

## Глава 6

### ГИДРОПНЕВМОТРАНСПОРТ

*Гидропневмотранспорт* - это комплекс устройств и оборудования, предназначенных для перемещения материалов посредством жидкости (в жидком состоянии) или воздуха (в сухом состоянии).

#### 6.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

Гидротранспортные установки подразделяют на напорные и безнапорные. Если технологический процесс достаточно обеспечен водой, а трубопровод имеет надлежащий уклон, то применяют более простые и дешевые безнапорные установки.

Гидропневмотранспортные установки по способу создания разности давления делятся на установки всасывающего, нагнетательного и смешанного типов.

По развиваемому напору установки делятся на низконапорные с давлением до 0,5 МПа, средненапорные - от 0,5 до 1 и высоконапорные - выше 1 МПа.

По способу создания напора различают насосные, компрессорные, насосно-компрессорные и гидростатические установки.

Гидравлические безнапорные установки можно разделить на системы прямого смыва, рециркуляционные и самотечные.

Касательная сила трения

$$T = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dn},$$

где  $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига;

$\eta$  — структурная вязкость;

$dv/dn$  — градиент скорости.

Липкость характеризует взаимодействие гидросмесей с материалом трубопроводов и других элементов гидропневмотранспорта.

## 6.2. РАСЧЕТ ГИДРОПНЕВОТРАНСПОРТА

**Расчет пневмотранспорта.** Его особенность заключается в том, что с помощью него можно перемещать сыпучие грузы.

Основные параметры для оценки пневмотранспортной установки: производительность  $Q_m$ , расход воздуха  $Q_a$ , необходимый диаметр трубопровода  $d_s$ , мощность двигателя  $N$  для привода вентилятора.

Исходный параметр работы пневмотранспорта - скорость витания, т. е. критическая скорость  $v_{кр}$ , при которой частицы материала находятся во взвешенном состоянии или в непрерывном пульсирующем движении в вертикальном восходящем потоке (трубопроводе) воздуха, т. е.

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{mg}{k\rho S_M}}$$

где  $k$  — коэффициент сопротивления;  
 $S_M$  — миделево сечение.

Скорость витания теоретически определяется как сопротивление потока перемещению твердого тела. На практике скорость витания определяют по специальным таблицам.

Реальная скорость движения воздуха  $v_s$  должна быть больше скорости витания (критической)  $v_{кр}$ , т. е.

$$v_s \geq k_\varphi v_{кр}$$

где  $k_\varphi$  — коэффициент зависимости от концентрации смеси и физико-механических свойств груза.

Большее значение коэффициента принимается при большей массовой концентрации  $k_m$  и повышенной влажности  $\omega$  транспортируемого груза. Коэффициент массовой концентрации

$$k_m = Q_m / Q_s$$

где  $Q_m$  — производительность установки (по массе груза), кг/с;

$Q_v$  — расход воздуха, кг/с.

Диаметр трубопровода определяется из выражения

$$A = Q_v / v_s.$$

Тогда

$$d = \sqrt{\frac{4 Q_v}{\pi v_s}} = \sqrt{\frac{4 Q_m}{\pi k_m \rho_s v_s}}$$

Напор в трубопроводе состоит из скоростного (динамического) сопротивления  $p_d$ , необходимого для преодоления инерции материала и воздуха, и статического сопротивления  $p_s$ , расходуемого на преодоление всевозможных сопротивлений, т. е.

$$p = p_d + p_s.$$

Динамический напор

$$p_d = 0,5 \rho_s v_s^2 (1 + 0,72 k_m)$$

Статический напор расходуется на преодоление местных сопротивлений.

Мощность двигателя для привода вентилятора

$$N = Q_v p / \eta$$

где  $\eta$  — КПД вентилятора.

Расчитав все энергетические параметры по аэродинамической характеристике, выбирают вентилятор.

**Расчет гидротранспорта.** Гидротранспортные установки служат для перемещения пульпы (смеси воды и сыпучих нерастворимых грузов). Основным параметром работы установки в горизонтальной трубе - минимальная скорость  $v_{кр}$ , при снижении которой в гидросмеси может произойти выпадение твердых частиц из пульпы. Для сыпучих и кусковых грузов

$$v_{кр} = c \sqrt{f a g \mu_{об} D},$$

где  $c$  — коэффициент, равный 8,5...9,5;  
 $f$  — коэффициент трения груза о стенки трубы;  
 $a$  — насыщение потока транспортируемыми продуктами;  
 $\mu_{об}$  — объемная концентрация ( $\mu_{об} = 0,14...0,25$ );  
 $D$  — диаметр трубопровода.

Диаметр трубопровода определяется соотношением неразрывности потока  $Q = v S$ . Критическая скорость

$$v_{кр} = 0,25 \sqrt{\tau_0 / \rho g},$$

где  $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига;  
 $\rho$  — плотность гидросмеси.

Если скорость движения меньше критической, то режим движения струйный. Скорость движения смеси  $0,6 < v < 2$  м/с, где нижний предел ограничен скоростью самоочистки, а верхний — экономическими расчетами.

Реальная (рабочая) скорость должна быть больше критической в зависимости от геометрического уклона трубопровода.

Экономичный режим движения гидросмесей наблюдается при ламинарном режиме движения. Для бингамовских (неньютоновских) жидкостей число Рейнольдса определяют по выражению

$$Re^* = \frac{Re}{1 + \frac{1}{6}(\tau_0 D / \mu v)}$$

где  $Re$  — число Рейнольдса;  
 $\mu$  — динамический коэффициент вязкости.

Рекомендуемое значение  $Re^* < 1500...5000$ .  
 Давление нагнетания насоса

$$p = (\Delta_x - \Delta_n) \rho g + \Delta p,$$

где  $\Delta_x$  и  $\Delta_n$  — геодезические отметки конца и начала подъема гидросмеси;

$\Delta p$  — потери напора.

Тогда

$$\Delta p = \Delta p_i + \Delta p_m.$$

Потери напора складываются из потерь на преодоление местных; сопротивлений  $\Delta p_m$  и трения жидкостью о стенки сосудов

$$\Delta p_i = \lambda \frac{(l + l_s) v^2}{D \cdot 2g}$$

где  $l_s$  — эквивалентная длина потерь на дополнительном участке для учета местных потерь.

**Расчет канализации.** Канализация подразделяется на внутреннюю и наружную. К основным элементам внутренней канализации относятся приемники сточных вод (санитарные приборы) и отводные трубы. Основные приемники сточных вод - ванны, умывальники, души, сифоны, унитазаы, раковины, мойки и другие промывочные устройства. Сети внутренней канализации прокладывают из чугунных, керамических, пластмассовых и стальных труб.

Внутреннюю канализационную сеть прокладывают открыто, а также скрыто с заделкой в строительных конструкциях.

Расчет внутренней канализации заключается в определении расхода сточных вод, скорости, уклонов и диаметров участков канализационной сети.

Расход сточных вод

$$q = q_0 a k,$$

где  $q_0$  — норма водоотведения одного прибора;

$a$  — число приборов;

$k$  — коэффициент вероятности их одновременного действия ( $k=0,5 \dots 1,0$ ).

Скорость движения воды определяется двумя требованиями: полным взвешиванием (плаванием) фекальной массы и постоянным самоочищением трубопровода стоком воды. Для трубопроводов диаметром до 150 мм скорость движения сточной массы принимается не менее 0,7 м/с, наполнение трубы по диаметру не менее 0,3. На скорость движения сточных вод влияет уклон трубопроводов.

Наружная канализация служит для отвода сточных вод за пределы населенных мест и предприятий. Канализационные сети могут выполняться для самотечного (сплавного) отвода и напорного удаления стоков. За основу расчета берут норму отвода, с помощью которой можно определить объемный расход канализации с учетом числа жителей, количества вырабатываемой продукции, степени благоустройства и т. д.

Поступление сточных вод в канализационную сеть колеблется в течение суток. При расчетах это учитывается коэффициентами неравномерности  $k_{сут}$  и  $k_{ч}$  как отношение максимального суточного расхода к среднесуточному за год и максимального часового расхода к среднему часовому в сутки максимального водопотребления. Расчетный расход определяют с учетом вычисленного общего коэффициента неравномерности, который равен произведению коэффициентов суточной и часовой неравномерности, т. е.

$$k_{общ} = k_{сут} k_{ч}$$

Расход бытовых сбросов канализационными сетями определяют по формуле

$$Q_{max} = \frac{N q k_{общ}}{24 \cdot 3600},$$

где  $N$  — число жителей;

$q$  — норма водоотведения, л/сут.

Расчет безнапорной канализации предусматривает неполное заполнение труб, что обеспечивает сплав фекальной массы и создает резерв сечения труб для пропуска кратковременных расходов, превышающих расчетный, а также позволяет обеспечить естественную вентиляцию канализационной сети.

Степень наполнения труб представляет собой отношение высоты слоя протекающей воды  $h$  к диаметру трубы  $d$ , т. е.

$$n_n = h / d$$

Параметр  $n_n$  равен 0,6 для труб диаметром 150...300 мм, 0,7 - для 350...450, 0,75 - для 500...900 и 0,8 для труб диаметром свыше 900 мм.

В безнапорных канализационных сетях уклон  $i$  обеспечивает транспортирующую способность потока, достаточную для перемещения содержащихся в ней загрязнений. Уклон определяют по формуле Дарси - Вейсбаха.

Минимальный гидравлический уклон ориентировочно можно найти из выражения

$$i_{\min} = 1/d,$$

где  $d$  — диаметр трубы, мм.

В сельских населенных пунктах, где отсутствуют канализационные отводные сети, сооружаются местные системы канализации - септики.

Напорные канализационные сети рассчитывают по формулам общей гидравлики.

В системе канализации и водоотведения предусматриваются комплексы очистки сооружений и поля испарения.

Дождевая канализация (ливневая) служит для отведения дождевых и талых вод.

Концентрация загрязнений в сточных водах определяется в результате анализа или подсчитывается по формуле:

$$K = \frac{1000 \cdot a}{q},$$

где  $a$  — загрязнения, вносимые одним человеком,  
 $q$  — норма водоотведения на одного человека.

## Глава 7

### ТЕПЛОТЕХНИКА

#### 7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Теплотехника* - научная дисциплина и отрасль техники, охватывающая методы получения теплоты, преобразования ее в другие виды энергии, распределения, транспортирования, использование теплоты с помощью тепловых машин, аппаратов и устройств.

Одним из основных источников тепловой энергии (теплоты) является природное органическое топливо.

Полученная различными способами теплота в виде горячей воды, пара или газа может быть непосредственно использована для нагрева тел в теплообменных аппаратах, либо может быть преобразована в механическую работу для привода в действие станков, машин и т.п., или в электрическую энергию, которую вновь можно превратить в тепловую или механическую энергию в специальных аппаратах.

Наука изучающая взаимные превращения тепловой и механической энергии называется *технической термодинамикой*.

В устройствах, использующих тепловую энергию, в зависимости от технологического цикла стремятся к повышению или понижению интенсивности передачи теплоты.

Теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую или твердую стенку или через поверхность раздела между ними называется *теплопередачей*.

Техническая термодинамика и теплопередача составляют теоретические основы теплотехники.

#### 7.2. РАБОЧЕЕ ТЕЛО И ПАРАМЕТРЫ ЕГО СОСТОЯНИЯ

Передача тепловой энергии осуществляется рабочим телом, которое принято называть *теплоносителем*.

В отопительно-котельной технике рабочим телом являются водяной

пар и горячая вода, которые способны не только передавать теплоту, но и совершать работу.

В водогрейных или паровых котлах теплота, передается через стенки котла (поверхность нагрева) к воде, которая нагревается до определенной температуры или преобразуется в пар. В результате сообщения рабочему телу теплоты оно изменяет свое состояние, которое характеризуется параметрами состояния: температурой, удельным объемом, давлением. Температуру, давление и удельный объем часто называют основными параметрами, так как первые два параметра сравнительно легко определяются широко распространенными приборами - термометрами и манометрами, а удельный объем связан с этими параметрами просто зависимостью.

Обычно зависимости между параметрами состояния рабочего тела изучают и устанавливают для упрощенной модели рабочего тела, например, идеального газа, в котором отсутствуют силы сцепления между молекулами газа, а сами молекулы принимаются за материальные точки, не имеющие объема. С методической точки зрения такой подход более удобен. Однако законы термодинамики и полученные на их основе соотношения справедливы не только для газа, а вообще для всяких тел независимо от их агрегатного состояния. Несмотря на то, что в природе идеальный газ отсутствует, в теплотехнических расчетах вполне допустимо (без особой погрешности для точности расчетов) принимать идеальными все газы, с которыми в теплотехнике приходится иметь дело, за исключением водяного пара, который относится к реальным газам. Уравнения состояния реальных газов (в отличие от идеальных газов) имеют сложный характер и для практических расчетов неудобны, поэтому их обычно используют для составления диаграмм, удобных для теплотехнических расчетов, и таблиц термодинамических свойств реальных газов, важных для техники. Ниже рассмотрены основные параметры состояния рабочего тела.

*Температура* - мера нагретости тела, которая является величиной, определяющей направление самопроизвольной передачи теплоты.

Температура измеряется в градусах. *Градус* - одна сотая часть расстояния на столбике ртути между точками, соответствующим температурам плавления льда и кипения воды при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. Шкалу температур, полученную таким образом, называю стоградусной, или шкалой Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Температуру, выраженную по этой шкале, принято обозначать буквой  $t$ .

Стоградусная или международная практическая шкала применяется наравне с основной в международной системе (СИ) термодинамической

шкалой температур Кельвина. За начало отсчета температур в этой шкале принят *абсолютный нуль* - наинизшая теоретически возможная температура, при которой отсутствует движение молекул. При этом размер градуса оставлен таким же, как в практической шкале. Выраженную по шкале температуру обозначают  $T$ , а единица ее измерения (Кельвин)  $K$ . Таким образом по данной шкале температура таяния льда равна  $273 K$ , температура кипения воды  $373 K$ .

Температура, выраженная в Кельвинах связана с температурой в градусах Цельсия соотношением  $T=t+273$ .

**Удельный объем.** *Удельный объем*  $v$  - это объем единицы массы вещества:

$$v=V/M, \text{ м}^3/\text{кг}$$

где  $V$  —объем тела,  $\text{м}^3$ ;

$M$  —масса тела,  $\text{кг}$ .

Величина, обратная удельному объему называется *плотностью* и обозначается  $\rho$ :

$$\rho=1/v=M/V, \text{ кг}/\text{м}^3$$

Зная плотность вещества, можно определить его удельный объем.

**Давление** - величина, характеризующая интенсивность сил, действующих на какую-нибудь поверхность тела по направлениям, перпендикулярным поверхности. Чтобы определить давление  $P$ , надо  $F$  разделить на площадь  $S$ , на которую она действует, т.е.

$$P=F/S.$$

В Международной системе (СИ) за единицу давления принят Паскаль ( $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ ) - давление силы, равной 1 Ньютону, на 1 квадратный метр.

