательных приборов. Эксплуатация систем отопления.

Горячее водоснабжение. Классификация систем и принципиальные схемы. Расход теплоты на горячее водоснабжение, нормы теплоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

Л-8, с. 257...279, 296...303; Л-8, с. 101...208, 218...224; Л-9, с. 53...72.

Тема 5.2. Вентиляция животноводческих помещений (2 часа)

ПРОГРАММА

Назначение и классификация систем вентиляции. Вредные выделения и предельно допустимые концентрации их в воздухе различных помещений. Расчет воздухообмена по различным видам вредных выделений. Способы определения температуры приточного воздуха и количество теплоты для его нагрева. Классификация и устройство вентиляторов.

Калориферы, назначение и типы вентиляторов для систем вентиляции. Эксплуатация систем вентиляции.

Лабораторная работа № 3

Выполнение основных регулировок режима работы отопительно-вентиляционного агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

Л-3, с. 80...296; Л-8, с. 208...210; Л-9, с. 117...142.

Тема 5.3. Теплоснабжение сооружений защищенного грунта (2 часа)

ПРОГРАММА

Типы культивационных сооружений их конструкции и характеристики. Различные виды обогрева: солнечный, биологический, технический. Виды технического обогрева: водяной, воздушный, газовый. Тепловой баланс культивационного сооружения. Расчет отопления и вентиляции теплиц. Регулирование температуры и влажности воздуха и почвы в теплицах. Использование вторичных энергоресурсов для теплоснабжения сооружений защищенного грунта. Эксплуатация систем отопления и вентиляции теплиц.

ЛИТЕРАТУРА

Л-3, с. 303...326; Л-9, с. 174...187.

Тема 5.4. Сушка сельскохозяйственной продукции (2 часа)

ПРОГРАММА

Понятие и значение сушки. Естественная и искусственная сушка материалов. Способы искусственной сушки. Характеристика влажного материала и агентов сушки. Механизм и кинетика процесса сушки. Тепловые режимы сушки. Классификация сушильных установок. Принципиальные схемы сушильных установок. Материальный и тепловой баланс конвективной сушилки. Расход сушильного агента. Расход теплоты на сушку. Теоретический и действительный процессы сушки в H_d -диаграмме. Расчет процесса охлаждения материала.

Использование солнечной энергии для сушки.

Особенности эксплуатации сушильных установок. Техника безопасности и пожарная безопасность.

Лабораторная работа № 4

Определение режима искусственной сушки сена в тюках при заданной влажности и массе сена. Подбор вентиляционной установки.

ЛИТЕРАТУРА

Л3, с. 227...344.

Тема 5.5. Применение холода в сельском хозяйстве (2 часа)

ПРОГРАММА

Потребители холода в сельском хозяйстве, физическая сущность и способы охлаждения. Основы получения искусственного холода. Классификация холодильных установок. Холодильные агенты, основные свойства и требования, предъявляемые к ним. Схема компрессионной холодильной установки. Действительная, стандартная и нормальная холодильная мощность установки. Пересчет холодильной мощности с одних температурных условий на другие.

Перспективы использования холодильных установок в сельском хозяйстве.

Лабораторная работа № 5

Испытание компрессионной холодильной установки. Выполнение регулировочных работ на заданный режим.

ЛИТЕРАТУРА

Л-1, с. 236...240. Л-2, с. 385...390. Л-3, с. 379...396.

Тема 5.6. Теплотехнические основы хранения сельскохозяйственной продукции (4 часа)

ПРОГРАММА

Народнохозяйственное значение организации хранения и переработки сельскохозяйственной продукции на месте ее производства. Классификация колхозных и совхозных предприятий по хранению фруктов, овощей и продуктов животноводства. Оптимальные параметры микроклимата в хранилищах для различной сельскохозяйственной продукции. Подготовка продукции к хранению. Способы создания оптимальных условий хранения и состава газовой среды. Системы отопления и вентиляции овощехранилищ. Тепловые схемы и компоновка теплосилового и холодильного оборудования фруктохранилищ. Автоматическое регулирование микроклимата в хранилищах.

ЛИТЕРАТУРА

Л-6.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении раздела 5 необходимо обратить особое внимание на то, что в решениях XXVI съезда КПСС и майского (1982 г.) Пленума ЦК КПСС определены основные рубежи развития сельского хозяйства на период до 1990 г., намечены пути и меры по обеспечению продовольственной программы и необходимость создания условий, способствующих росту и интенсификации сельскохозяйственного производства.

Одним из важнейших факторов повышения продуктивности и сохранности животных является улучшение условий содержания скота. Системы теплоснабжения и вентиляции служат для создания в помещениях здания или сооружения заданных климатических условий.

На современном этапе развития животноводства без создания оптимального микроклимата трудно получить высокую продуктивность животных и птицы даже при условии полноценных рационов кормления и хорошо налаженной селекционной работы.

Перевод сельскохозяйственного производства на промышленную основу создает наиболее благоприятные условия для внедрения электроэнергии и передовой технологии, позволяет организовать строительство центральных котельных, способных обеспечить тепловой энергией весь комплекс производственных, общественных и культурно-бытовых помещений. Количество местных тепловых установок с чрезвычайно низким КПД (ниже 60%) и высокими затратами труда на их обслуживание значительно уменьшится.

При изучении основ холодильной техники обратите внимание, что холод все больше и больше находит применение в сельском хозяйстве. Отдаленность некоторых хозяйств от непосредственных потребителей их продукции делает насущной задачу сохранения качества сельскохозяйственных продуктов. Холод необходим сельскохозяйственным предприятиям, ведущим прудовое хозяйство, для сохранения, переработки и транспортировки рыбы. Он используется также в быту и особенно необходим летом для обеспечения качественного питания работников на полевом стане.

Рассмотрите некоторые задачи на применение теплоты в условиях производства.

Пример 21. Определить теплотери помещения фермы КРС имеющего объем по наружному обмеру 12480 м³, внутреннюю температуру 10°C; наружная температура — 24°C.

Решение. Ориентировочное значение теплотери здания рассчитывают через удельную отопительную характеристику здания $q_{от}$, $\frac{Вт}{м^3К}$ по формуле

$$Q = q_{от} V (t_{в} - t_{н}).$$

$$Q = 0,174 \cdot 12480 (10 + 24) = 74000 \text{ Вт} = 74 \text{ кВт}$$

Пример 22. Определить воздухообмен в коровнике на 400 голов молочного скота по выделениям CO₂, если предельно допустимая концентрация CO₂ в воздухе помещения 2,5 л/м³, а концентрация в приточном воздухе 0,2 л/м³.