Эта единица давления очень мала и пользоваться ею практически неудобно. Поэтому применяют кратные внесистемные единицы: 1 МПа (мегапаскаль) =  $10^6$  Па (для измерения, например, давления пара в котле), 1 кПа (килопаскаль) =  $10^3$  Па (для измерения, например, барометрического давления).

Широкое распространение в технике имеет внесистемная единица давления - техническая атмосфера (или кратко атмосфера):

$$1 \text{ ат} = 98,0665 \cdot 10^3 \text{ Па} \approx 0,0981 \text{ МПа} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 104 \text{ кгс/м}^2.$$

Небольшие давления, а также разрежения измеряют иногда высотой столба жидкости. Единицы измерения 1 мм вод. ст. также широко используются в технике (1 мм вод. ст. = 9,807 Па).

В закрытых сосудах различают давление *избыточное*, *разрежение* (или *вакуум*) и *абсолютное*.

Давление в закрытом сосуде, превышающее атмосферное, называется *избыточным* (*ати*), а давление меньшее, чем атмосферное, называется *разрежением* или *вакуумом*. *Абсолютное давление* (*ата*) равно измеренному избыточному плюс атмосферное давление или атмосферному давлению минус измеренное разрежение. Давление выше атмосферного измеряют приборами, называемыми манометрами. Манометры, установленные на котлах, трубопроводах и других сосудах, показывают избыточное или рабочее давление, которое при исчислении в технических атмосферах обозначается ати (атмосферы избыточные). Например, манометр показывает давление паров в котле 0,7 ати. Для того, чтобы получить абсолютное давление пара в котле, необходимо к 0,7 ати прибавить атмосферное давление, т.е.  $0,7 + 1 = 1,7$  ата (атмосферы абсолютные). Абсолютное давление обозначают *ата*.

Если в каком-либо сосуде имеется разрежение, равное 0,5 ата, то абсолютное давление составит  $1 - 0,5 = 0,5$  ата. Температура кипения зависит от давления. С увеличением давления больше атмосферного вода закипает при температуре более чем  $100^\circ\text{C}$ . Например, при давлении 1,7 ата температура кипения составит  $115^\circ\text{C}$ .

Имеем следующие формулы соотношения давлений

$$P_{\text{и}} = P - P_{\text{в}}; P = P_{\text{и}} + P_{\text{в}}; P_{\text{в}} = P_{\text{а}} - P.$$

**Атмосферное давление.** Земля окружена атмосферной оболочкой (атмосферой) толщиной в несколько сотен километров. Поверхность земли и находящиеся в ней предметы подвержены атмосферному давлению.

Давление в 1 атмосферу уравнивается столбиком ртути высотой 760 мм (физическая атмосфера). Зная удельный вес ртути можно подсчитать величину физической атмосферы в других единицах, например, в  $\text{кгс/м}^2$ :  $13595 \cdot 0,76 = 10331,2 \text{ кгс/м}^2$ , или  $1,033 \text{ кгс/см}^2$ . Таким образом, физическая атмосфера равна 760 мм рт. ст., или  $1,033 \text{ кгс/см}^2$ . Физическая атмосфера сокращенно обозначается атм. В отличие от физической, техническая атмосфера (1 ат) равна  $1 \text{ кгс/см}^2$ , или 735,6 мм рт. ст.;

$1 \text{ кгс/м}^2 = 1 \text{ вод. ст.}$

Атмосферное давление зависит от состояния погоды и от высоты местности над уровнем моря. Атмосферное давление на уровне моря равно 760 мм рт. ст. Чем выше над уровнем моря точка поверхности земли, тем меньше атмосферное давление. Этим и объясняется то, что температура кипения воды высоко в горах менее  $100^\circ\text{C}$ . Атмосферное давление измеряется приборами, которые называют *барометрами*.

### 7.3. ТЕПЛОТА И РАБОТА

В результате многочисленных наблюдений было установлено, что когда совершается работа за счет расходуемой механической энергии, возникает теплота. Причем определенному количеству израсходованной механической энергии (совершенной работы) соответствует всегда вполне определенное количество появившейся теплоты.

Все эти наблюдения привели к установлению *первого закона термодинамики*, получившего общее признание в 40-х годах XIX в. Этот закон формулируется следующим образом: *во всех тех случаях, когда исчезает некоторое количество теплоты, возникает равное ей количество механической энергии* (в виде совершенной работы), и наоборот, *при совершении какой-либо работы* (за счет расходуемого при этом некоторого количества механической энергии) *появляется равное ей количество тепловой энергии*.

В общем случае для разомкнутого процесса, если обозначить

$q$  - количество теплоты, подведенное к 1 кг газа, а  $u_2 - u_1 = \Delta u$  - изменение его внутренней энергии при этом, то исчезнувшее в процессе количество теплоты представится разностью  $q - \Delta u$ ; если при этом газ совершил работу  $l$  то согласно первому закону термодинамики должно существовать равенство

$$q - \Delta u = Al \text{ или } q = \Delta u + Al$$

где  $A$  - термический эквивалент работы, равный  $1/427 \text{ ккал/кгм}$ ;  
 $E = l/A$  - механический эквивалент тела,  $\text{ккал/кгм}$ .

Введение в формулу коэффициента  $A = 1/427 \text{ ккал/кгм}$  необходимо вследствие того, что в системе МКГСС теплота измеряется в ккал, а работа в кгм.

В Международной системе (СИ) теплота и работа измеряются в одних и тех же единицах - джоулях или килоджоулях ( $1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}$ ).

Поэтому уравнение будет иметь вид

$$q = \Delta u + l.$$

Утверждение первого закона термодинамики способствовало прекращению попыток построить двигатель, который бы производил энергию «из ничего», т.е. такой двигатель, который вырабатывал бы энергию, не потребляя какой-либо другой энергии. Этот двигатель получил название *«перпетуум-мобиле (вечный двигатель) первого рода»*. Коротко первый закон термодинамики можно сформулировать так: *«перпетуум-мобиле первого рода» невозможен*.

Как видно из формулировки первого закона термодинамики, он устанавливает количественное соотношение между различными видами энергии при их взаимных превращениях. Однако этот закон ничего не говорит о том, при каких условиях такие превращения могут происходить. На этот вопрос дает ответ *второй закон термодинамики*, который говорит, что *невозможно в периодически действующей машине целиком перенести в работу всю теплоту, сообщенную рабочему телу от какого-либо источника теплоты* («верхнего», «горячего» или иногда называемого теплоотдатчиком); в процессе работы такой машины часть этой теплоты неминуемого, должна быть отдана другому телу с низкой температурой («низшему» или «холодному» источнику теплоты), вследствие чего эта часть теплоты с точки зрения преобразования ее в механическую энергию оказывается потерянной. Таким образом, второй закон термодинамики утверждает невозможность построения машины - двигателя при наличии лишь одного источника теплоты. Такая машина (с одним источником) получила название *«перпетуум-мобиле второго рода»*. Поэтому вторая формулировка второго закона термодинамики - *«перпетуум-мобиле второго рода» невозможен*.

Необходимо ответить, что законы термодинамики вытекали из опыта, являясь результатом обобщения многочисленных наблюдений. Они были открыты после того, как были изобретены тепловые двигатели.

Поскольку передача энергии может осуществляться как в виде работы, так и в виде теплоты, то в Международной системе единиц (СИ) теплота, так же как энергия и работа (как отмечалось выше), выражается общей для всех видов энергии единицей - джоулем ( $Dж = Н*м$ ).

Для практических расчетов используется внесистемная единица количества теплоты - калория. *Калорией (кал)* называется количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на 1 °С. Международная калория (кал) равна 4,19 Дж. Более удобной для практических измере-

ний теплоты является килокалория, или большая калория (Ккал), равна 1000 калориям и соответственно 4,19 кДж. Тысячу килокалорий называют мегакалорией (Мкал). Миллион килокалорий или миллиард калорий называют гигакалорией (Гкал).

Работу (энергию), совершаемую в единицу времени, называют *мощностью*. Поскольку тепловая энергия измеряется в Дж, за единицу мощности принимают Дж/с, называемую *ваттом (Вт)*.

Так как ватт очень маленькая по величине единица, чаще пользуются единицей измерения, называемой киловаттом (кВт); 1 кВт\*ч = 860Ккал.

#### 7.4. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

Количество теплоты, необходимое для изменения температуры единицы какого-либо вещества на один градус, называется его *теплоемкостью*. Для характеристики тепловых свойств вещества принимают теплоемкость их единицы (1 кг, 1 м<sup>3</sup>, 1 киломоль), которую соответственно называют удельной массовой, объемной или киломольной теплоемкостью. Единицами измерения указанных удельных теплоемкостей являются ккал/(кг\*град); ккал/(м<sup>3</sup>\*град); ккал/(кмоль\*град) или в Международной системе единиц (СИ) кДж/(кг\*град); кДж/(м<sup>3</sup>\*град); кДж/(кмоль\*град).

Для газов удельная теплоемкость зависит от того, в каких условиях происходит нагревание. При этом различают удельную теплоемкость при постоянном объеме ( $c_v$ ) и удельную теплоемкость при постоянном давлении ( $c_p$ ). Причем  $c_p$  всегда больше, чем  $c_v$ .

Для твердых тел и жидкостей не различаются теплоемкости  $c_p$  и  $c_v$ .

Зная удельную теплоемкость вещества, по формуле

$$Q = cm (t_2 - t_1)$$

можно рассчитать количество теплоты (ккал или кДж), идущее на нагревание или охлаждение тела. В данной формуле

$c$  - удельная теплоемкость;

$m$  - единица измерения вещества;

$t_2 - t_1$  - разность температур.

#### 7.5. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ

Теплота всегда передается от тел более нагретых к менее нагретым. Перенос теплоты между твердым телом (стенкой) и обтекающей его

жидкостью или газом называется *теплоотдачей*. Перенос теплоты между двумя средами, разделенными перегородкой (стенкой), называется *теплопередачей*.

Различают три способа переноса теплоты: *теплопроводность*, *конвекцию* и *излучение (радиацию)*.

*Теплопроводностью* называется перенос теплоты при соприкосновении двух тел, имеющих разную температуру вследствие теплового движения молекул, атомов и свободных электронов. В чистом виде теплопроводность имеет место в твердых телах и в весьма тонких, неподвижных слоях жидкости и газа.

Благодаря теплопроводности теплота распространяется через стенку котла. Теплопроводность различных веществ различна. Очень хорошо проводят теплоту металлы. Весьма незначительна теплопроводность воздуха. Слабо проводят теплоту пористые тела, асбест, войлок и сажа.

*Конвекцией* называется перенос теплоты за счет перемещения молярных объемов среды. Конвекцией переносится теплота в жидкости и газах. Обычно конвективный перенос происходит совместно с теплопроводностью. Конвективный перенос теплоты может осуществляться в результате свободного или вынужденного движения молярных объемов жидкости или газов (естественная или вынужденная конвекция).

Естественной конвекцией распространяется теплота от печей, отопительных приборов, при нагревании воды в паровых котлах, при охлаждении обмуровки котлов и других тепловых устройств. Свободное движение жидкости или газов обусловлено различной плотностью нагретых и холодных частиц среды. Например, воздух около поверхности печи нагревается, становится легче, поднимается вверх, а на его место поступает более тяжелый, холодный. В результате этого в комнате возникает циркуляция воздуха, которая переносит теплоту.

Вынужденная конвекция имеет место при передаче теплоты от внутренней стенки котла к воде, движущейся под действием насоса.

*Излучением (радиацией)* называется передача теплоты от одного тела к другому путем электромагнитных волн через прозрачную для теплового излучения среду. Этот процесс передачи теплоты сопровождается превращением энергии - тепловой в лучистую и, наоборот, лучистой в тепловую. Радиацией передается теплота от факела горящего топлива к поверхности чугунных секций или стальных труб котла. Радиация - это наиболее эффективный способ передачи теплоты, особенно если лучи от нагретого тела направлены на нагреваемую поверхность перпендикулярно и само излучающее тело имеет высокую температуру.

**Понятие о теплопередаче.** Рассмотренные выше три вида теплооб-

мена в чистом виде встречаются очень редко. В большинстве случаев один вид теплообмена сопровождается другим. Примером этому может служить передача теплоты от газообразных продуктов сгорания к стенке водогрейного котла. Одновременная передача теплоты конвекцией, теплопроводностью и радиацией называется *сложным теплообменом*. Результат одновременного действия отдельных элементарных явлений приписывается одному из них, которое и считается главным. Так, радиация, называемая еще прямой отдачей, в передаче теплоты в топочной камере от топочных газов к внешней поверхности нагрева котла играет главенствующую роль, хотя наряду с радиацией в передаче теплоты в топке учувствуют и конвекция, и теплопроводность.

Передача теплоты от внешней поверхности нагрева к внутренней через слой сажи, металлическую стенку и слой накипи осуществляется только путем теплопроводности. Наконец, от внутренней поверхности нагрева котла к воде теплота передается только конвекцией. В газоходах котла процесс теплообмена между стеной секции и омывающими ее газами также является результатом совокупного действия конвекции, теплопроводности и радиации. Однако в качестве основного явления принимается конвекция.

Количественной характеристикой передачи теплоты от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку является коэффициент теплопередачи  $K$ . Для плоской стенки коэффициент  $K$  - количество теплоты, переданной в единицу времени от одной жидкости к другой на площади  $1 \text{ м}^2$  при разности температур между ними в один град.

Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, называется *термическим сопротивлением теплопередачи*.

Для данного случая

$$R = 1/K = 1/\alpha_1 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + \delta_2/\lambda_2 + 1/\alpha_2.$$

Различные вещества имеют разные коэффициенты теплопроводности.

*Коэффициент теплопроводности  $\lambda$*  - количество теплоты, передаваемое через единицу поверхности нагрева в единицу времени при разности температур в 1 град и толщине стенки в 1 м. При использовании внесистемных единиц (ккал и ч) размерность коэффициента теплопроводности  $\text{ккал} \cdot \text{м} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$ .

Коэффициент теплопроводности различных материалов, наиболее часто встречающихся в отопительно-котельной технике.

Количество теплоты, передаваемое через стенку, определяется по формуле

$$Q = K \Delta t H.$$

Если в теплообменном аппарате греющая и нагреваемая жидкости протекают в одном направлении, то такая схема движения называется прямотоком, а в противоположных - противотоком для единицы площади теплопередающей поверхности удельный тепловой поток, обозначаемый  $q$ , будет равен

$$q = K \Delta t.$$

Количество передаваемой теплоты тем больше, чем больше площадь поверхности нагрева  $H$  и чем больше средняя разность температур или температурный напор  $\Delta t$  и коэффициент теплопередачи  $K$ . Определяющим фактором в передаче теплоты радиацией являются температура излучающего тела и степень его черноты. Поэтому, чтобы интенсифицировать передачу теплоты радиацией, необходимо увеличить температуру излучающего тела, повысить шероховатость поверхности.