Решение. Воздухообмен в помещении определяют по формуле

$$Z = \frac{A}{C_2 - C_1}$$

где A — количество вредных веществ, выделяющихся в помещении, л/ч;

C₁ — концентрация вредных веществ в приточном воздухе, л/м³;

C₂ — предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе помещения, л/м³.

По таблице V. 2 в Л-9 C₂ = 2,5 л/м³. C₁ принимают равным 0,2 л/м³.

$$A = a \cdot n,$$

где a — количество CO₂, выделяемое одним животным;

n — количество животных в помещении.

Тогда, если a = 100 л/ч (см. табл. 29 в Л-3), то

$$A = 100 \cdot 400 = 4 \cdot 10^4 \text{ л/ч.}$$

Окончательно воздухообмен будет равен

$$L = \frac{4 \cdot 10^4}{2,5 - 0,2} = 1,74 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Пример 23. Определить необходимое количество влажного воздуха для сушки производительно G₁ = 1000 кг/ч, если материал поступает в нее с относительной влажностью W₀₁ = 25% и выходит с относительной влажностью W₀₂ = 15%. Влагосодержание воздуха, поступающего в сушилку,

$$d_1 = 0,01 \frac{\text{кг}}{\text{кг. сух. возд.}}$$

и выходящего из сушилки

$$d_2 = 0,06 \frac{\text{кг}}{\text{кг. сух. возд.}}$$

Решение. Количество материала, выходящего из сушилки, определяем по формуле

$$G_2 = \frac{G_1(100 - W_{01})}{100 - W_{02}} = 1000 \frac{100 - 25}{100 - 15} = 882,3 \text{ кг/ч.}$$

Количество испарившейся влаги будет

$$W = \frac{G_1 W_{01} - G_2 W_{02}}{100} \approx \frac{1000 \cdot 25 - 882,3 \cdot 15}{100} = 117,7 \text{ кг/ч.}$$

Задача 37. Определить потери теплоты через кирпичную стенку длиной 25 м и высотой 2,75 м, если температура внутри помещения 18°C, а наружная — 22°C. Коэффициент теплопередачи принять равным 1,8 Вт/(м·К).

Ответ: 4,95 кВт.

Задача 38. Определить потребное количество теплоты для отопления одноэтажного жилого дома площадью 6×10 м, высотой 3 м, если удельная тепловая характеристика его $q_{07} = 0,59 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)}$, расчетная наружная температура — 22°C.

Ответ: 4,25 кВт.

Задача 39. Определить число секций чугунных радиаторов М-140-АО по условиям задачи 38. Коэффициент теплопередачи примите равным 10,1 Вт/м²·К.

Для решения задачи используйте разобранный ранее пример 19 (см. с. 33).

Ответ: 3 радиатора по 9 секций.

Задача 40. Определить количество высушенного материала и количество удаляемой за час влаги, если в сушилку поступает сырого материала $G_1 = 1000 \text{ кг/ч}$ с относительной влажностью $W_{01} = 20\%$, а относительная влажность материала после сушки $W_{02} = 15\%$.

Ответ: $G_2 = 941 \text{ кг/ч}$, $W = 59 \text{ кг/ч}$.

Практическое задание

Выполните в производственных условиях предусмотренные программой (к теме 5.4) работы и составьте отчет. Наиболее трудоемким является подбор вентиляционной установки.

Вентиляторы подбирают с учетом области их применения по специальным таблицам и графикам или по таблицам и характеристикам. Характеристики вентиляторов составлены

для стандартного воздуха ($T = 293 \text{ К}$; $\varphi = 50\%$; $B = 101325 \text{ Па}$; $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$).

В реальных условиях вентиляторы и воздуховоды транспортируют нестандартный воздух, поэтому в сопротивление сети воздуховодов H_c , развиваемый вентилятором напор H , подачу и расходуемую мощность необходимо вносить соответствующие поправки.

Рассмотрим конкретный пример. Система воздушного отопления, работающая по схеме с полной рециркуляцией (см. рис. 9), должна обеспечивать воздухообмен $L = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $t_{н1} = 20^\circ\text{С}$ и среднем барометрическом давлении $B = 97 \text{ кПа}$. Температура подогретого воздуха в калорифере $t_{н2} = 50^\circ\text{С}$.

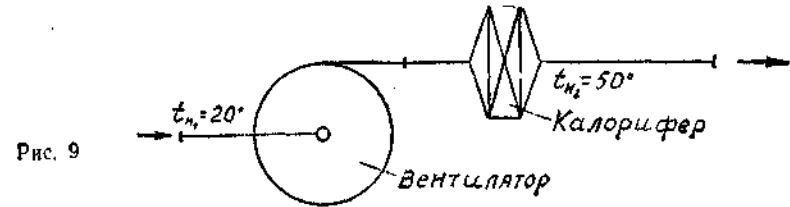


Рис. 9

Решение 1. Сопротивление системы определяют по таблицам для стандартного воздуха:

До калорифера $H_{c1} = 98 \text{ Па}$.

Калорифере $H_{ck} = 49 \text{ Па}$.

После калорифера $H_{c2} = 441 \text{ Па}$.

2. Действительное сопротивление воздуховодов определяем по уравнению

$$H_c = H_c \cdot \frac{101325}{B} \cdot \frac{t_{н1} + 273}{293} + H_{ck} \cdot \frac{101325}{B} \cdot \frac{t_{н2} + 273}{293}$$

Тогда

$$H_c = 98 \cdot \frac{101325}{97 \cdot 10^3} \cdot \frac{20 + 273}{293} + 441 \cdot \frac{101325}{97 \cdot 10^3} \cdot \frac{50 + 273}{293} = 102,5 + 520 = 622,5 \text{ кПа.}$$

Суммарное действительное сопротивление системы равно

$$H_c = 622,5 + 49 = 671,5 \text{ кПа.}$$

3. Необходимую действительную подачу определим по уравнению

$$L_g = L \frac{101325}{B} = 10000 \frac{101325}{97 \cdot 10^3} = 10400 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. Приведенное давление для подбора вентилятора находим по уравнению

$$H_1 = H_c \frac{101325}{B} = 671,5 \cdot \frac{101325}{97 \cdot 10^3} = 700 \text{ кПа}.$$

По таблицам технических характеристик (см. Л-8) выбираем вентилятор, обеспечивающий необходимое давление и подачу:

Ц4-70 № 7. При подаче $L_g = 10400 \text{ м}^3/\text{ч}$ и частоте вращения $950 \frac{1}{\text{мин}}$ вентилятор развивает давление 705 кПа, при КПД 0,78 (η).

Ц 13—50 № 6. При $L_g = 10400 \text{ м}^3/\text{ч}$, $n = 735 \text{ мин}^{-1}$ вентилятор развивает давление 745 кПа при КПД 0,58.

По экономическим соображениям следует отдать предпочтение вентилятору марки Ц 4—70.