Теплоотдача конвекцией зависит от скорости газов, разности температур греющей и нагреваемой среды, характера обтекания газами поверхности нагрева - продольное или поперечное, вида поверхности - гладкая или оребренная. Основными способами интенсификации передачи теплоты конвекцией являются: повышение скорости газов, их турбулизация (завихрение) в газоходах, увеличение площади поверхности нагрева за счет ее оребрения, повышение разности температур между греющей и нагреваемой средой, осуществление встречного (противоточного) омывания.

## 7.6. ВОДЯНОЙ ПАР И ЕГО СВОЙСТВА

Получение водяного пара осуществляется в паровых котлах в процессе при постоянном давлении ( $p = \text{const}$ ). В отопительных котельных малой мощности давление пара не превышает  $0,7 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,07 \text{ МПа}$ ).

Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется *парообразованием*, а из газообразного состояния в жидкое - *конденсацией*.

Процесс парообразования протекает следующим образом. Сначала происходит нагрев воды от начальной ее температуры до температуры

кипения. При дальнейшем сообщении теплоты кипящая вода превращается в пар (парообразование). Кипение есть процесс парообразования во всем объеме жидкости.

После нагрева воды до кипения температура ее при дальнейшем сообщении теплоты не повышается, а остается постоянной до тех пор, пока не испарится вся вода.

Количество теплоты, которое необходимо сообщить воде для превращения ее из жидкого состояния в парообразное при температуре кипения, называется *скрытой теплотой парообразования* или *теплотой испарения*.

Суммарное количество теплоты, которое требуется для превращения 1 кг воды, взятой при  $0^{\circ}\text{C}$ , в пар, называется энтальпией (или теплосодержанием) пара.

Например, в открытом сосуде энтальпия кипящей воды составит около 100 ккал/кг. Скрытая теплота парообразования воды при атмосферном давлении равна 539 ккал/кг.

Следовательно, энтальпия пара при атмосферном давлении составит  $100+539=639$  ккал/кг.

С увеличением давления пара скрытая теплота парообразования уменьшается, а энтальпия пара повышается.

Различают пар насыщенный и перегретый.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью и имеющий одинаковые с жидкостью температуру и давление, называется *насыщенным паром*.

Обычно в процессе парообразования в пар попадают капельки котловой воды. Такой пар называется *влажным насыщенным*. Насыщенный пар, не имеющий капелек воды, называется *сухим насыщенным* паром. Доля сухого насыщенного пара во влажном паре называется *степенью сухости пара* и обозначается  $x$ . При этом влажность пара будет равна  $1-x$ , для сухого насыщенного пара  $x=1$ . Влажность насыщенного пара нормально работающих паровых чугунных котлов составляет 1-3%.

Если сообщить теплоту сухому насыщенному пару при данном постоянном давлении, то получится *перегретый пар*. Перегретый пар не содержит в себе влаги и его температура при данном давлении выше температуры котловой воды. Перегретый пар в отопительных установках обычно не применяется.

Разновидностью процесса парообразования является *испарение воды*. Испарение воды в открытом сосуде при атмосферном давлении может происходить и при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ . В отличии от кипения,

когда паровые пузыри возникают во всем объеме, испарение воды происходит только с поверхности жидкости. Чем меньше паров воды в окружающем воздухе и чем выше температура воды, тем интенсивнее идет испарение с ее поверхности.

## 7.7. ВОЗДУХ И ЕГО СВОЙСТВА

*Воздух* - это механическая смесь газов, состоящая в основном из азота (около 78% по объему), кислорода (около 21%) и небольшого количества инертных газов - аргон, гелий, неон, криптон, и радон (около 1%), а также углекислого газа и водяных паров (около 0,03%).

Азот не способствует процессу горения и сам не горит. Кислород сам не горит, но способствует процессу горения. Без кислорода горение не возможно. Инертные газы не вступают в химические реакции с другими веществами, поэтому они получили такое название.

Процент содержания водяных паров в воздухе зависит от местных условий и температуры. Чем выше температура, тем больше водяных паров может содержаться в воздухе.

Различают *абсолютную* и *относительную влажность воздуха*.

*Абсолютной влажностью воздуха*  $\rho_n$  называется масса водяного пара, которая содержится в 1 м<sup>3</sup> воздуха. По существу,  $\rho_n$  есть плотность пара при его парциальном давлении и температуре. Зная абсолютную влажность воздуха нельзя судить, насколько далек он от насыщения. Необходимо при этом учитывать и температуру воздуха.

Если температура воздуха низка, то данное количество водяного пара в воздухе может быть близким к насыщению, т.е. воздух считается относительно влажным. При более высокой температуре воздух может быть относительно сухим при том же количестве водяных паров.

Для оценки степени влажности воздуха необходимо знать степень насыщения водяного пара. Для этого вводится понятие относительной влажности.

*Относительной влажностью воздуха*  $\phi$  называется отношение абсолютной влажности при данной температуре к максимально-возможной абсолютной влажности при той же температуре  $\rho_n$ , %:

$$\phi = \rho_n / \rho_n$$

Значения  $\rho_n$  находят по таблицам перегретого пара, а  $\rho_n$  - по таблицам насыщенного пара. Для жилых помещений нормальной относительной влажностью считается 60-70%.

Относительную влажность воздуха определяют с помощью приборов, называемых *гигрометрами* или *психрометрами*.

Знание относительной влажности воздуха необходимо при теплотехнических испытаниях котлов. Если влажный воздух охлаждать при неизменном влагосодержании, то при некоторой температуре пар, содержащийся в воде, становится насыщенным и при дальнейшем охлаждении начнет конденсироваться в виде росы.

Температура, до которой необходимо охладить при постоянном давлении воздух, чтобы содержащийся в нем пар достиг состояния насыщения, называется *точкой росы*.

Переход пара из одного состояния (начального) в любое другое (конечное) может осуществляться различными путями.

*Изохорный процесс* имеет место при нагреве (или охлаждении) за счет подвода к нему тепла в сосуде постоянного объема, сопровождается ростом давления газа.

*Изобарный процесс* - если газ переходит из одного состояния в другое и давление остается постоянным ( $P = \text{const}$ ). Из трех параметров -  $P$ ,  $V$ ,  $T$  - изменяются только два.

*Изотермический процесс* ( $T = \text{const}$ ).

*Адиабатный процесс* - все три параметра  $P$ ,  $V$ ,  $T$  - изменяются в условиях отсутствия теплообмена с окружающей средой.

*Полиτροпный процесс* - сжатие и расширение в газовых двигателях, является обобщающим процессом.

Уравнением соотношения, связывающим между собой эти параметры, является уравнение закона Бойля-Мариотта.

## Глава 8

### КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

#### 8.1. ОБЩАЯ СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В котельных установках осуществляется преобразование химической энергии топлива в тепловую. Тепловая энергия из котельной передается потребителям с помощью теплоносителей. Теплоносителями являются горячая вода и водяной пар.

*Котельной установкой* называется совокупность устройств, предназначенных для получения пара или горячей воды. Полученные при этом продукты сгорания, омывают поверхности нагрева. Вода в парогенераторе нагревается, закипает и превращается в насыщенный пар, который проходит пароперегреватель и нагревается до температуры, превращающей температуру насыщения при давлении в парогенераторе. Продукты сгорания топлива после газохода, в котором расположен пароперегреватель, поступают в газоход экономайзера и воздухоподогревателя. Экономайзер и воздухоподогреватель имеют трубчатые поверхности нагрева, предназначенные для охлаждения продуктов сгорания. Через трубы экономайзера прокачивается питательная вода, которая затем подается в барабан. Воздух перед поступлением в топку проходит воздухоподогреватель. Топка, собственно парогенератор, пароперегреватель, экономайзер и воздухоподогреватель являются основными элементами котельной установки.

Кроме основного оборудования в комплексе устройств котельной установки входит вспомогательное: дымосос и дымовые трубы для удаления продуктов сгорания; дутьевой вентилятор для нагнетания воздуха в топку; питательные насосы для питания котла водой, топливоподающие устройства, устройства газоочистки и золоудаления, трубопроводы различного назначения и др. Необходимость в том или ином элементе оборудования зависит от назначения и мощности котельной установки, а также от вида топлива и способа сжигания.

В водогрейных котлах вода нагревается до температуры 95 - 150 С при давлении, исключающем закипание воды. Водогрейная котельная установка состоит из топки котла и вспомогательных устройств для питания водой и удаления продуктов сгорания топлива.

По назначению котельные установки могут быть энергетическими, промышленными, отопительными и смешанными. Энергетические котельные установки оборудованы крупными парогенераторами среднего и высокого давления и предназначены для снабжения паром турбин на электростанциях и паровоздуховных станциях. Энергетические котельные, как правило, являются одним из основных звеньев технологической схемы производства электрической энергии. Промышленные котельные сооружаются в промышленных районах, городах или на отдельных предприятиях. Они оборудованы парогенераторами низкого давления и предназначены для снабжения паром силовых и тепловых потребителей. При этом основными статьями расхода пара являются производственно - технологические нужды.

В отопительных котельных, предназначенных для теплоснабжения жилых районов, устанавливаются парогенераторы или водогрейные котлы, которые покрывают расходы тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

В смешанных котельных могут устанавливаться и парогенераторы (для покрытия технологической нагрузки района) и водогрейные котлы (для покрытия расходов тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение). В этих случаях предусмотрено взаимное резервирование (возможность покрытия части коммунально - бытовых нагрузок через пароводяные теплообменники).

## 8.2. КОТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ

*Котельным агрегатом* называется совокупность основных элементов котельной установки. По основному виду продукции котельные агрегаты могут быть паровыми (парогенераторы) и водогрейными.

Энергетические парогенераторы, парогенераторы промышленных котельных и паровых отопительных котельных изготавливают из стали. Отопительные водогрейные котлы небольшой теплопроизводительности могут быть выполнены из чугуна.

Парогенераторы тепловых электростанций, как правило, относятся к агрегатам средней и большой мощности (75-2650 т/ч). В промышленных котельных единичная мощность парогенераторов не превышает 150 т/ч, однако суммарная паропроизводительность отдельных котельных

достигает нескольких сот тонн в час. Мощность отопительных котельных определяется особенностями района теплоснабжения, видом топлива, экономической целесообразностью дальности передачи тепла и др. Единичная мощность чугунных отопительных котлов колеблется от нескольких десятков киловатт ( $1 \text{ кВт} = 860 \text{ ккал/ч}$ ) до 1500 кВт. Единичная теплопроизводительность стальных водогрейных котлов достигает  $116,3 \cdot 10^3 \text{ кВт}$ . Мощность пиковых водогрейных котлов -  $210 \times 103 \text{ кВт}$ .

### 8.3. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Топочные устройства (топки) по способу сжигания могут быть *слоевыми, камерными, вихревыми и комбинированными*. В слоевых топках топливо сжигается на колосниковой решетке в неподвижном или движущемся слое. Топочные устройства, в которых подача топлива в топку, перемещение топлива и удаление из топки шлака и золы механизированы, называются *механическими*. Топочные устройства, в которых механизированы только одна или две операции, называют *полумеханическими*. В камерах (факельных) топках топливо сгорает во взвешенном состоянии. При сжигании твердого топлива в камерных топках топливо предварительно размалывается. Твердое топливо с большим выходом летучих веществ и малым сопротивлением размолу (например, торф) может сжигаться в факельно-слоевых топках. При этом мелкие фракции сгорают во взвешенном состоянии, а крупные - в слое.

В вихревых топках топливо сгорает в закрученном потоке воздуха и частиц топлива. Очень высокие напряжения вихревых топок позволяют сжигать грубую угольную пыль и дробленый торф, что значительно снижает расход энергии на размол топлива. Логическим завершением развития вихревого сжигания топлива явилось применение циклонных топок.

Тип и конструкция топочного устройства в значительной мере определяют эффективность использования топлива.

Топки делятся на *слоевые, камерные, вихревые*.

При *слоевом* процессе сжигания топлива поток воздуха проходит через неподвижный или движущийся в поперечном направлении слой топлива.

При крупнозернистом топливе, находящемся во взвешенном состоянии и перемещающемся с потоком газа, образуется *кипящий слой*.

*Камерные* топки позволяют сжигать любое топливо - жидкое, газообразное и твердое пылевидное.

При *вихревом* топочном процессе частицы топлива организованно циркулируют по определенным траекториям до их полного сгорания где могут сжигаться более крупные частицы.

Пылеприготовление включает дробление кускового топлива, его сушку и помол.

*Экономайзеры* могут быть некипящего и кипящего типа в котором до 20% воды превращается в пар. В экономайзерах всех типов вода движется только с низу вверх.

*Пароперегреватели* находятся в топке или газоходе в виде ширм и настенных экранов.

*Пароводогрейные котлы* позволяют одновременно получать горячую воду и пар давлением 0,7-2,0 МПа.

Водогрейные котлы с давлением 0,3-0,4 МПа и температурой 390 К.

#### 8.4. ТЕПЛОВОЙ И ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНСЫ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛА

**Энергетический (тепловой) баланс котла.** Тепловой баланс работающего котла составляется на основе результатов тепловых испытаний с целью анализа эффективности работы котла и определения его КПД. При тепловом расчете проектируемого котла тепловой баланс составляется на 1 кг твердого (жидкого) топлива или на 1 м<sup>3</sup> газообразного (при 273 К и 0,1 МПа) на основе нормативных данных для определения расхода топлива.

Уравнение теплового баланса (в кДж/кг) имеет вид

$$Q_p = Q_{\text{топ}} + Q_{\text{уг}} + Q_x + Q_m + Q_{\text{но}} + Q_{\text{фш}}$$

где  $Q_p$  — располагаемая (внесенная в топку) теплота;  
 $Q_{\text{топ}}$  — теплота, использованная для выработки пара;  
 $Q_{\text{уг}}$ ,  $Q_x$ ,  $Q_m$ ,  $Q_{\text{но}}$  и  $Q_{\text{фш}}$  — потери теплоты соответственно с уходящими газами, от химической и механической неполноты сгорания, от наружного охлаждения и с физическим теплом шлаков.

На *рис. 8.1* приведена схема теплового баланса котла при наличии воздухоподогревателя. Теплота  $Q_{\text{мг}}$  дымовых газов, отдаваемая воздуху в воздухоподогревателе и вносимая обратно в топку с нагретым воздухом, показана в виде замкнутого потока, вследствие чего она в тепловом балансе не учитывается.