5. Для выбора электродвигателя определим расходуемую мощность на валу вентилятора:

$$P_s = \frac{L_g \cdot H}{3600 \cdot \eta} = \frac{10400 \cdot 705}{3600 \cdot 0,78} = 2620 \text{ Вт} = 2,62 \text{ кВт}.$$

Вводя коэффициент запаса мощности K_3 , находим

$$P_{\text{уст}} = K_3 \cdot P_s = 1,15 \cdot 2,62 = 3 \text{ кВт}.$$

По расходуемой мощности и частоте вращения подходит электродвигатель АО52-6 мощностью 4,5 кВт и частотой вращения 950 мин^{-1} .

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Каковы перспективы улучшения теплоснабжения в сельском хозяйстве в свете решений XXVI съезда КПСС и майского (1982 г.) Пленума ЦК КПСС?

2. Какое значение имеет создание микроклимата в животноводческих помещениях, теплицах и овощехранилищах?

3. В чем состоит смысл расчета вентиляции по вредным выделениям?

Допустимые концентрации вредных выделений в воздухе различных помещений.

4. Основные способы сушки материала и их характеристики.

5. Схема конвективной сушилки для зерна.

6. Каким требованиям должны отвечать холодильные агенты?

7. Схема простейшей компрессорной холодильной установки.

8. Оптимальные параметры микроклимата в хранилищах различной сельскохозяйственной продукции.

9. Какие правила безопасности необходимо соблюдать при обслуживании холодильных установок?

Ответы на вопросы программированного самоконтроля (Карточки 1...5)

Номер вопроса в карточке	Номер правильного ответа по карточкам				
	1	2	3	4	5
1	3	2	3	3	3
2	2	3	3	4	2
3	3	3	2	3	2
4	3	1	2	4	4
5	2	2	3	—	—
6	—	—	1	—	—
7	—	—	2	—	—
8	—	—	4	—	—
9	—	—	2	—	—

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольную работу выполняйте после изучения раздела (темы) программы, ответов на вопросы для самопроверки и решения предложенных задач.

Прочитайте еще раз общие методические указания (с. 3). Работу выполняйте в отдельной тетради. На страницах оставляйте поля в 30—40 мм.

Графический материал оформляйте в карандаше с применением чертежных принадлежностей и по правилам ГОСТов ЕСКД.

Решение каждой задачи следует начинать с новой страницы.

В конце работы необходимо поместить перечень использованной литературы с указанием авторов и года издания. Для рецензии преподавателя оставьте в тетради несколько чистых страниц.

Приступая к решению контрольных задач, внимательно прочитайте и перепишите в тетрадь текст задачи, затем, пользуясь условными буквенными обозначениями, выпишите, что дано и что требуется определить.

Все решения обязательно сопровождайте кратким, пояснительным текстом, в котором должны быть приведены план решения задачи и расчетные формулы. При этом делайте ссылку на литературу, откуда взяты числовые значения той или иной величины.

Решать задачи необходимо в единицах размерности СИ и в развернутом виде, без сокращения промежуточных действий. Если величина задана в единицах другой системы, то в условии поместите и соответствующий пересчет.

Например:

$$D = 82 \text{ мм.}$$

$$S = 110 \text{ мм.}$$

$$n = 2200 \text{ об/мин.}$$

$$p_1 = 5,3 \text{ бар.}$$

$$D = 82 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$S = 110 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$n = 2200/60 \text{ с}^{-1} = 36,7 \text{ с}^{-1}.$$

$$p_1 = 5,3 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Для полученных в процессе решения задачи величин (промежуточных или конечных) проставляйте размерности.

В тех случаях, когда по ходу решения задачи делаете ссылки на таблицы и графики, то указывайте источник, страницу и номер таблицы или графика. Например: (3, с. 28) или (4, табл. XX1).

В заключении решения каждой задачи необходимо сделать анализ полученных результатов и выводы по результатам решения.

Ответы на вопросы контрольной работы выполняйте следующим образом. Запишите текст вопроса, найдите в учебнике материал к ответу, наметьте план ответа. Он должен быть по возможности кратким и четким. Если используется математическая формула, то поясните ее содержание. Основные положения ответа должны быть проиллюстрированы схемами установок, графиками, таблицами.

Не рекомендуется переписывать текст учебников, за исключением точных формулировок основных законов и положений.

Используйте приведенные ниже рекомендации к решению задач контрольной работы.

Задача 1. Читаем и записываем условие задачи своего варианта в тетрадь. Обращаем внимание, что задано, в каких единицах и что требуется определить.

1. В качестве рабочего тела задано M кг азота.

2. В процессе совершается изобарное расширение азота ($p_1 = p_2 = p = \text{const}$).

3. По условию задачи известны давление (p МПа), начальная и конечная температуры (t_1, t_2 в °С) азота.

4. Требуется определить конечный объем азота V_2 , совершенную им работу L и подведенную теплоту Q .

Перепишем условие в сокращенном виде:

$$M = 0,55 \text{ кг}$$

$$p_1 = 0,3 \text{ МПа}$$

$$t_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 400^\circ\text{C}$$

$$M = 0,55 \text{ кг}$$

$$p_1 = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$T_1 = 373 \text{ К}$$

$$T_2 = 673 \text{ К}$$

Из приложения 2:

$$R = 295,3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$$

Определить: V_2 ; L ; Q .

Решение задачи следует начинать с изображения процесса $p = \text{const}$ в координатах pV (см. рис. 10).

1. Для определения конечного объема M кг азота выписываем уравнение состояния идеального газа

$$pV_2 = MRT_2.$$

Решая его относительно V_2 и подставляя числовые значения величин, входящих в формулу, получим искомую величину.

2. Для определения работы газа при расширении вспомним, что работа 1 кг газа в процессе $p = \text{const}$ численно равна площади диаграммы под линией процесса, то есть

$$l = \text{пл. } 1-2-3-5.$$

Следовательно, можно записать $l = p(V_2 - V_1)$, а $L_{1-2} = Ml$.

3. Теплоту, подведенную к газу в изобарном процессе, определяют через среднюю изобарную удельную теплоемкость данного газа \bar{C}_p , его массу M и разность температур начала и конца процесса $T_2 - T_1$.

Значение \bar{C}_p можно определить и по специальным таблицам (см. в Л-2 табл. III) и по интерполяционным формулам.

Для N_2 интерполяционная формула имеет вид:

$$\bar{C} = 1,0258 + 0,00008382 (t_1 + t_2),$$

где \bar{C}_p выразится в кДж/(кг·К).