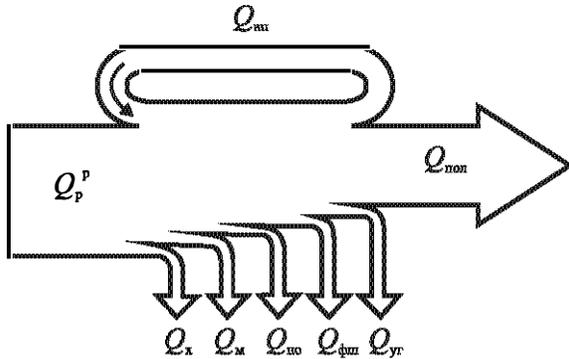


Рис. 8.1. Схема теплового баланса котла

Отношение полезно использованной в котле теплоты к располагаемой представляет КПД котла брутто

$$\eta_{бр} = Q_{поп} / Q_p^p = 1 - (Q_{уг} + Q_k + Q_m + Q_{ш} + Q_{фш}) / Q_p^p$$

или в %

$$\eta_{бр} = 100 - (q_{уг} + q_k + q_m + q_{ш} + q_{фш}).$$

КПД котельной установки, учитывающий расходы котла на собственные нужды (привод насосов, вентиляторов, дымососов и т. п.), составляющие около 4 %, называется КПД нетто. Располагаемая теплота

$$Q_p^p = Q_k + Q_{фш} + Q_{фш}^p$$

где  $Q_{фш}$  и  $Q_{фш}^p$  — количество теплоты, внесенное соответственно с подогретым вне котла воздухом и топливом (физическая теплота).

В большинстве случаев физическая теплота слишком мала, поэтому располагаемая теплота определяется только теплотой сгорания топлива так, что  $Q_p^p = Q_k$ . Полезно используемая теплота

$$Q_{поп} = D (i_{пв} - i_{нв}) / B,$$

где  $D$  — расход пара, кг/с;

$i_{нв}$  и  $i_{пв}$  — энтальпии соответственно перегретого пара и питательной воды, кДж/кг;

$B$  — расход топлива, кг/с.

## Потери с уходящими газами

$$Q_{\text{ут}} = i_{\text{гр}} - i_{\text{в}},$$

где  $i_{\text{гр}}$  и  $i_{\text{в}}$  — энтальпии соответственно уходящих газов и холодного воздуха.

Потери с уходящими газами (6—15%) зависят от избытка воздуха в топке и температуры газов. При проектировании котлов температуру уходящих газов принимают равной 390–450 К, потери от химической и механической неполноты сгорания топлива и во внешнюю среду задают в соответствии с нормами теплового расчета.

При эксплуатации котлов потери от химической неполноты сгорания (0—2%) находят по содержанию в дымовых газах продуктов неполного сгорания ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$ ), определяемому на основе химического анализа дымовых газов. Потери от механической неполноты сгорания (1—12%) оценивают по содержанию горючих веществ в шлаке и золе. Потери от наружного охлаждения (0,5—3%) зависят от производительности котла, при эксплуатации их определяют на основе теории теплообмена по данным измерения температуры наружных стен котла и окружающего воздуха. Потери с физическим теплом шлаков зависят от количества удаляемых из котла шлаков, их теплоемкости и температуры. В большинстве случаев они незначительны, но при жидком шлакоудалении они увеличиваются до 1—5%.

**Эксергетический баланс котла.** КПД котла, полученный на основе теплового баланса, учитывает лишь потери энергии в установке и не отражает качественных изменений, сопровождающих реальные необратимые процессы. При необратимых процессах в соответствии со вторым законом термодинамики происходит обесценивание энергии, т. е. потеря ею способности передаваться в форме работы. Оценка эффективности работы котла с точки зрения второго закона термодинамики может быть осуществлена на основе баланса эксергии. Эксергия

$$\mathcal{E} = (i - i_0) - T_0 (S - S_0),$$

где  $i$  и  $i_0$ ,  $S$  и  $S_0$  — энтальпия и энтропия рабочего тела соответственно в исходном состоянии и в состоянии равновесия с окружающей средой;

$T_0$  — температура окружающей среды.

## Эксергия теплоты

$$\mathcal{E}_q = \int (1 - T_0/T) dQ.$$

## Эксергетический КПД котла

$$\eta_s = \mathcal{E}_{\text{пол}} / \mathcal{E}_p = 1 - \sum \mathcal{E}_i / \mathcal{E}_p,$$

где  $\mathcal{E}_{\text{пол}}$  — полезно использованная эксергия;

$\mathcal{E}_p$  — располагаемая эксергия;

$\sum \mathcal{E}_i$  — потери эксергии вследствие необратимости процессов (горения, теплообмена, смешения и т. п.).

## Располагаемая эксергия в котле

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_\tau + \mathcal{E}_\nu,$$

где  $\mathcal{E}_\tau$  и  $\mathcal{E}_\nu$  — эксергия соответственно топлива и воздуха, поступающих в топку.

Полезно использованной эксергией является изменение эксергии питательной воды ( $\mathcal{E}_{\text{ис}}$ ) при превращении ее в перегретый пар ( $\mathcal{E}_{\text{ис}}$ ).

Потери эксергии при горении

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_\tau + \mathcal{E}_\nu - \mathcal{E}_{\text{ис}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ис}}$  — эксергия продуктов сгорания в топке при адиабатной температуре.

Потери эксергии при теплообмене

$$\Delta \mathcal{E}_r = (\mathcal{E}_1' - \mathcal{E}_1'') - (\mathcal{E}_2'' - \mathcal{E}_2') = -\Delta \mathcal{E}_1 - \Delta \mathcal{E}_2,$$

где  $\Delta \mathcal{E}_1$  — уменьшение эксергии греющего теплоносителя (продуктов сгорания);

$\Delta \mathcal{E}_2$  — увеличение эксергии нагреваемого теплоносителя (воды и пара). Потери эксергии при смешении потоков, например, при подсосе воздуха,

$$\Delta \mathcal{E}_{см} = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) - \mathcal{E}_{см},$$

где  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  — эксергии смешивающихся потоков;  
 $\mathcal{E}_{см}$  — эксергия смеси.

Потери эксергии при охлаждении и с отходящими газами определяются по уравнениям соответственно

$$\mathcal{E}_q = \int (1 - T_0/T) dQ \quad \text{и} \quad \mathcal{E} = (i - i_0) - T_0 (S - S_0).$$

Анализ показывает, что энергетический (тепловой) КПД котла существенно отличается от эксергетического. Если энергетический КПД котла равен примерно 90%, то его эксергетический КПД составляет только около 45%. Основной потерей теплоты по энергетическому балансу является потеря с уходящими газами (более 7%), которая по эксергетическому балансу составляет лишь около 1%. Основными потерями по эксергетическому балансу являются потери от неравновесности процессов горения и теплообмена (около 25% в год). Уменьшению потерь по эксергетическому балансу (при горении и теплообмене) способствует повышение подогрева воздуха и повышение параметров пара.

## 8.5. ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ

Теплоисточники обеспечивают превращение энергии сгораемого топлива в тепловую энергию.

*Горение* — это химическое соединение горючих веществ топлива с кислородом воздуха, сопровождающееся резким повышением температуры и выделением значительного количества тепла. При горении топлива образуются газообразные продукты (дымовые газы) и очаговые остатки в виде золы и шлака. Условно процесс сжигания твердого топлива делят на три стадии: воспламенение (зажигание), активное горение и дожигание. В первой стадии твердое топливо вначале подогревается и подсушивается и при температуре 105—110° С теряет свою влагу. При дальнейшем повышении температуры топливо начинает разлагаться на летучие вещества и твердый остаток — кокс. Этот процесс наиболее бурно протекает при температуре 300—400° С. При дальнейшем нагреве, когда температура становится равной температуре воспламенения, топливо загорается. Температура воспламенения (примерная) различных топлив следующая: торф — 225° С; дрова —

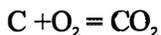
300° С; бурый уголь — 300—400° С; каменный уголь — 450—500° С; антрацит — 700—750° С; жидкое топливо — 500—600° С; газ около 600° С. Стадия активного горения характеризуется высокой температурой (более 1000° С) с максимальным выделением тепла и наибольшим потреблением воздуха (кислорода), расходуемого на горение кокса и летучих горючих веществ.

Дожигание твердого топлива характеризуется уменьшающимся тепловыделением и снижающейся потребностью в воздухе. Развитие этой стадии часто затягивается из-за обволакивания частиц кокса золой, которая затрудняет доступ воздуха к ним, что особенно часто бывает у топлива с легкоплавкой золой.

Горение жидкого топлива происходит в основном в парогазовой среде, когда в результате предварительного подогрева оно переходит из жидкого состояния в паробразное. Так как температура кипения жидкого топлива значительно ниже температуры его воспламенения, то вначале оно испаряется, а затем воспламеняется (вначале легкие фракции, а затем тяжелые). Интенсивность испарения топлива зависит от площади испарения и количества подводимой теплоты. Скорость испарения резко увеличивается при распыливании топлива на отдельные капли с помощью специальных устройств — форсунок.

Горение газообразного топлива включает следующие стадии: смешивание газа с воздухом (образование горючей смеси), нагревание смеси до температуры воспламенения и собственно горение. Сгорание бывает *полное* и *неполное*. При полном сгорании углерод топлива, соединяясь с кислородом, образует углекислый газ  $\text{CO}_2$ , водород — водяные пары  $\text{H}_2\text{O}$  и сера — сернистый газ  $\text{SO}_2$ . При этом уходящие из топки газы в своем составе не будут иметь горючих элементов. При неправильном обслуживании топки появляется неполное сгорание топлива, когда не вся химическая энергия топлива преобразуется в теплоту, а часть ее остается в уходящих газах и выбрасывается через дымовую трубу в атмосферу. О том, насколько выгоднее полное сгорание топлива по сравнению с неполным, видно из следующих расчетов.

При полном сгорании углерода химическая реакция протекает в соответствии с уравнением



или  $12 \text{ кг C} + 32 \text{ кг O}_2 = 44 \text{ кг CO}_2$ ; при расчете на 1 кг C получим  $1 \text{ кг C} + 2,67 \text{ кг O}_2 = 3,67 \text{ кг CO}_2 + 8050 \text{ ккал/кг}$ . Из этого равенства следует, что для сжигания 1 кг углерода требуется 2,67 кг кислорода. При этом выделяет-

ся 3,67 кг углекислого газа и 8050 ккал/кг теплоты.

При неполном сгорании углерода реакция протекает по уравнению



или  $12 \text{ кг } C + 16 \text{ кг } O_2 = 28 \text{ кг } CO$ ; при пересчете на 1 кг С получим 1 кг С + 1,33 кг  $O_2 = 2,33 \text{ кг } CO + 2370 \text{ ккал/кг}$ . Как видно, при неполном сгорании 1 кг углерода потребляется 1,33 кг кислорода и образуется 2,33 кг оксида углерода, а выделяется только 2370 ккал/кг теплоты, т. е. примерно в 3,4 раза меньше, чем при полном сгорании. Поэтому очень важно при сжигании топлива не допускать образования оксида углерода, так как наличие его в продуктах сгорания приводит к потере теплоты, которая называется «*потери от химического недожога*».

Расчет процесса горения топлива обычно сводится к определению количества воздуха, необходимого для горения, а также состава и количества образующихся газообразных продуктов. Эти данные можно получить из элементарных уравнений химических реакций горючих элементов топлива с кислородом воздуха.

**Количество воздуха, необходимого для сжигания топлива.** Количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг твердого (жидкого) или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива, определяют на основании реакции горения и рабочего состава топлива. При горении из воздуха используется только кислород. Для полного сжигания 1 кг твердого или жидкого топлива требуется кислорода, кг/кг:

$$G_{O_2} = \frac{2,67C^P + 8H^P + S^P - O^P}{100}$$

где  $C^P$ ,  $H^P$ ,  $S^P$  и  $O^P$  — содержание углерода, водорода, серы и кислорода в топливе, %.

Учитывая, что в сухом воздухе содержится кислорода по массе примерно 23%, а по объему 21%, количество воздуха  $L_0$ , кг, расходуемое при полном сжигании 1 кг топлива, составит:

$$L_0 = \frac{2,67C^P + 8H^P + S^P - O^P}{0,23 \cdot 100} = 0,115C^P + 0,345H^P + 0,043(S^P - O^P)$$

Расход воздуха принято измерять в объемных единицах — кубических метрах. Приняв плотность воздуха при нормальных условиях

(давление 760 мм рт. ст.; температура 0° С) равной 1,293 кг/м<sup>3</sup>, определим теоретически необходимый объем воздуха для сжигания 1 кг топлива  $V_0$ , м<sup>3</sup>/кг:

$$V_0 = \frac{L_0}{1,293} = 0,089C^P + 0,266H^P + 0,033(S^P - O^P)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания газообразного топлива, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> определяется по уравнению

$$v_0 = 0,0476 [0,5 CO + 0,5 H_2 + 1,5 H_2S + \sum (m + \frac{n}{4}) \cdot C_n - O_2]$$

где  $\sum (m + \frac{n}{4}) C_m H_n$  — различные углеводороды, входящие в состав газа, %.

Количество воздуха, вычисленное по указанным уравнениям, является минимальным для обеспечения полного сгорания топлива при условии, что весь кислород, содержащийся в воздухе и топливе, будет использован при горении.

В реальных условиях для обеспечения полного сгорания топлива приходится подавать значительно большее количество воздуха, чем теоретически необходимо. Это объясняется главным образом недостаточно тщательным смешиванием топлива с воздухом, из-за чего часть воздуха не участвует в горении и удаляется из точки вместе с продуктами сгорания.

Отношение действительного количества воздуха  $V_n$ , м<sup>3</sup>/кг, расходоуемого на горение топлива, к теоретически необходимому  $V_0$  называется коэффициентом избытка воздуха, т. е.

$$\alpha = V_n / V_0$$

откуда

$$V_n = \alpha V_0$$

Коэффициент избытка воздуха всегда больше единицы и зависит от сорта сжигаемого топлива, способа его сжигания и конструктивных особенностей топочных устройств. При сжигании жидкого и газообразного топлива коэффициент  $\alpha$  имеет меньшие значения, при сжигании твердого топлива — большие значения. При движении дымовых газов

по газовому тракту коэффициент  $\alpha$  изменяется от минимального значения (в топке) до максимального (у основания дымовой трубы), что обусловлено подсосом воздуха через неплотности обмуровки и разрежением в газоходах котла. В связи с этим различают коэффициент избытка воздуха в топке, за котлом, перед дымовой трубой и т. п.

Для эксплуатируемых котельных коэффициент избытка воздуха может быть установлен по данным анализа дымовых газов. В случае полного сгорания топлива коэффициент избытка воздуха определяется по формуле

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}}$$

где  $RO_2 = CO_2 + SO_2$  — содержание в продуктах сгорания в процентах по объему углекислоты и сернистого газа;  
 $O_2$  — кислород, в % по объему.

При неполном сгорании коэффициент избытка воздуха определяется по формуле

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5CO}{100 - (RO_2 + CO + O_2)}}$$

где  $CO$  — содержание оксида углерода в продуктах сгорания, в % по объему.

В этих формулах азот топлива в расчете не учитывался.