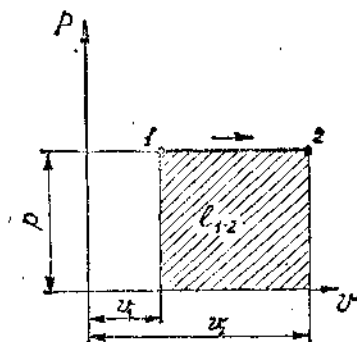


Рис 10

Задача 11. Дано: Рабочее тело — влажный воздух;

$$\begin{aligned} \varphi &= 40\%; \\ t_1 &= 10^\circ\text{C}; \\ t_2 &= 70^\circ\text{C}; \\ t &= 30^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Определить: d_2 ; m ; Q .

1. Решение задачи начнем с выкопировки из Hd-диаграммы влажного воздуха рис. 11 с заданными параметрами.

2. Определим на диаграмме Hd необходимые точки 1, 2 и 3.

Точка 1 будет лежать на пересечении изотермы $t_1 = 10^\circ\text{C}$ и линии относительной влажности $\varphi = 40\%$.

Для этой точки начальное влагосодержание воздуха определим на оси абсцисс, оно будет d_1 г/кг.

Во время подогрева воздуха его влагосодержание d_1 не меняется.

Проводя вертикаль из точки 1 до пересечения с изотермой $t_2 = 70^\circ\text{C}$, определяем точку 2.

3. Процесс сушки протекает при $H = \text{const}$. Тогда, перемещаясь по линии H_2 до пересечения с изотермой $t = 30^\circ\text{C}$, найдем точку 3 для которой конечное влагосодержание (на оси абсцисс) будет d_2 г/кг.

Зная d_1 и d_2 , определим, что 1 кг сухого воздуха отнимает влаги $d_2 - d_1$, г/кг.

Для испарения 1 кг влаги в таком случае потребуется сухого воздуха $m = \frac{1000}{d_2 - d_1}$,

с теплотой $Q = m (H_2 - H_1)$.

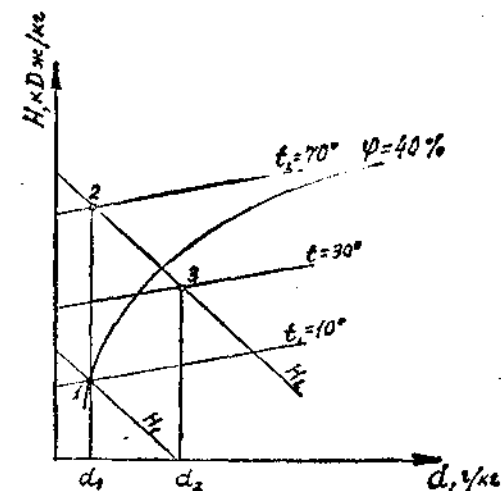


Рис 11

Задача 21. Дано:

$$\begin{aligned} \delta &= 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м.} \\ \lambda &= 0,75 \text{ Вт/(м·К)}. \\ t_n &= 10^\circ\text{C}. \\ \alpha_n &= 8,7 \text{ Вт/(м·К)}. \\ t_n &= -20^\circ\text{C}. \\ \alpha_n &= 11,8 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \end{aligned}$$

Определить: q ; t_{c1} ; t_{c2} .

Решение. 1. В данной задаче имеет место сложный теплообмен (см. рис. 12), называемый теплопередачей. Следовательно для определения удельных теплот потерь через стенку надо применить уравнение поверхностной плотности теплового потока

$$q = K (t_n - t_n),$$

где K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

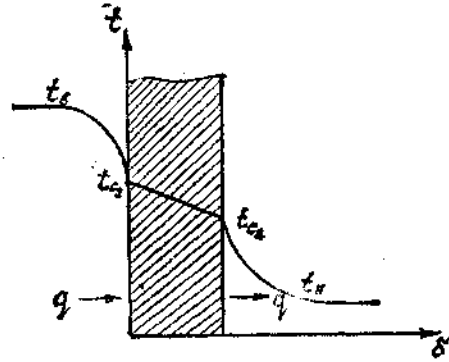


Рис. 12

2. Коэффициент теплопередачи определяют по формуле

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}}$$

3. После нахождения q температуры на внутренней и наружной поверхностях стенки можно определить, используя уравнения теплоотдачи

$q = \alpha_n (t_n - t_{c1})$ и $q = \alpha_n (t_{c2} - t_n)$, решив их относительно t_{c1} и t_{c2} .

Задача 31. Дано:

	В единицах СИ
$D_n = 35$ т/ч	$D_n = \frac{35}{3,6} = 9,7$ кг/с
$P_n = 4$ МПа	$P_n = 4 \cdot 10^6$ Па
$t_{nn} = 440^\circ\text{C}$	$t_{nn} = 440^\circ\text{C}$
$Q_n^r = 20$ МДж/кг	$Q_n^r = 20 \cdot 10^6$ Дж/кг
$V_n = 5,5$ т/ч	$V_n = \frac{5,5}{3,6} = 1,53$ кг/с
$t_{nb} = 145^\circ\text{C}$	$t_{nb} = 145^\circ\text{C}$

Определить: $\eta_{ка}$; $V_n^{ут}$.

1. Сделаем выкопировку из h_s -диаграммы (см. рис. 13). Точку 1 найдем на пересечении изобары $P=4$ МПа с изотер-

мой $t_{nn} = 440^\circ\text{C}$. Против точки 1 на оси ординат будем иметь значение h_{nn} (кДж/кг).

2. Энтальпию питательной воды можно определить двумя способами:

а) по таблице значений параметров насыщенного водяного пара (см. прил. 6) в строке против $t=145^\circ\text{C}$ находите значение $h_{n1} = h'$;

б) по формуле $h_{n1} = C_p t_{nb}$.

где $C_p = 4,19$ кДж/кг.

3. Вычитая из энтальпии пара энтальпию питательной воды, определим количество теплоты, которое необходимо затратить для того, чтобы из 1 кг воды с t_{nb} получить 1 кг перегретого пара с t_{nn} .

Зная паропроизводительность котла, можно определить полезный расход теплоты требуемой для получения D (т/ч) пара

$$Q_{поп} = D \cdot (h_{nn} - h_{n1}).$$

4. Общую затрату теплоты (с учетом всех потерь) на получение D пара определим через теплоту сгорания топлива Q_n^r и часовой расход топлива V_n (т/ч):

$$Q_{общ} = Q_n^r V_n.$$

5. Окончательно КПД котельного агрегата определится из отношения

$$\eta_{ка} = Q_{поп} / Q_{общ},$$

где $Q_{поп}$ и $Q_{общ}$ выражены в одних и тех же единицах (Дж/с или кДж/с).