## 8.6. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Оксьюглерода ( $CO$ ) - 3 018 ккал/м<sup>3</sup>

Метан ( $CH_4$ ) - 8 556 ккал/м<sup>3</sup>

Пропан ( $C_3H_8$ ) - 21 795 ккал/м<sup>3</sup>

Бензол ( $C_6H_6$ ) - 33 528 ккал/м<sup>3</sup>

**Условное топливо.** Теплота сгорания условного топлива принимается 7000 ккал/к.

Для перевода натурального топлива  $B_n$  в условное  $B_{уск}$ . Необходимо умножить  $B_n$  на величину топливного эквивалента:

**Уголь:** «Донецкий» - 0,92  
«Подмосковный» - 0,38  
«Карагадинский» - 0,79  
«Экибастузский» - 0,60  
«Челябинский» - 0,52  
Дрова - 0,27

**Жидкое топливо, газ:**

Мазут - 1,37  
Дизельное - 1,45  
Природный газ - 1,25  
Сжиженный газ - 1,7

Особое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии: солнечная энергия, энергия ветра, энергия биомассы, включая различные отходы, геотермальная энергия, энергия малых рек, энергия приливов, волновая энергия, определяемая разностью температур по глубине океана.

Ядерная энергетика, и хотя доля ее составляет всего 15%, она является основной на перспективу. Сегодня важным является развитие малых ядерных электростанций, работающих в автоматическом режиме. Выработанное тепло на тепловых станциях используется на нагрев воды - пара с начальными параметрами пара 13 МПа, 565 °С который направляется на вращение турбины. Сработанный пар низкого давления (около 0,05 - 0,25 МПа отводится для подогрева сетевой воды, циркулирующей в тепловой сети. Под термином «теплофикация» понимается энергоснабжение на базе комбинированной, т.е. совместной выработки электрической и тепловой энергии в одной установке.

Во всех случаях вода и топливо являются технологически неразделимыми составляющими и характеризуется едиными законами физики, термодинамики механики жидкости.

При проектировании ТЭЦ, независимо от вида топлива, необходимым является устойчивое водоснабжение из расчета 5-10 м<sup>3</sup> на 1 тонну сжигаемого угля или другого топлива соответственной calorийности.

**Расчет calorиметрической температуры топлива.** Для определения  $T_{\text{кэл}}$  используется метод последовательного приближения с использованием calorиметра где сжигается топливо с регулировкой концентрации кислорода и измеряется количество получившегося тепла.

Увеличение коэффициента расхода воздуха приводит к увеличению количества продуктов сгорания и снижению температур горения.

Обогащение воздуха кислородом, наоборот, уменьшает количество продуктов сгорания и повышает температуру горения.

Отношение действительной температуры горения  $T_d$  и calorиметрической  $T_{\text{квл}}$  называется *пирометрическим коэффициентом*.

$$\eta = \frac{T_d}{T_{\text{квл}}}$$

что используется при расчете горения топлива.

Для предварительных расчетов можно принимать следующее значение удельных расходов условного топлива (брутто) на выработку электрической энергии на твердом топливе:  $B_{\text{т}}^{\text{э}} = 0,165-0,170 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$  при газовом топливе уменьшается на 4-5%.

Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии (нетто) можно увеличивать на 20-25%, при выработке тепловой энергии удельный расход увеличивается на уровень потерь в теплосистеме.

Следует выдерживать постоянно теплоизоляцию теплоносителей.

Тепловой насос - устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдатчика с низкой температурой (чаще всего окружающей среды) к теплоприемнику с высокой температурой.

Процессы, происходящие в теплонасосах, подобны процессам, осуществляемым рабочим телом в холодильной машине. При этом потребляется меньшее количество электроэнергии для привода самого теплового насоса.

## Глава 9

### РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

#### 9.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ТОПЛИВА

Твёрдое топливо состоит из горючих и негорючих элементов и баласта. При изучении характеристик топлива различают рабочую, горючую и сухую массу. Состав рабочей, горючей и сухой массы обозначают соответственно индексами «Р, Г, С». Для расчёта взяли кизеловский уголь марки Г, с следующим содержанием элементов:  $C^p=30,6\%$ ,  $H^p=2,4\%$ ,  $S_{\text{оп}}^p=1,3\%$ ,  $S_{\text{к}}^p=1,5\%$ ,  $N^p=0,6\%$ ,  $O^p=9,2\%$ ,  $W^p=33\%$ ,  $A^p=21,4\%$ ,  $V^r=47\%$ ,  $V_0=3,14 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $Q_{\text{н}}^p=2670 \text{ ккал/кг}$ .

Находим зольность сухой и горючей массы:

$$A^c = A^p \cdot (100 / 100 - W^p) = 21,4 \cdot (100 / 100 - 33) = 32\%$$

$$A^r = A^p \cdot (100 / (100 - (A^p + W^p))) = 21,4 \cdot (100 / 100 - (21,4 + 33)) = 47\%$$

Определяем состав горючей массы топлива:

$$C^r = C^p \cdot (100 / (100 - (A^p + W^p))) = 30,6 \cdot (100 / (100 - (21,4 + 33))) = 67\%$$

$$H^r = H^p \cdot (100 / (100 - (A^p + W^p))) = 2,4 \cdot (100 / (100 - (21,4 + 33))) = 5\%$$

$$S_{\text{н}}^r = S_{\text{н}}^p \cdot (100 / (100 - (A^p + W^p))) = 2,8 \cdot (100 / (100 - (21,4 + 33))) = 6\%$$

$$S_{\text{оп}}^r = S_{\text{оп}}^p + S_{\text{к}}^p = 1,3 + 1,5 = 3\%$$

$$N^r = N^p \cdot (100 / (100 - (A^p + W^p))) = 0,6 \cdot (100 / (100 - (21,4 + 33))) = 1,3\%$$

$$O^r = O^p \cdot (100 / (100 - (A^p + W^p))) = 9,2 \cdot (100 / (100 - (21,4 + 33))) = 20\%$$

$$C^r + H^r + S_{\text{н}}^r + S_{\text{оп}}^r + K^r + O^r = 67 + 5 + 6 + 3 + 1 + 20 = 100\%$$

где: С — углерод, его содержание в горючей смеси;

Н — водород;

S — летучая сера;

N — азот, его содержание в негорючих элементах;

О — кислород;  
 А — содержание золы в балансе;  
 W — содержание влаги.

Находим состав сухой массы топлива:

$$\begin{aligned}
 C^c &= C^p \cdot (100 / (100 - W^p)) = 30,6 \cdot (100 / (100 - 33)) = 45,6\% \\
 H^c &= H^p \cdot (100 / (100 - W^p)) = 2,4 \cdot (100 / (100 - 33)) = 3,57\% \\
 S_x^c &= S_x^p \cdot (100 / (100 - W^p)) = 3 \cdot (100 / (100 - 33)) = 4,47\% \\
 S_x^p &= S_x^c \cdot (100 / (100 - W^p)) = 4,47 \cdot (100 / (100 - 33)) = 6,66\% \\
 N^c &= N^p \cdot (100 / (100 - W^p)) = 1 \cdot (100 / (100 - 33)) = 1,49 \\
 O^c &= O^p \cdot (100 / (100 - W^p)) = 9,2 \cdot (100 / (100 - 33)) = 13,7\% \\
 C^c + H^c + S_x^c + N^c + O^c &= 45,6 + 3,57 + 4,47 + 6,66 + 1,49 + 13,7 = 100\%
 \end{aligned}$$

Определяем теплоту сгорания топлива.

Теплотой сгорания топлива называют - количество теплоты в кДж, выделяемой при полном сгорании 1 кг твёрдого топлива. Тепловые расчёты котлов выполняют, пользуясь низшей теплотой сгорания топлива. Низшая теплота сгорания угля задана  $Q_x^p = 2670$  кДж/кг или 11,2 МДж/кг или  $Q_x^p = 11200$  кДж/кг,  $H^p = 2,4$  %.

Находим рабочую теплоту сгорания топлива:

$$Q_x^p = Q_x^p + 225H^p + 25W^p = 11200 + 225 \cdot 2,4 + 25 \cdot 33 = 12565 \text{ кДж/кг}$$

Производим пересчёт расхода натурального топлива на условное:

$$V_y = V \cdot \text{Э}$$

где:  $V_y$ ,  $V$  — расход условного и натурального топлива;

$\text{Э}$  — тепловой эквивалент топлива,

$$\text{Э} = Q_x^p / 29300 = 11200 / 29300 = 0,38$$

Определение зольности, влажности и сернистости топлива.

При рассмотрении условий работы котлов на различных видах топлива пользуются приведёнными величинами зольности  $A_{\text{зр}}$ , влажности  $W_p$  и сернистости  $S_{\text{зр}}$  топлива.

Находим приведённую зольность топлива:

$$A_{\text{пр}} = 4190 * A^p / Q_{\text{н}}^p = 4190 * 21,4 / 11200 = 8 \text{ кг} * \% * 10^{-3} / \text{кДж}$$

Находим приведённую влажность топлива:

$$W_{\text{пр}} = 4190 * W^p / Q_{\text{н}}^p = 4190 * 33 / 11200 = 12,3 \text{ кг} * \% * 10^{-3} / \text{кДж}$$

Находим приведённую сернистость топлива:

$$S_{\text{пр}} = 4190 * S_{\text{н}}^p / Q_{\text{н}}^p = 4190 * 3 / 11200 = 1,1 \text{ кг} * \% * 10^{-3} / \text{кДж}$$

## 9.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ВОЗДУХА, ОБЪЕМА И МАССЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ

Объём воздуха, объём и масса продуктов сгорания определяют на 1 кг твёрдого, жидкого или на 1 м<sup>3</sup> сухого газообразного топлива при нормальных условиях.

Находим действительный объём воздуха поступившего в топку:

$$V_{\text{а}} = \alpha_{\text{т}} * V^0 = 1,42 * 3,14 = 4,46 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

где:  $\alpha_{\text{т}}$  — коэффициент избытка воздуха в топке.

Определяем состав и объём продуктов сгорания топлива.

При полном сгорании топлива продукты сгорания содержат следующие газы: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и пары воды H<sub>2</sub>O.

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 100\%$$

Для твёрдых и жидких топлив теоретические объёмы продуктов полного сгорания определяются по формуле:

объём двухатомных газов

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 * V^0 + 0,8 * N^p / 100 = 0,79 * 3,14 + 0,8 * 0,6 / 100 = 2,5 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

объём трёхатомных газов

$$V_{\text{RO}_2} = 0,0187 * (C^p + 0,375 * S_{\text{н}}^p) = 0,0187 * (30,6 + 0,375 * 3) = 0,6 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

объём сухих газов

$$V_{\text{ср}}^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 = 0,6 + 2,5 = 3,1 \text{ м}^3/\text{кг}$$

объём водяных паров

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,0124 * (9 * \text{H}^p + \text{W}^p) + 0,0161 * V^0 = 0,0124 * (9 * 2,4 + 33) + 0,0161 * 3,14 = 0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{\text{ср}} = V_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{N}_2}^0 + (\alpha_r - 1) * V^0 = 0,6 + 2,5 + (1,42 - 1) * 3,14 = 4,4 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 * (\alpha_r - 1) * V^0 = 0,7 + 0,0161 * (1,42 - 1) * 3,14 = 0,72 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_r = V_{\text{ср}} + V_{\text{H}_2\text{O}} = 4,4 + 0,72 = 5,12 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Определяем содержание  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{RO}_2$  в сухих газах при полном сгорании топлива:

$$\text{CO}_2 = (V_{\text{CO}_2} / V_{\text{ср}}) * 100 = (0,0187 * \text{C}^p / V_{\text{ср}}) * 100 = (0,0187 * 30,6 / 4,4) * 100 = 13\%$$

$$\text{SO}_2 = (V_{\text{SO}_2} / V_{\text{ср}}) * 100 = (0,0187 * 0,375 * \text{S}^p / V_{\text{ср}}) * 100 = (0,0187 * 0,375 * 2,8 / 4,4) * 100 = 0,5\%$$

$$\text{RO}_2 = (V_{\text{RO}_2} / V_{\text{ср}}) * 100 = (0,6 / 4,4) * 100 = 14\%$$

Находим содержание азота  $\text{N}_2$  и кислорода  $\text{O}_2$  в сухих газах при полном сгорании топлива:

$$\text{N}_2 = 100 - \text{RO}_2 - \text{O}_2 = 100 - 14 - 5,7 = 80,3\%$$

$$\text{O}_2 = 21 - \beta \text{RO}_2 - \text{RO}_2 = 21 - 0,093 * 14 - 14 = 5,7\%$$

Определяем массу продуктов сгорания.

Для твёрдого топлива масса продуктов сгорания определяется по формуле:

$$M_r = 1 - 0,01 * \text{A}^p + 1,306 * \alpha_r * V^0 = 1 - 0,01 * 21,4 + 1,306 * 1,42 * 3,14 = 6,6 \text{ кВт/кг}$$

концентрация золы в продуктах сгорания:

$$\mu_{\text{зд}} = \text{A}^p * a_{\text{ун}} / 100 * M_r = 21,4 * 0,9 / 100 * 6,6 = 0,03$$

где:  $a_{y_a}$  — доля золы топлива, уносимой продуктами сгорания.

Находим коэффициент избытка воздуха. При полном сгорании топлив, исходя из полученных данных, определяем коэффициент избытка воздуха по формуле:

$$\alpha_r = 21 / (21 - 79 * (O_2/N_2)) = 21 / (21 - 79 * (5,7/80,3)) = 1,4$$

### 9.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ВОЗДУХА

Энтальпия продуктов сгорания (кДж/кг, кДж/м<sup>3</sup>) 1 кг твердого, жидкого или 1 м<sup>2</sup> газообразного топлива определяется как сумма энтальпий продуктов сгорания  $I_r^0$  при  $\alpha_r = 1$ , избыточного воздуха  $I_n^0$  ( $\alpha_r - 1$ ) и золы  $I_3$  (если  $A_{зр.ул} > 1,43 \text{ кг} \cdot \% \cdot 10^3 / \text{кДж}$ ), т.е.

$$I_r = I_r^0 + (\alpha_r - 1) * I_n^0 + I_3$$

Энтальпия продуктов сгорания (кДж/кг, кДж/м<sup>3</sup>) при  $\alpha_r = 1$  и температуре газов  $\nu$ , °С определяется по формуле:

$$I_r^0 = V_{RO_2} * (c^* \nu)_{CO_2} + V_{N_2}^0 * (c^* \nu)_{N_2} + V_{H_2O}^0 * (c^* \nu)_{H_2O} = 0,6 * 2202 + 2,5 * 1394 + 0,7 * 1725 = 6013,7 \text{ кДж/кг}$$

где:  $V_{RO_2}$ ,  $V_{N_2}^0$ ,  $V_{H_2O}^0$  — теоретические объемы продуктов сгорания топлива, м<sup>3</sup>/кг

$(c^* \nu)_{CO_2}$ ,  $(c^* \nu)_{N_2}$ ,  $(c^* \nu)_{H_2O}$  — энтальпии углекислоты, азота и водяных паров, кДж/кг.