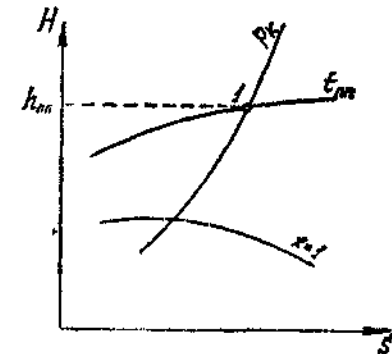


Рис. 13

5. Расход условного топлива получим, решив относительно V уравнение

$$P_n Q_n^2 = B_n^2 \cdot 29,3.$$

Задача 41. Дано:

$Q = 2,4$ л/с
 $h = 15$ м
 $l = 850$ м
 $d = 75$ мм
 $V = 0,54$ м/с
 $\lambda = 0,02$
 $\xi = 1,1$
 $\eta_n = 0,6$

В единицах С И
 $Q = 2,4 \cdot 10^{-3}$ м³/с
 $h = 15$ м
 $l = 850$ м
 $d = 75 \cdot 10^{-3}$ м
 $V = 0,54$ м/с

Определить: H и P_n

1. Из анализа условия задачи следует, что напор насоса должен обеспечить подъем воды на высоту h и преодолеть сопротивление трубопровода продвижению жидкости на длине l (м), то есть

$$H = h + h_w.$$

2. Потери напора на гидравлические сопротивления складываются из потерь напора на трение h_{tr} и потерь напора от местных сопротивлений h_m :

$$h_w = h_{tr} + h_m.$$

Потери напора на трение определяют по формуле Дарси-Вейсбаха.

$$h_{tr} = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}.$$

Местные сопротивления в задаче представлены двумя поворотами на общий угол 90°. Их определяют по формуле Вейсбаха

$$h_m = 2\xi V^2/2g.$$

Тогда $h_w = V^2/2g (\lambda l/d + 2\xi)$.

3. Необходимый напор насоса:

$$H = h + V^2/2g (\lambda l/d + 2\xi).$$

4. Потребляемая мощность насоса:

$$P_n = \rho g Q H \eta_n^{-1} \cdot 10^{-3},$$

где:

P_n , кВт; Q , м³/с; $\rho = 10^3$ кг/м³; $g = 9,81$ м/с².

Таблица распределения задач и вопросов по вариантам контрольной работы

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,11,21, 31,41,51, 96	2,12,22, 32,42,52, 97	3,13,23, 33,43,53, 98	4,14,24, 34,44,54, 99	5,15,25, 35,45,55, 100	6,16,26, 36,46,56, 101	7,17,27, 37,47,57, 102	8,18,28, 38,48,58, 103	9,19,29, 39,49,59, 104	10,30, 40,50,60, 105
1	2,13,24, 35,42,51, 104	3,14,25, 36,43,52, 103	4,15,26, 37,44,53, 102	5,16,27, 38,45,54, 101	6,17,28, 39,46,55, 100	7,18,29, 40,47,56, 99	8,19,30, 41,48,57, 98	9,20,21, 42,49,58, 97	10,21, 43,50,69, 96	11,22, 44,70, 95
2	3,15,27, 39,43,71, 94	4,16,28, 40,44,72, 93	5,17,29, 41,45,73, 92	6,18,30, 42,46,74, 91	7,19,21, 43,47,75, 90	8,20,22, 44,48,51, 89	9,21,23, 45,49,52, 88	10,22,24, 46,50,53, 87	11,25, 47,51,54, 86	12,26, 48,52, 85
3	4,17,30, 38,44,56, 81	5,18,21, 39,45,57, 82	6,19,22, 40,46,58, 83	7,20,23, 41,47,59, 84	8,11,24, 42,48,60, 85	9,12,25, 43,49,61, 86	10,13,26, 44,50,62, 87	11,14,27, 45,51,63, 88	12,15,28, 46,52,64, 89	13,16,29, 47,53,65, 90
4	5,19,26, 37,43,66, 91	6,20,27, 38,44,67, 92	7,11,28, 39,47,68, 93	8,12,29, 40,48,69, 94	9,13,30, 41,49,70, 95	10,14,21, 42,50,71, 96	11,15,22, 43,51,72, 97	12,16,23, 44,52,73, 98	13,17,24, 45,53,74, 99	14,18,25, 46,54,75, 100
5	6,12,23, 38,46,76, 101	7,13,24, 39,47,77, 102	8,14,25, 40,48,78, 103	9,15,26, 41,49,79, 104	10,16,27, 42,50,80, 105	11,17,28, 43,51,82, 106	12,18,29, 44,52,85, 107	13,19,30, 45,53,88, 108	14,20,21, 46,54,91, 109	15,11,22, 47,55,94, 110
6	7,14,29, 32,47,51, 86	8,15,30, 33,48,52, 87	9,16,21, 34,49,53, 88	10,17,22, 35,50,54, 89	11,18,23, 36,51,55, 90	12,19,24, 37,52,56, 91	13,20,25, 38,53,57, 92	14,21,26, 39,54,58, 93	15,22,27, 40,55,59, 94	16,23,28, 41,56,60, 95
7	8,16,22, 34,48,66, 96	9,17,23, 35,49,67, 97	10,18,24, 36,50,68, 98	11,19,25, 37,51,69, 99	12,20,26, 38,52,70, 100	13,21,27, 39,53,71, 101	14,22,28, 40,54,72, 102	15,23,29, 41,55,73, 103	16,24,30, 42,56,74, 104	17,15,21, 43,57,75, 105
8	9,18,25, 36,49,51, 76	10,19,26, 37,50,52, 77	11,20,27, 38,51,53, 78	12,21,28, 39,52,54, 79	13,22,29, 40,53,55, 80	14,23,30, 41,54,56, 81	15,24,31, 42,55,57, 82	16,25,32, 43,56,58, 83	17,26,33, 44,57,59, 84	18,27,34, 45,60, 85
9	10,20,28, 40,50,61, 86	11,11,29, 31,41,62, 87	12,12,30, 32,42,63, 88	13,13,21, 33,43,64, 89	14,14,22, 34,44,65, 90	15,15,23, 35,45,66, 91	16,16,24, 36,46,67, 92	17,17,25, 37,47,68, 93	18,18,26, 38,48,69, 94	19,19,27, 39,49,70, 95

**Задачи контрольной работы
(1...50)**

Задачи 1...10. Азот массой M кг расширяется по изобаре при абсолютном давлении p МПа так, что температура его повышается от t_1 до t_2 °С.

Найти конечный объем азота, совершенную им работу и подведенную теплоту.

Данные к задачам 1...10 (цифры в скобках не брать):

Величина	№ задач									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M , кг	0,85 (0,55)	0,85	1,2	0,95	0,75	0,50	0,45	0,55	0,85	0,95
p , МПа	0,60 (0,30)	0,40	0,35	0,45	0,50	0,55	0,40	0,35	0,55	0,60
t_1 , °С	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t_2 , °С	400 (600)	300	500	400	300	500	400	300	500	600

Задачи 11...20. В сушилку поступает воздух с относительной влажностью φ , подогретый от t_1 °С до t_2 °С.

При выходе из сушилки воздух имеет температуру t °С.

Определить, пользуясь диаграммой h_d , влагосодержание воздуха, расход воздуха и потребное количество теплоты на 1 кг испарившейся влаги в идеальной сушильной установке.

Данные к задачам 11...20 (цифры в скобках не брать):

Величина	№ задач									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
φ , %	65 (40)	50	45	55	60	65	70	50	55	60
t_1 , °С	17 (10)	12	14	20	18	16	15	16	17	19
t_2 , °С	110 (70)	120	160	100	90	80	130	140	50	135
t , °С	55 (30)	60	85	45	35	40	60	65	25	65

Задачи 21...30. Определить удельные теплотопотери через кирпичную стенку ($\lambda = 0,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$) здания толщиной (δ)

250 мм, если внутренняя температура $t_{вн}$ °С и коэффициент теплоотдачи $\alpha_{вн}$. Наружная температура $t_{нар}$ °С и коэффициент теплоотдачи снаружи $\alpha_{нар}$. Найти также температуры внутренней и наружной поверхностей стенки.

Данные к задачам 21...30 (цифры в скобках не брать):

Величины	№ задач									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$t_{вн}$, °С	17 (10)	12	15	20	18	24	22	19	17	14
$\alpha_{вн}$, Вт/(м²К)	9,0 (8,7)	8,9	8,8	8,9	9,1	9,2	9,3	8,9	8,8	8,7
$t_{нар}$, °С	-27 (-20)	-25	-23	-28	-26	-24	-23	-26	-22	-27
$\alpha_{нар}$, Вт/(м²К)	13,6 (11,7)	11,8	12,1	12,3	12,5	13,2	13,1	14,8	16,2	17,3

Задача 31...40. Определить КПД котельного агрегата паропроизводительностью D при давлении P и температуре пара $t_{пр}$, если заданы следующие величины: теплота сгорания топлива $Q_{в}$, часовой расход топлива B и температура питательной воды $t_{пв}$. Кроме того определить для котельного агрегата часовой расход условного топлива.

Данные к задачам 31...40 (цифры в скобках не брать):

Величины	№ задач									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D_k , т/ч	90 (35)	50	75	75	100	100	640	260	220	220
P_k , МПа	5 (4)	4	4	4	13	10	14	21,5	10	10,1
$t_{пр}$, °С	500 (440)	450	440	450	565	550	575	560	540	570
$Q_{в}^p$, МДж/кг	23 (20)	21	20	25	25	33	25	35	20	29
B , т/ч	8,5 (5,5)	7,6	11,5	12	12,5	9,3	7,3	20	31	22
$t_{пв}$, °С	165 (145)	140	150	145	175	190	220	230	220	230

Задачи 41...50. Насос подает воду в количестве Q на высоту h , общая длина нагнетательной трубы L , а диаметр трубы d . На трубе имеются два поворота на 90° угольником скорость движения воды V . Коэффициент трения по длине λ , коэффициент местного сопротивления $\xi = 1,1$. Определить полный напор насоса H и потребляемую мощность N , если КПД насоса 0,6.

Данные к задачам 41...50 (цифры в скобках не брать):

Величина	№ задач									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Q , л/с	3,5 (2,4)	2,6	6,0	5,0	5,6	3,8	4,0	2,8	4,4	3,0
h , м	18 (15)	17	14	16	15	14	16	17	18	15
L , м	580 (850)	900	750	650	880	500	420	700	420	650
d , мм	90 (75)	80	100	80	100	80	75	80	15	80
v , м/с	0,65 (0,54)	0,49	0,76	0,93	0,71	0,71	0,91	0,52	1,0	0,56
λ	0,022 (0,020)	0,023	0,024	0,023	0,024	0,023	0,020	0,023	0,020	0,023

ВОПРОСЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

51. Что такое техническая термодинамика и на каких законах природы она базируется?
52. Рабочее тело. Параметры, определяющие его состояние.
53. Понятие о газовой смеси. Закон Дальтона. Способы задания состава смеси.
54. Теплоемкость. Теплоемкость газа при v -const и p -const
55. Первый закон термодинамики и его математическое выражение.
56. Второй закон термодинамики и его различные формулировки.
57. Изопроцессы в газах — частные случаи политропного процесса.
58. Процесс парообразования в p - v - и T - s -диаграммах.
59. Истечение паров и газов.
60. Дросселирование паров и газов.

Изображение процесса дросселирования паров в h - s -диаграмме.

61. Идеальный цикл паросиловой установки и его изображение в координатах p - v и T - s .
62. Теплопроводность.
63. Конвективный теплообмен.
64. Структура топливного баланса СССР.
65. Теплообменные аппараты. Основные определения и расчеты.
66. Теплота сгорания топлива. Определение количества воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива.
67. Тепловой баланс и КПД котельного агрегата.
68. Теоретический цикл ДВС со смешанным подводом теплоты.
69. Компрессоры и компрессорные установки. Цикл компрессора в координатах p - v и T - s .
70. Ротационные и центробежные компрессоры.
71. Работа, затраченная на сжатие газов в компрессоре, КПД компрессора.
72. Назначение и классификация систем отопления.
73. Горячее водоснабжение. Классификация систем и принципиальные схемы.
74. Естественная и искусственная сушка материалов. Характеристика влажного материала и агентов сушки.
75. Основные физические свойства влажного воздуха.
76. Определение теплотерь зданиями по удельной тепловой их характеристике. Источники тепловыделения.
77. Материальный баланс сушилки. Расход сушильного агента.
78. Теоретический процесс сушки в h - s -диаграмме.
79. Принципиальные схемы сушильных установок.
80. Типы культивационных сооружений, их конструкции и характеристики.
81. Физические свойства жидкости. Основное уравнение гидростатики.
82. Дайте характеристику ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости. Критерий Рейнольдса.
83. Дайте характеристику потерь на гидравлическое сопротивление (на трение) и от местных сопротивлений.
84. Напишите уравнение Д. Бернулли и объясните смысл каждого его члена.

85. В чем состоит явление гидравлического удара в трубах и какие могут быть меры ликвидации его действия?

86. Исечение жидкости из отверстий и насадок.

87. Схема котельной установки, основное и вспомогательное оборудование котельной установки.

88. Классификация колхозных и совхозных предприятий по хранению фруктов, овощей и продукции животноводства. Оптимальные параметры микроклимата в хранилищах для разной сельскохозяйственной продукции.

89. Котлы водогрейные и паровые малой и средней мощности для отопительных и производственно-отопительных целей.