Определяем энтальпию воздуха при  $\alpha = 1$  и  $(c\nu)_a = 1436 \text{ кДж/кг}$ :

$$I_n^0 = V^0 * (c\nu)_a = 3,14 * 1436 = 4509 \text{ кДж/кг}$$

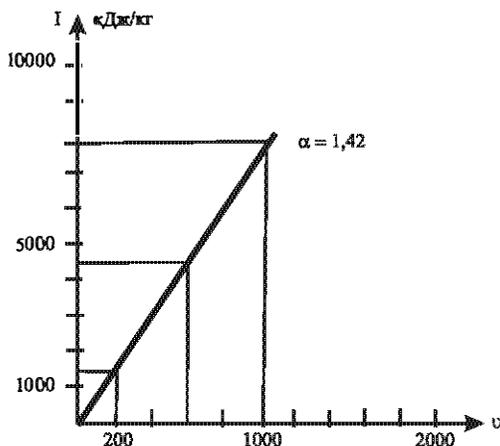
Определяем энтальпию золы при  $(c\nu)_3 = 984 \text{ кДж/кг}$

$$I_3 = (A^p * a_{y_a} / 100) * (c\nu)_3 = (21,4 * 0,9 / 100) * 984 = 189,5 \text{ кДж/кг}$$

Определяем энтальпию продуктов полного сгорания топлива (1 кг топлива при  $\nu = 1000^\circ\text{C}$ ).

$$I_r = I_r^0 + (\alpha_x - 1) * I_x^0 + I_3 = 6013,7 + (1,42 - 1) * 4509 + 189,5 = 8097 \text{ кДж/кг}$$

Строим  $I\nu$  – диаграмму для продуктов сгорания (рис. 1) при  $\nu = 600^\circ\text{C}$  и  $c\nu = 1222 \text{ кДж/м}^3$ .  $I_{N_2} = 804$ ;  $I_{O_2} = 850$ ;  $I_{H_2O} = 967$ ;  $I_v = 830$ ;  $I_3 = 561$ ; при  $\nu = 200$ ;  $(c\nu)_{CO_2} = 357$ ;  $I_{N_2} = 260$ ;  $I_{H_2O} = 304$ ;  $I_{O_2} = 267$ ;  $I_v = 266$ ;  $I_3 = 169,1$ .



Определяем энтальпию продуктов сгорания при  $\nu = 600^\circ\text{C}$ :

$$I_r^0 = V_{CO_2} * (c * \nu)_{CO_2} + V_{N_2}^0 * (c * \nu)_{N_2} + V_{H_2O}^0 * (c * \nu)_{H_2O} = 0,6 * 1222 + 2,5 * 804 + 0,7 * 967 = 3420 \text{ кДж/кг}$$

Определяем энтальпию золы при  $\nu = 600^\circ\text{C}$ :

$$I_3 = (A^p * a_{yn} / 100) * (c\nu)_3 = (21,4 * 0,9 / 100) * 560,6 = 108 \text{ кДж/кг}$$

Определяем энтальпию воздуха при  $\nu = 600^\circ\text{C}$ :

$$I_v^0 = V^0 * (c\nu)_v = 3,14 * 830 = 2606 \text{ кДж/кг}$$

$$I_r = 3420 + (1,42 - 1) * 2606 + 108 = 4623 \text{ кДж/кг}$$

Определяем энтальпию продуктов сгорания при  $v = 200$  °С:

$$I_r^0 = V_{\text{CO}_2}^0 * (c * v)_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 * (c * v)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 * (c * v)_{\text{H}_2\text{O}} = 0,6 * 357 + 2,5 * 260 + 0,7 * 304 = 1077 \text{ кДж/кг}$$

Определяем энтальпию золы при  $v = 200$  °С:

$$I_3 = (A^p * a_{\text{уа}} / 100) * (cv)_3 = (21,4 * 0,9 / 100) * 169,1 = 32,6 \text{ кДж/кг}$$

Определяем энтальпию воздуха при  $v = 200$  °С:

$$I_s^0 = V^0 * (cv)_s = 3,14 * 266 = 835 \text{ кДж/кг}$$

$$I_r = 1077 + 0,42 * 835 + 32,6 = 1460 \text{ кДж/кг}$$

#### 9.4. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА

Тепловым балансом называют распределение теплоты, вносимой в котло-агрегат при сжигании топлива, на полезно использованную теплоту и тепловые потери. Тепловой баланс составляется на 1 кг твёрдого (жидкого) топлива или на 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива применительно к установившемуся тепловому состоянию котельного агрегата.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

где:  $Q_p^p$  — располагаемая теплота;

$Q_1$  — теплота полезно использованная в котлоагрегате на получение пара;

$Q_2$  — потери тепла с уходящими газами;

$Q_3$  — потери тепла от химической неполноты сгорания топлива;

$Q_4$  — потери тепла от механической неполноты сгорания топлива;

$Q_5$  — потери тепла в окружающую среду;

$Q_6$  — потери тепла с физической теплотой шлака.

Задаёмся котельным агрегатом паропроизводительностью  $D = 13,4$  т/ч, температурой топлива при входе в топку  $t_r = 20$  °С, натуральный расход топлива  $B = 4$  кг/с, давление перегретого пара  $P_{\text{шт}} = 4$  МПа, температура перегретого пара  $t_{\text{шт}} = 450$  °С, температура питательной

воды  $t_{\text{м}} = 150$  °С, величина непрерывной продувки  $P = 4$  %, теоретический объём воздуха необходимый для сгорания 1 кг топлива  $V^0 = 2,94$  м<sup>3</sup>/кг, объём уходящих газов на выходе из последнего газохода  $V_{\text{ух}} = 4,86$  м<sup>3</sup>/кг, температура уходящих газов на выходе из последнего газохода  $t_{\text{ух}} = 160$  °С, средняя объёмная теплоёмкость газов при постоянном давлении  $c_{\text{р,ух}} = 1,415$  кДж/(м<sup>3</sup>К), коэффициент избытка воздуха за последним газоходом  $\alpha_{\text{ух}} = 1,48$ , температура воздуха в котельной  $t_{\text{а}} = 30$  °С, средняя объёмная теплоёмкость воздуха при постоянном давлении  $c_{\text{в}} = 1,297$  кДж/(м<sup>3</sup>К), содержание в уходящих газах оксида углерода  $\text{CO} = 0,2$  % и трёхатомных газов  $\text{RO}_2 = 16,6$  % и потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива  $q_4 = 4$  %. Потерями теплоты с физической теплотой шлага пренебрегаем.

Определяем низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 338 * C^{\text{р}} + 1025 * H^{\text{р}} - 108,5 * (O^{\text{р}} * S^{\text{р}}) - 25 * W_{\text{р}} = \\ = 338 * 30,6 + 1025 * 2,4 - 108,5 * (9,2 - 2,5) - 25 * 33 = 11251 \text{ кДж/кг}$$

Определяем теплоёмкость рабочей массы топлива:

$$c_{\text{т}}^{\text{р}} = c_{\text{т}}^{\text{с}} * (100 - W^{\text{р}}) / 100 + c_{\text{H}_2\text{O}} * W / 100 = 1,088 * (100 - 33) / 100 + \\ + 4,19 * 33 / 100 = 2,11 \text{ кДж/(кг*К)}$$

где:  $c_{\text{т}}^{\text{с}}$ ,  $c_{\text{H}_2\text{O}}$  — теплоёмкости сухой массы твёрдого топлива и воды;

Определяем физическую теплоту топлива:

$$Q_{\text{м}} = c_{\text{т}}^{\text{р}} * t_{\text{р}} = 2,11 * 20 = 42,2 \text{ кДж/кг}$$

Находим располагаемую теплоту:

$$Q_{\text{п}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{м}} = 11251 + 42,2 = 11293,2 \text{ кДж/кг}$$

Определяем теплоту полезно использованную в котлоагрегате:

$$Q_1 = (D_{\text{м}} / B) * [(t_{\text{м}} - t_{\text{м}}) + (P / 100) * (t_{\text{м}} - t_{\text{м}})] = (13,4 / 4) * [(3330 - \\ - 632) + (4 / 100) * (1087,5 - 632)] = 9099 \text{ кДж/кг}$$

где:  $l_{шт}$  — энтальпия пара;

$l_{тв}$  — энтальпия питательной воды;

$l_{кв}$  — энтальпия котловой воды.

Определяем потери тепла с уходящими газами:

$$Q_2 = (V_{ух} * c_{рух} * \nu_{ух} - \alpha_{ух} * V^0 * c_{рв} * t_3) * (100 - q_4) / 100 = (4,86 * 1,415 * 160 - 1,48 * 3,14 * 1,297 * 30) * (100 - 4) / 100 = 883 \text{ кДж/кг}$$

Определяем потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_3 = 237 * (C^p + 0,375 * S^p) * CO / (RO_2 + CO) = 237 * (30,6 + 0,375 * 2,5) * 0,2 / (16,6 + 0,2) = 89 \text{ кДж/кг}$$

Определяем потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_4 = q_4 * Q_p^p / 100 = 4 * 11293,2 / 100 = 451,7 \text{ кДж/кг}$$

Определяем потери теплоты в окружающую среду:

$$Q_5 = Q_p^p - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = 11293,2 - (9099 + 883 + 89 + 451,7) = 770,5 \text{ кДж/кг}$$

Составляем тепловой баланс:

$$q_1 = (Q_1 / Q_p^p) * 100 = (9099 / 11293,2) * 100 = 80,6 \%$$

$$q_2 = (Q_2 / Q_p^p) * 100 = (883 / 11293,2) * 100 = 7,8 \%$$

$$q_3 = (Q_3 / Q_p^p) * 100 = (89 / 11293,2) * 100 = 0,8 \%$$

$$q_4 = (Q_4 / Q_p^p) * 100 = (451,7 / 11293,2) * 100 = 6,8 \%$$

Тепловой баланс котельного агрегата согласно формуле:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 9099 + 883 + 89 + 451,7 + 770,5 = 11293,2 \text{ кДж/кг}$$

Тепловой баланс в процентах:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 80,6 + 7,8 + 0,8 + 4 + 6,8 = 100 \%$$

**Анализируя результаты расчетов, можно сделать следующие выводы:**

Сложность химических явлений в процессе горения заключается в том, что два рабочих вещества - топливо и окислитель, находясь в относительно устойчивом молекулярном состоянии, прежде чем ассоциироваться в новые более устойчивые молекулы продуктов горения, проходят сложные цепи разрушительных и рекомбинационных процессов, находясь в этом промежуточном периоде в неустойчивом состоянии в виде атомов, радикалов, окислов и перекисей с относительно большой степенью ионизации.

Эти промежуточные вещества за время своего краткосрочного существования реагируют между собой и с поступающими в их зону первичными молекулами топлива и окислителя, создавая последовательные и параллельно разветвляющиеся цепи промежуточных, так называемых "элементарных", реакций. Реагирующие в них неустойчивые, лишённые части защитной поверхностной электронной оболочки вещества, т.е. вещества со свободными валентностями, называются *активными центрами*.

Скорость отдельных элементарных реакций весьма различна в зависимости от активности реагирующих промежуточных веществ. Поэтому перенакопление малоактивных комбинаций может не только затормозить, но и прекратить объёмную реакцию. В некоторых условиях обрывы цепей легко возникают на поверхности реактора, когда из отдельных ионизированных составляющих вновь образуются устойчивые молекулярные формы исходных соединений. В обычных условиях скорости промежуточных реакций весьма велики, а следовательно, толщина фронта горения весьма мала и представляет собой как бы тонкую оболочку объёма, в котором протекают сложные подготовительные процессы.

## 9.5. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Основные расчетные зависимости:

1. Определение тепловых потерь теплопровода.
2. Расчет температурного поля вокруг теплопровода, т.е. определение температур изоляции воздуха в канале, стен канала и грунта.

3. Расчет падения температуры теплоносителя видов трубопровода.

4. Выбор толщины теплоизоляции теплопровода.

**Пример 1.** При наружной температуре  $t_u = -8$  °С, что соответствует  $Q_0^p = 0,6$ , температура обратной воды после отопительной установки  $\tau_{02} = 58$  °С вместо  $53,5$  °С по расчетному графику. температура сетевой воды перед отопительной установкой  $\tau_{01} = 101,5$  °С, что соответствует расчетному графику. Определить перерасход теплоты и сетевой воды на отопление.

В рассматриваемой отопительной установке

$$\Delta t_q^1 = 43 \text{ } ^\circ\text{C}; t_0^1 = 64,5 \text{ } ^\circ\text{C}; \delta i_0^1 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}; u = 2,2.$$

Расчетная отопительная нагрузка  $Q_0^1 = 1 \text{ МДж/с} = 0,86 \text{ Гкал/ч}$

$$\text{Находим } \bar{q}_2 = \frac{d\bar{Q}_0}{d\tau_2} = \frac{0,5 + 2,2}{1 + 2,2(43 = 0,8 \frac{64,5}{0,6^{0,2}})} = 0,0084 = 0,84\% \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$d\bar{Q}_0 = 0,0084 (58 - 53,5) = 0,0376 = 3,76 \%$$

перерасход теплоты равен  $3,76\%$  расчетного расхода;

$$\Delta \bar{Q}_0 = 0,0376 \text{ МДж/с} = 0,0323 \text{ Гкал/ч.}$$

От расхода тепла на отопление при  $t_u = -8$  °С, перерасход составит  $3,76/0,6 = 6,3\%$ , фактический расход теплоты на отопление:  $Q_0 = Q_0^p + \Delta Q_0 = 0,6 + 0,0376 = 0,6376 \text{ МДж/с}$ . Фактический отопительный эквивалент расхода сетевой воды составит

$$\bar{W}_0 = \frac{0,6376}{1} \cdot \frac{80}{101,5 - 58} = 1,173$$

Превышение отопительного эквивалента расхода сетевой воды на отопление по сравнению с расчетным расходом  $\Delta \bar{W}_0 = \bar{W}_0 - 1 = 0,173 = 17,3\%$ .

Расчетный расход сетевой воды

$$\bar{W}_0^p = \frac{1000}{4,2 \cdot 80} = 3 \text{ кг/с} = 10700 \text{ кг/ч.}$$

Перерасход сетевой воды равен:

$$\Delta \bar{W}_0 = 0,173 \cdot 3 = 0,519 \text{ кг/с} = 1860 \text{ кг/ч}$$

**Пример 2.** Определить расчетные часовые и годовые расходы тепла на отопление, вентиляцию и бытовое горячее водоснабжение больницы. Строительный объем здания 10000 м<sup>3</sup>, количество юек – 50,  $t_{вн} = 20$  °С,  $t_{н10} = -21$  °С,  $t_{вв} = -10$  °С,  $n_0 = 4584$  ч.,  $t_{в}^{с10} = -1,2$  °С. Продолжительность стояния температур наружного воздуха за отопительный период дана в Таблице 6.

Таблица 6.

Температура, $t_{в1}$ °С	Время стояния температур, ч	
	$n$	$\sum n$
- 30 : - 25	2,9	2,9
- 25 : - 20	22,1	25
- 20 : - 15	120	145
- 15 : - 10	324	469
- 10 : - 5	686,4	1155,4
- 5 : - 0	1676,6	2832
- 0 : + 8	1752	4584

1. Расчетный (максимальный) часовой расход тепла на отопление:

$$Q_0 = 0,39 \cdot 1,1 \cdot 10000 (20 + 21) = 176000 \text{ кКал/ч}$$

2. Расчетный часовой расход на вентиляцию:

$$Q_v = 0,3 \cdot 10000 (20 + 10) = 90000 \text{ кКал/ч}$$

3. Расход тепла на бытовое горячее водоснабжение, среднечасовой на неделю:

$$Q_p^{ср.н} = \frac{150 \cdot 50 (65 - 5)}{24} = 18800 \text{ кКал/ч}$$

4. Среднечасовой расход тепла за сутки наибольшего водопотребления:

$$Q_r^{ср} = 1,2 \cdot 18800 = 22500 \text{ кКал/ч}$$

5. Максимальный часовой расход в суммарном расходе тепла микро-районowi и населенных пунктов:

$$Q_t^{\text{max}} = 2 \cdot 22500 = 45000 \text{ кКал/ч}$$

6. Годовой расход тепла на отопление:

$$Q_0^{\text{год}} = 176000 \cdot \frac{20 + 1,2}{20 + 21} \cdot 4584 \cdot 10^{-6} = 417 \text{ ГКал/год}$$

7. Число часов использования максимума нагрузки:

$$H_0^1 = \frac{20 + 1,2}{20 + 21} \cdot 4584 = 2370 \text{ ч}$$

8. Годовой расход тепла на вентиляцию определяем, принимая число часов работы систем вентиляции  $Z_v = 16$  ч в сутки, предварительно находим  $t_n^{\text{ср.в}}$ :

$$t_n^{\text{ср.в}} = \frac{(-7,5 \cdot 686,4) + (-2,5 \cdot 1676,6) + (4 \cdot 1752)}{686,4 + 1676,6 + 1752} - 0,56 \approx -0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_v^{\text{год}} = 90000 \cdot 16 \frac{469}{2} + 90000 \cdot \frac{20 + 0,6}{22 + 10} \cdot 16 \frac{4584 - 469}{24} = 200 \text{ ГКал/год}$$

9. Годовой расход тепла на горячее водоснабжение:

$$Q_{\text{гвс}}^{\text{год}} = 18800 \cdot 4584 + 0,8 \cdot \frac{18800(60 - 15)}{(60 - 5)} \cdot (8400 - 4584) = 133 \text{ ГКал/год}$$

10. Часовой расход тепла на ГВС в летнее время принимается равным:

$$Q_{\text{гвс}}^{\text{ч}} = 0,8 \cdot \frac{60 - 15}{60 - 5} \cdot Q_{\text{г}} \approx 0,65 Q_{\text{г}}, \text{ ккал/ч}$$

Результаты выполнения расчетов позволяют выяснить условия работы источников теплоты, тепловой сети и абонентских систем и выбора схем присоединения теплоснабжающих установок (нагрузок) к тепловой сети, а также обозначив более эффективный режим эксплуатации систем теплоснабжения.

В процессе движения по теплопроводу энтальпия теплоносителя уменьшается. Вследствие этого, происходит снижение температуры теплоносителя вдоль теплопровода, а при транспортировке насыщенного пара выпадает конденсат. При коротких теплопроводах, когда ожидаемое падение температуры не превышает 3-4 % значения температуры в начале участка, расчет может проводиться в предположении постоянства удельных тепловых потерь.

Уравнение теплового баланса в этом случае имеет вид:

$$G \cdot C_p (\tau_1 - \tau_2) = q \cdot l (1 + \mu),$$

- где:  $G$  — расход теплоносителя на участке;  
 $C_p$  — теплоемкость теплоносителя;  
 $\tau_1, \tau_2$  — температура теплоносителя в начале и конце участка;  
 $l$  — длина участка;  
 $q$  — удельные, линейные, тепловые потери;  
 $\mu$  — коэффициент местных потерь теплоты.

## Глава 10

### ТЕПЛООБМЕН

#### 10.1. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА

Теплота нагревательных приборов передается воздуху в помещениях конвекцией, излучением и комбинированным путем. Площадь поверхности отопительных приборов определяется по формуле:

$$F_{\text{пр.}} = \frac{Q_{\text{расч.}}}{K(t_{\text{сп.}} - t_2)}$$

где:  $Q_{\text{расч.}}$  - потери тепла помещением при расчетной (максимальной) нагрузке Вт (ккал/ч).

$K$  - коэффициент теплопередачи, прибора к окружающему воздуху.

$t_{\text{сп.}} = 0,5(t_1 + t_2)$  - средняя температура воды в приборе.

$(t_1 - t_2)$  - температура воды на входе и выходе из приборов, °С.

$T_2$  - температура воздуха в помещении.

При расчетах следует учитывать способы и место размещения отопительных приборов. Передача тепла осуществляется теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Для обеспечения нужной температуры в отапливаемых помещениях необходимо, чтобы теплоотдача установленных в них отопительных приборов соответствовала теплопотерям помещения, а передача тепла была бы не меньше потерь.

Для обеспечения высокой эффективности теплоснабжения следует применять комбинированное регулирование, которое должно являться региональным сочетанием трех ступеней - центральное (ТЭЦ), групповое (на теплотрассе) и индивидуальное (место обогрева).

**Теплопередача от некипящей воды.** В зависимости от формы

поверхности стенок коэффициент теплопередачи  $K$  возрастает с увеличением температуры воды от 500 до 3000 ккал/м<sup>2</sup> С°, при применении мешалок  $K$  увеличивается от 2000 до 4000 ккал/м<sup>2</sup> С°.

Для кипящей воды  $K = 2000$  до 6000 ккал/м<sup>2</sup> С°

(“ $K$ ” берется из таблицы приложения для соответствующих форм и материалов теплообменников).

Выбор системы отопления теплоносителя и теплообменника производится в соответствии с требованиями санитарных и противопожарных норм в зависимости от назначения помещения и технологического процесса. Указания по выбору системы отопления можно найти в справочниках.

## 10.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Нагревательные приборы осуществляют непосредственный обогрев помещений. Конструкции их разнообразны. Материалами для изготовления служат чугун, сталь, бетон, керамика и т. д. Основными видами нагревательных приборов являются радиаторы, конвекторы и панельно-лучистые приборы. Нагревательные приборы должны отвечать гигиеническим, эстетическим и технологическим требованиям. Последнее предусматривает возможность получения требуемой поверхности нагрева путем сборки отдельных элементов в один агрегат.

Теоретическое определение коэффициента теплопередачи нагревательных приборов не дает удовлетворительных результатов из-за сложности учета конструктивных особенностей прибора. Поэтому при проектировании систем отопления пользуются результатами экспериментальных исследований теплопередачи нагревательных приборов различной конструкции, на основе чего для определенных условий получены численные значения коэффициента теплопередачи  $K_{np}$  прибора. Площадь  $A_{np}$  поверхности (в м<sup>2</sup>) нагревательного прибора определяется соотношением

$$A_{np} = (Q_{гп} - Q_{гп}) \beta_1 \beta_2 \beta_3 / [K_{np} (T_{гп} - T_{в}) \beta_4 \beta_5].$$

где  $Q_{гп}$  — теплоотдача труб, находящихся в одном помещении с прибором;

$T_{гп} = 0,5 (T_{вк} - T_{вкл})$  — средняя температура теплоносителя;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  и  $\beta_5$  — поправочные коэффициенты, определяемые по справочникам и учитывающие соответственно способ

установки прибора, охлаждение воды в трубопроводе, влияние числа секций при установке радиаторов, способ присоединения прибора и влияние расхода теплоносителя.

Значения температур на входе и выводе из нагревательного прибора нормируются. Так, для водяного отопления в жилых и общественных зданиях  $T_{вх} = 368$  К,  $T_{вых} = 343$  К. Так как теплоноситель по пути следования теряет часть теплоты и поступает в нагревательный прибор с более низкой температурой, то в зависимости от этажности здания, расположения прибора и типа отопительной системы расчетная поверхность нагрева увеличивается, для чего используются справочные данные (таблицы). Диаметры трубопроводов, обеспечивающие расход теплоносителя в зависимости от располагаемого или действующего давления, определяются на основе гидравлического расчета с введением в уравнения эмпирических коэффициентов, учитывающих ряд факторов.

### 10.3. СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Процесс централизованного теплоснабжения состоит из трех последовательных операций:

1. Подготовка теплоносителя.
2. Транспортировка теплоносителя.
3. Использование теплоносителя.

— Подготовка теплоносителя проводится в специальных так называемых теплоподготовительных установках на ТЭЦ.

— Транспортируется теплоноситель по тепловым сетям к теплообменникам потребителя.

Комплекс установок, предназначенных для подготовки, транспортировки и использования теплоносителя составляет систему централизованного теплоснабжения.

Подготовка теплоносителя проводится в специальных так называемых теплоподготовительных установках на ТЭЦ, а также в городских, районных, групповых или промышленных котельных.

Основная часть тепловой нагрузки удовлетворяется при теплофикации отработавшей при выработке электроэнергии теплотой установленных на ТЭЦ теплофикационных турбогенераторов, в которых электрическая энергия вырабатывается главным образом комбинированным методом, что значительно повышает общий КПД.

По виду теплоносителя система централизованного теплоснабжения

разделяется на *водяное* и *паровое*.

В коммунальной сфере используются водяные системы двух типов: *закрытые* (замкнутые) и *открытые* (разомкнутые).

В *закрытых* системах сетевая вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как теплоноситель.

В *открытых* системах сетевая вода частично разбирается у абонентов для горячего водоснабжения. В городах применяются двухтрубные водяные системы падающие от станции к абонентам и обратно, в которой охлажденная вода возвращается на станцию.

В системе отопления циркуляция воды достигается работой насосов.

По способу прокладки разводящих магистралей к отопительным стоякам различают системы отопления с *тушковым* и с *попутным* движением воды.

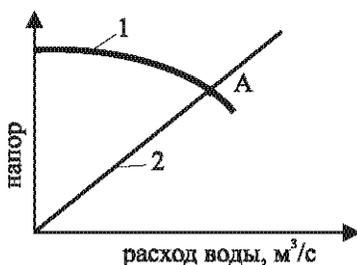
По схеме подачи воды к отопительным приборам системы отопления подразделяются на *двухтрубные* и *однотрубные*.

В *двухтрубных* системах отопления подвод горячей воды к приборам и отвод обратной воды осуществляется по самостоятельным трубопроводам.

В *однотрубных* системах отопления подающий и обратный трубопроводы составляют единый контур.

Двухтрубные и однотрубные системы отопления проектируются с верхней и нижней разводкой подающей магистрали.

Гидравлический режим системы определяется точкой пересечения гидравлических характеристик насоса и сети,



где 1-характеристика насоса;

2- характеристика тепловой сети;

А- гидравлический режим системы.

Если тепло передается одновременно путем конвекции, теплопроводности и излучения, то составные части подсчитываются отдельно и полученные в результате такого подсчета значения суммируются.

При расчетах можно пользоваться приближенной формулой для определения суммарного коэффициента теплопередачи:

$$K = 3,649 \frac{\lambda}{d} \text{ ккал/м}^2\text{h}^\circ,$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала, ккал/м<sup>2</sup>h<sup>°</sup>,

$d$  — диаметр трубы, м

При омывании теплообменника ветром

$$K = 4 \cdot \frac{V^{0,7}}{d^{0,3}},$$

где  $V$  — скорость ветра, м/с.

Для трубы  $\varnothing 0,05-0,2$  м табличный коэффициент  $K=70-10$  ккал/м<sup>2</sup>h<sup>°</sup>

Для поверхностей: железа 40-50, алюминия — 175, меди 300-340, бетонн — 0,7 — 1,2; асбеста — 0,19 ккал/м<sup>2</sup>h<sup>°</sup>.

Практикой предусматриваются три возможных метода центрального регулирования отопительной нагрузки: *качественной, количественной и качественно-количественной.*

*Качественное регулирование* — это поддержание определенной температуры в тепловой сети.

*Количественное регулирование* — это определение расхода воды в сети и температура обратной воды.

*Качественно-количественное регулирование* — это контроль расхода воды ее температуры.

По расчетным данным параметров строится график тепловой нагрузки, температуры и расхода сетевой воды, что учитывается при определении тарифов на оплату тепла.

## Глава 11

### МЕСТНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

#### 11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТНОМ ОТОПЛЕНИИ

Несмотря на расширения централизованных теплодочников (ТЭЦ), около 50% населения используют тепло от местных котельных, печей и т.п.

К настоящему времени сложились два основных типа индивидуальных жилых зданий: усадьбы для круглогодичного проживания жильцов, садовые домики для проживания только в летний период. С теплотехнической точки зрения требования к усадьбам и садовым домикам заметно различаются. Поскольку в садовых домиках хозяева проживают в основном в летний период, разность температур помещения и наружного воздуха относительно велика. Поэтому наружные стены домиков имеют небольшое термическое сопротивление теплопередачи от внутреннего к наружному воздуху. Как правило, их изготавливают из облегченных конструкций. В летних садовых домиках отопление обычно отсутствует. Но в последнее время разрабатываются проекты, которыми предусматриваются варианты с отоплением, причем в качестве тепло-генераторов проектируются в основном печи на твердом топливе. Кроме печей и каминов могут также рекомендованы электронагреватели (рефлекторы и электрокамины). В этих случаях не следует использовать водяные системы отопления, поскольку при отрицательных температурах нужно сливать воду из системы, а затем вновь заполнять ее водой – занятие, связанное с определенными неудобствами. Избежать их можно, если использовать для залива незамерзающую жидкость антифриз дорог.

Типовыми проектами для садовых домиков не предусмотрены такие удобства, как горячее водоснабжение и пищеварочные устройства на твердом топливе. Что касается теплоснабжения усадебных домов с круглогодичным проживанием жильцов, то оно должно обеспечивать

весь комплекс удобств, предоставляемых городским жителям - отопление для приготовления пищи. В то же время основные теплопотребляющие элементы домов – система отопления и горячего водоснабжения имеют некоторые особенности в сравнении с системами отопления и горячего водоснабжения городских жилых зданий. Они состоят в следующем:

1) поскольку дома усадебного типа имеют небольшой объем и соответственно небольшие тепло-потери, их обычно подсоединяют к наружным теплосетям, обслуживаемым групповой индивидуальной котельной с температурой Теплоносителя не более 95°С. Присоединение квартирных систем отопления к теплосети в этом случае можно производить без подмешивающих устройств в виде элеваторов.

2) ввиду того, что усадебные дома имеют один-два этажа, в них, как правило, целесообразно применять наиболее простую однотрубную систему отопления;

3) из-за отсутствия регуляторов для небольших расходов сетевой воды для присоединения к теплосети систем горячего водоснабжения следует использовать емкостные водонагреватели в которых вода из теплосети нагревает местную воду через поверхность размещенного в нем змеевика.

Для отопления малоэтажных зданий в настоящее время применяют печное, водяное, электрическое и воздушное отопление.