90. Топки для факельного сжигания жидкого и газообразного топлива. Схемы горения для этих видов топлива.

91. Схема устройства и принцип действия паровых и газовых турбин.

92. Топки для слоевого сжигания топлива. Тепловое напряжение зеркала горения и теплотого объема.

93. Правила эксплуатации котельной установки. Техника безопасности и противопожарные мероприятия.

94. Водонагреватели. Типы газовых водонагревателей области применения. Автоматическое регулирование температуры воды.

95. Устройство и работа поршневого компрессора.

96. Общее устройство и принцип работы паровой компрессионной холодильной установки.

97. Устройство, принцип действия и основные показатели работы центробежных насосов.

98. Сила гидростатического давления жидкости на плоские поверхности. Центр давления.

99. Принцип действия винтового, шестеренчатого и крыльчатого насосов.

100. Назначение и классификация систем вентиляции. Эксплуатация систем вентиляции.

101. Тепловой баланс качественных сооружений. Расчет отопления и вентиляции помещений.

102. Струйные насосы, принцип их работы и область применения.

103. Нагревательные приборы систем отопления, типы и их характеристики.

104. Вязкость жидкости, единицы вязкости, способы определения вязкости.

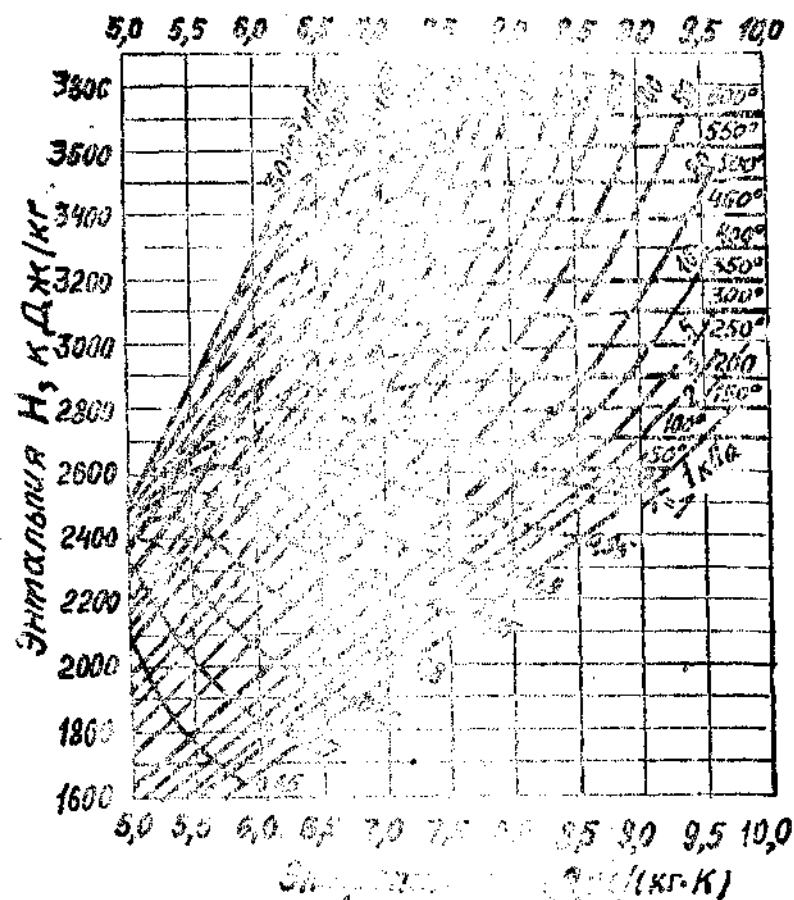
■

105. XXVI съезд КПСС и последующие Пленумы ЦК КПСС о дальнейшем развитии гидро- и теплоэнергетики в народном хозяйстве СССР.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Н, s — диаграмма водяного пара.



Приложение

Молекулярные массы, плотности и объемы киломолей при нормальных условиях и газовые постоянные важнейших газов

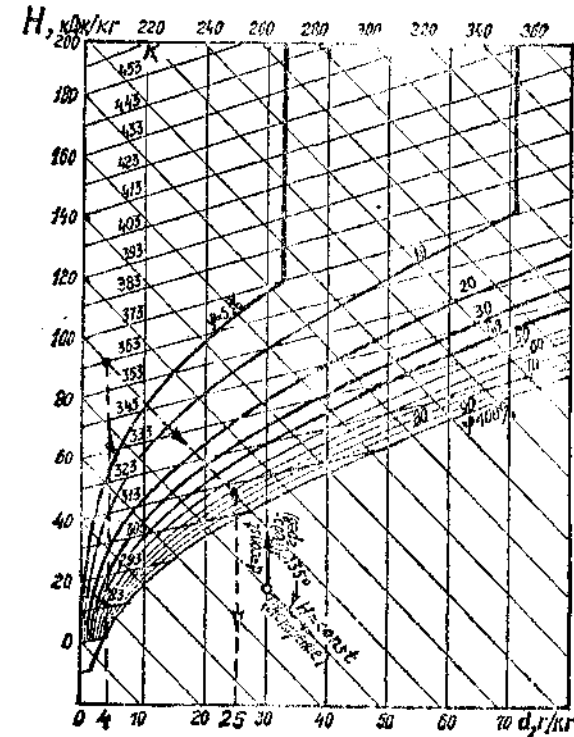
Вещество	Химическое обозначение	Молекулярная масса μ	Плотность ρ , кг/м ³	Объем киломоля ν , м ³ /кг	Газовая постоянная, Дж/кг·К
Воздух	—	28,96	1,293	22,40	287,0
Кислород	O ₂	32,00	1,429	22,39	259,8
Азот	N ₂	28,026	1,251	22,40	296,8
Атмосферный азот ¹	N ₂	28,16	(1,257)	(22,40)	(295,3)
Гелий	He	4,003	0,179	22,42	2078,0
Аргон	Ar	39,994	1,783	22,39	208,2
Водород	H ₂	2,016	0,090	22,43	4124,0
Окись углерода	CO	28,01	1,250	22,40	296,8
Двуокись углерода	CO ₂	44,01	1,977	22,26	188,9
Сернистый газ	SO ₂	64,06	2,926	21,89	129,8
Метан	CH ₄	16,032	0,717	22,39	518,8
Этилен	C ₂ H ₄	28,052	1,251	22,41	296,6
Коксовый газ	—	11,50	0,515	22,33	721,0
Аммиак	NH ₃	17,032	0,771	22,08	488,3
Водяной пар ²	H ₂ O	18,016	(0,804)	(22,40)	(461)

¹ Атмосферный азот — условный газ, состоящий из азота воздуха вместе с двуокисью углерода и редкими газами, содержащимися в воздухе.

² Приведение водяного пара к нормальному состоянию является условным.

Приложение 3

H, d — диаграмма влажности воздуха



Приложение 4

Средняя массовая теплоемкость газов при постоянном давлении
Ср, кДж/(кг·К)

t, °C	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
0	0,9148	1,0304	1,0396	0,8148	1,8594	0,607	1,0036
100	0,9232	1,0316	1,0417	0,8658	1,8728	0,636	1,0061
200	0,9353	1,0346	1,0463	0,9102	1,8937	0,662	1,0115

Продолжение прил. 4

t, °C	O ₂	N ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	Воздух (абсолютно сухой)
800	0,9600	1,0400	1,0538	0,9487	1,9192	0,687	1,0191
400	0,9651	1,0475	1,0634	0,9826	1,9477	0,708	1,0283
500	0,9793	1,0567	1,0748	1,0128	1,9778	0,724	1,0387
600	0,9927	1,0668	1,0861	1,0396	2,0092	0,737	1,0496
700	1,0048	1,0777	1,0978	1,0639	2,0419	0,754	1,0605
800	1,0157	1,0881	1,1091	1,0852	2,0754	0,762	1,0710
900	1,0258	1,0982	1,1200	1,1045	2,1097	0,775	1,0815
1000	1,0350	1,1078	1,1304	1,1225	2,1436	0,783	1,0907
1100	1,0434	1,1170	1,1401	1,1384	2,1771	0,791	1,0999
1200	1,0509	1,1258	1,4493	1,1530	2,2106	0,795	1,1082
1300	1,0580	1,1342	1,1577	1,1660	2,2429	—	1,1166
1400	1,0647	1,1422	1,1656	1,1782	2,2743	—	1,1242
1500	1,0714	1,1497	1,1731	1,1895	2,3048	—	1,1313
1600	1,0773	1,1564	1,1798	1,1995	2,3346	—	1,1380
1700	1,0831	1,1631	1,1865	1,2091	2,3630	—	1,1443
1800	1,0886	1,1690	1,1924	1,2179	2,3907	—	1,1501
1900	1,0940	1,1748	1,1983	1,2259	2,4166	—	1,1560
2000	1,0990	1,1803	1,2033	1,2334	2,4422	—	1,1610

Приложение 5

Соотношение между единицами СИ и подлежащими изъятию (внесистемными единицами)

Единицы		Единицы	
внесистемные	СИ	внесистемные	СИ
1 л	100 кг	1 л. с.	736 Вт
1 дина	10 ⁻⁶ Н	1 П (пауз)	0,1 Па·с
1 кгс	9,81 Н	1 Ст (стоке)	10 ⁻⁴ м ² /с
1 тс	9,81·10 ³ Н (9,81 кН)	1 кал/(кг·°C)	4,19 Дж/(кг·K)
1 кгс/м ²	9,81 Па	1 кал/кг	4,19 Дж/кг
1 кгс/см ²	9,81·10 ⁴ Па (9,81 кПа)	1 ккал/кг	1,16 Вт/м·K
1 мм вод. ст.	9,81 Па	1 м ч °C	1,16 Вт/м ² ·K
1 мм рт. ст.	133 Па		
1 бар	10 ⁵ Па (0,1 МПа)		
1 эрг	10 ⁻⁷ Дж		
1 кал	4,19 Дж		

Приложение 6

Таблица значений параметров насыщенного водяного пара

t, °C	p, Па·10 ⁶	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	ρ', кг/м ³	ρ'', кг/м ³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг
0	0,0062	0,001	206,3	0,00485	0	0	2501,4	2501,4
20	0,0238	0,001002	57,84	0,0173	83,8	83,8	2539,1	2455,3
40	0,075	0,001008	19,55	0,0512	167,6	167,6	2575,5	2407,9
60	0,203	0,001017	7,678	0,1302	250,98	250,98	2610,4	2359,8
80	0,483	0,001029	3,409	0,2933	334,5	334,5	2654,6	2309,9
100	1,033	0,001044	1,673	0,5977	419	419	2677,4	2258,4
120	2,025	0,00106	0,892	1,122	504,02	504,02	2708,4	2204
140	3,685	0,00108	0,509	1,966	589,53	589,53	2736	2146,5
160	6,302	0,001102	0,307	3,259	675,8	675,8	2753,5	2084
180	10,225	0,001128	0,194	6,157	763,8	763,8	2780	2016,6
200	15,86	0,001157	0,127	7,863	853	853	2795,1	1942
250	40,56	0,001251	0,0501	19,38	1086,9	1086,9	2803	1716,2
300	87,61	0,001401	0,0216	46,21	1345,8	1345,8	2751	1405,3

Приложение 7

Перечень единиц системы СИ для важнейших величин
в теплотехнике и гидравлике

Величина	Буквенное обозначение	Наименование	Обозначение
Длина	l	метр	м
Масса	m	килограмм	кг
Время	t	секунда	с
Термодинамическая температура	T	кельвин	К
Количество вещества	M	моль	моль
Площадь	F	квадратный метр	м ²
Объем	V	кубический метр	м ³
Скорость	v	метр в секунду	м/с
Ускорение	g	метр в секунду в квадрате	м/с ²
Частота вращения	n	секунда в минус первой степени	с ⁻¹
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м ³
Сила	P	ньютон	Н
Удельный объем	v	кубический метр на килограмм	м ³ /кг
Давление	P	паскаль	Па
Количество теплоты	Q		
Работа	L	джоуль	Дж
Энергия	E		
Мощность	N	ватт	Вт
Тепловой поток	Q		
Удельное количество теплоты	q	джоуль на килограмм	Дж/кг
Энтальпия	h		
Удельная теплоемкость	c	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)
Удельная газовая постоянная	R		
Удельная энтропия	S		
Теплопроводность	λ	ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)
Коэффициент теплообмена (теплоотдачи)	α	ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/м ² ·К
Плотность теплового потока	q	ватт на квадратный метр	Вт/м ²
Вязкость (динамическая)	μ	паскаль-секунда	Па·с
Объемный расход (подача производительность)	V (Q)	кубический метр в секунду	м ³ /с
Массовый расход	m'	килограмм в секунду	кг/с

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	3
Рекомендуемая литература	4
Учебное задание	5
Раздел 1. Основы гидравлики и насосы	6
Раздел 2. Основы технической термодинамики	18
Раздел 3. Основы теории теплообмена	31
Раздел 4. Котельные установки и теплогенераторы	36
Раздел 5. Применение теплоты в сельском хозяйстве	43
Ответы на вопросы самоконтроля	51
Контрольная работа	51
Приложения	65

Отзывы просим присылать по адресу:
141300, г. Загорск М. о., Птицеград, ВЭСХТ
Редакционно-издательский отдел