Наиболее совершенно электрическое отопление, характеризующиеся рядом достоинств, в том числе удобством регулирования тепловой нагрузки, отсутствием громоздких отопительных приборов, высокой гигиеничностью. Единственный, но часто решающий недостаток электрического отопления - его дороговизна. Стоимость единицы отпущенного тепла при электрическом отоплении в несколько раз выше, чем при выработке тепла в печах или котлах. Это объясняется тем, что электрическая энергия вырабатывается на электростанциях в тепловом цикле с коэффициентом полезного действия максимум 40%. Этот недостаток может быть уменьшен при использовании систем с аккумулирующей водяной емкостью. В таких системах электрическая энергия служит для нагрева теплоносителя (воды) в ночное время, когда действует льготный тариф на электроэнергию. В дневное же время для отопления используют тепло, аккумулированное ночью. При этом потребление электроэнергии в дневное время существенно уменьшается или вовсе исключается. В водяной системе отопления с теплогенератором, работающим, например, на твердом топливе, целесообразно применение электрического отопления. В этом случае в водяной емкости теплогенератора монтируют трубчатые электронагреватели (ТЭНы). Такая

комбинация способов подогрева воды придает системе большую гибкость, одновременно позволяя уменьшить пиковые расходы электроэнергии на отопление. Для электрического отопления одноэтажных домов лучшими по санитарно-гигиеническим показателям и пожарной безопасности следует считать маслonaполненные радиаторы. Эти переносные приборы имеют заполненную маслом емкость, нагреваемую ТЭНами. Приборы автоматически включают электронагрев при охлаждении масла ниже нормы и выключают его при достижении верхнего предела температуры.

Наибольшее распространение получили водяные и воздушные системы отопления. При оценке теплотехнических свойств теплоносителей решающими показателями являются весовая и объемная теплоемкости и температура. С точки зрения количества тепла, содержащегося в единице объема, вода имеет огромные преимущества. Например, при обычных для системы отопления температурах воды 80°С и воздуха 70°С объемная теплоемкость составляет:

Воды

$$C_v = \rho C_g = 975 \cdot 1 = 975 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

Воздуха

$$C_v = 1,29 \cdot 273 / 273 + 70 \cdot 0,24 = 0,25 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

т. е. теплоемкость воды больше почти в 4000 раз. Соответственно объемный расход ее, необходимый для отопления, в тысячи раз меньше расхода воздуха, в силу этого требуется гораздо меньшее сечение соединительных коммуникаций. Большие объемы нагретого воздуха затрудняют его транспортировку и распределение по отапливаемым помещениям. Из-за значительных диаметров распределительных воздуховодов вентилятор для транспортировки нагретого воздуха необходимо располагать вблизи отапливаемого жилого помещения, что связано с прониканием шума от вентилятора.

Вместе с тем воздух как теплоноситель имеет и ряд преимуществ по сравнению с водой. Во-первых, он передает тепло в помещение непосредственно, т.е. без установки отопительных приборов. Достоинства воздушного отопления оценены человеком давно. Известно, что отопление горячими газами было первым способом искусственного обогрева жилища (так называемые курные избы в России). Уже в XVIв. Палаты Московского Кремля оборудовались системой воздушного отопления. В

современных системах воздушного отопления малоэтажных зданий воздух обычно нагревают в калориферах-теплообменниках, в которых тепло передается воздуху через стенку продуктами сгорания топлива или электрическим нагревателем. Нагретая изнутри металлическая поверхность калорифера охлаждается снаружи, отдавая тепло воздуху. Плотность последнего при средней температуре 70°C примерно в тысячу раз меньше чем воды, поэтому его охлаждающая способность (коэффициент теплоотдачи) значительно (в 30-50 раз) меньше, чем этот показатель для воды. Таким образом, в огневоздушных калориферах существует опасность перегрева разделяющей стенки теплообменника. Более надежны вентиляторные калориферы, в которых благодаря повышенной скорости воздуха поверхности охлаждаются более эффективно и их температура снижается до безопасного уровня.

## 11.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Вода от котла к приборам и обратно движется по трубам под действием гидростатического напора, возникающего благодаря различной плотности охлажденной и горячей воды.

Уравнение баланса напоров для системы выглядит следующим образом:

$$(H-h_{\text{max}})p_{3,4}g + h_{\text{max}}p_{4,3}g - h_k g + (H-h_k)p_{6,7}g = \sum \Delta H_c$$

Величина  $H$ ,  $h_{\text{max}}$ ,  $h_k$  показаны на схеме; плотность теплоносителя в различных участках системы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\sum \Delta H_c$  – Сумма гидравлических сопротивлений движению теплоносителя по циркуляционному кольцу. Поскольку плотность охлажденной воды больше, чем плотность нагретой, общий вес правого вертикального столба воды в циркуляционном кольце больше веса левого вертикального столба. Разница веса этих столбов и есть движущий циркуляционный напор. Чем ниже по отношению к прибору расположен теплогенератор, тем больше величина располагаемого напора  $\Delta P_p$ . С уменьшением высоты здания величина располагаемого гравитационного напора  $\Delta P_p$  также снижается; естественно, что в одноэтажных домах значения минимальны. Для одноэтажного дома величина  $\Delta P_p$  зависит еще от характера источника теплоснабжения: если отопление производится централизованно от групповой или домовой котельной, то котлы здесь расположены на глубине около 3 м.

Теплогенератор в индивидуальном доме обычно не заглубляется. При этом случается, что высота, на которой находятся отопительные приборы и теплогенератор, примерно одинакова. Казалось бы, в этом случае гидростатически напор не должен возникать и теплоноситель в системе циркулировать не будет. Тем не менее и в этом случае будет образовываться гидростатически напор из-за охлаждения воды в трубопроводах, подводящих нагретую воду к нагревательным приборам, а также отводящих холодную воду от приборов теплогенератору.

Это охлаждение полезно для создания гидростатического напора, поэтому указанные трубопроводы прокладывают открыто и не изолируют. Напротив, охлаждение воды в подъемном трубопроводе нагретой воды вредно, ибо приводит к повышению плотности и уменьшению гидростатического напора. В связи с этим подъемный стояк от теплогенератора необходимо изолировать.

Отопительная система представляет собой в целом герметичную конструкцию, хотя в верхней тоже посредством расширительного сосуда она как бы соединяется с атмосферой. Это необходимо для того, чтобы в системе не создавалось повышенного давления при расширении нагретой воды.

Систему с расширительным сосудом заполняют водопроводной водой или подаваемой с помощью ручного насоса. Для ручного залива системы расширительный сосуд должен иметь еще дополнительное заливное отверстие сверху. Для контроля уровня при заливе воды и при эксплуатации сосуд оборудуют водоуказателем. Расширительный сосуд обычно размещают в отапливаемом помещении, поэтому изолировать его не обязательно.

Расширительный сосуд служит для сбора дополнительного объема воды, образующейся вследствие расширения при нагревании, а также сбора воздуха, выделяющегося из воды при ее нагревании в теплогенераторе.

Воздух в систему попадает с водопроводной водой, в которой при комнатной температуре его растворено примерно 40 мг/л. При нагревании до максимальной расчетной температуры отопления 95 °С растворимость воздуха в воде уменьшается примерно до 3 мг/л. Выделившиеся воздушные пузырьки всплывают в водяном потоке по главному стояку в расширительный сосуд, из которого удаляются в атмосферу. При абсолютно герметичной системе выделений из воды воздуха совершается однократно, до завершения дегазации залитого систему объема воды. Однако, если система плохо герметизирована и имеются утечки воды, ее приходится подпитывать свежей водой, с которой в трубопроводы

заносятся новые порции воздуха.

Другое назначение сосуда - прием дополнительного объема воды, образующегося при нагревании. Этот дополнительный объем может быть подсчитан по формуле

$$V_g = \alpha \Delta t V_c$$

где  $\alpha = 5,8 \cdot 10^{-4}$  — коэффициент объемного расширения воды;

$\Delta t$  — максимальная разность температур нагретой воды в системе и исходной, °С;

$V_c$  — объем системы, л.

Для обычной системы

$$\Delta t = [(T_1 + T_2)/2] - t_{вс} - [(95 + 70)/2] - 18 = 64,5$$

Значение  $V_c$  определяется исходя из того, что на каждые 1000 ккал/ч (или 1163 Вт) тепловой мощности системы приходится на чугунные радиаторы - 10-12 л, на ребристые трубы - 6,5 л, на соединительные трубопроводы - 16 л, на секционные чугунные котлы - 3 л.

Система водяного отопления работает следующим образом: охлажденная в отопительных приборах вода под действием гравитационного напора поступает в теплогенератор, в котором нагревается до температуры, соответствующей отопительному графику. Нагретая вода поднимается по главному стояку и через верхний распределительный коллектор опускными стояками направляется к отопительным приборам. Охладившись в приборах, вода вновь возвращается в тепло-генератор, и цикл повторяется.

В настоящее время для отопления двухэтажных зданий находят применение двухтрубные системы с верхней разводкой, однотрубные с верхней разводкой и однотрубные горизонтальные (проточные). Для одноэтажных строений применяют однотрубные системы с верхней разводкой и горизонтальные проточные.

В двухтрубной системе отопления нагретая вода к приборам двух этажей из одной подающей трубы, а охлажденная в приборах вода отводится общей обратной трубой. Таким образом, температура воды, поступающей в нагревательные приборы обоих этажей, одна и та же, что создает одинаковые температурные условия в помещениях. В двухэтажных домах применяют и однотрубную систему, в которой вода, охлажденная в приборах второго этажа, поступает для обогрева приборов

первого этажа. Однотрубные системы характеризуются меньшей металлоемкостью, затраты на их сооружение также меньше. Кроме того, действующий гравитационный напор для приборов первого этажа в однотрубной системе больше, чем в двухтрубной. Поэтому для двухэтажных домов однотрубная система более целесообразна.

В одноэтажных зданиях находят применение однотрубные системы с верхней разводкой, а также однотрубные горизонтальные системы, называемые проточными.

В качестве отопительных приборов применяют чугунные радиаторы или регистры из стальных труб. Подключение радиаторов к трубам возможно по схемам:

сверху - вниз, снизу - вниз, сверху -сверху. Установлено, что оптимальным является подключение по схеме сверху-сверху. В этом случае вода максимально заполняет радиаторы, обеспечивая тем самым более полное использование поверхности нагрева.

Регистры из стальных труб располагают горизонтально, причем с постепенным снижением по высоте и по ходу движения воды. Движущий гидростатический напор в горизонтальной системе возникает за счет разности уровня располагаемых последовательно отопительных приборов. Горизонтальные системы удобны в монтаже, имеют минимальную металлоемкость. Недостатком их является расположение нагревательных приборов на разной высоте, что мало эстетично. Надежность горизонтальной системы также ниже, чем вертикальной, ибо при выходе из строя одного из элементов приходится отключать всю систему. Устройство перемычек между регистрами позволяет повысить их надежность, но ценой некоторого усложнения и удорожания системы.

Большинство усадебных домов снабжается теплом от теплогенераторов, установленных в самих домах. При использовании газообразного или жидкого топлива возможно поддержание круглосуточного процесса отопления. Однако для твердого топлива до настоящего времени не разработана конструкция топочных устройств, которые обеспечивали бы безнадзорное сжигание топлива в режиме постоянного горения с равномерной тепловой нагрузкой. Таким образом, в ночное время выработка тепла прекращается, вода в системе остывает, и помещение охлаждается. Чтобы избежать этого, можно применять системы с увеличенной водяной емкостью. В период топки тепло воспринимается объемом воды, а ночью в помещении отапливается за счет тепла, выделяемого накопленной водой. Для этого можно использовать отопительные приборы увеличенной емкости или специальные баки-аккумуляторы нагретой воды.

Расчеты показывают, что, применяя систему увеличенной емкости, можно существенно уменьшить охлаждение помещений в ночное время. Однако отопительные приборы увеличенной емкости до настоящего времени серийно не выпускаются, а самостоятельная установка в помещениях бака - емкости неприемлема из эстетических соображений. Поэтому отопительные системы с увеличенной емкостью не получили широкого распространения. Существенно упрощается устройство системы отопления при использовании насосной циркуляции теплоносителя. При этом резко увеличивается располагаемый напор в системе, что позволяет повысить скорость движения воды в трубах. В системах с насосной циркуляцией можно применять трубы минимального диаметра (до 10-12 мм). Становится возможным использование гибких пластмассовых труб, которые не подвержены коррозии, имеют небольшую массу и легко монтируются. Иногда трубопроводы системы отопления заполняют не водой, а незамерзающей жидкостью, например антифризом. Это мероприятие целесообразно осуществлять в тех случаях, когда в домах по тем или иным причинам отопление периодически отключается, чтобы предупредить размораживание системы, необходимо слить воду из нее, а перед растопкой вновь залить. Антифриз предотвращает замораживание системы после прекращения топки.

В определенных условиях используется воздушное отопление, получающее тепло от так называемых "буржук". Современные конструкции таких теплоисточников на твердом топливе (чаще нестандартных отходов топлива) позволяют с интенсивной теплоотдачей переносить тепло в окружающую среду за счет естественной циркуляции воздуха и излучения с высоким КПД для отапливания бытовых и производственных помещений в радиусе не более 8м.

## Г л а в а 12

### ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ

Существование человека невозможно без всевозрастающего потребления энергии. Источники энергии, используемые человеком, принято делить на возобновляемые и не возобновляемые.

*Не возобновляемые* - это природные запасы веществ и материалов, которые могут использоваться человеком для производства энергии. Основными из них являются уголь, нефть, газ и ядерное топливо.

В мире пока не выработана научно-обоснованная потребность человека в энергоресурсах для различных зон проживания. Хотя уже установлено, что в индустриально развитых странах приходится на 1 человека до 30 тыс. кВт/ч в год.

Страна, обладающая большими запасами энергоносителей, потенциально богата, а обладающая значительной величиной национального дохода, может обеспечить свою потребность в энергии и без больших запасов энергоносителей.

Таким образом, рост населения является объективной предпосылкой для увеличения выработки энергии. Поэтому XXI век станет для человечества веком поиска путей решения энергетической проблемы. И если учесть, что не возобновляемые источники приходят к истощению, то задача науки, обозначить принципиально новые подходы к выработке энергии на планете. Центры энергетических исследований будут заниматься вопросами возобновляемой энергетики, физики и техники высоких энергий. Вся история развития цивилизации - это поиск более эффективных источников энергии. Сегодня мы подошли к совершенно новым возможностям получения и использования так называемых возобновляемых источников энергии - постоянно существующих в окружающей среде потоков энергии.

*К возобновляемым энергоресурсам* относятся энергия солнца, ветра, рек, морей, тепло Земли и т.д. Природа ветра - это тоже энергия тепла солнца. И сегодня во многих странах осуществляются реальные проек-

ты получения энергии возобновляющими источниками.

## 12.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Энергия Солнца использовалась человеком с древних времен. Так, своеобразным примером может служить применение Архимедом фокусирующих металлических зеркал в сражении против римлян в 214 году до н. э. в Сиракузах. Отраженные лучи солнца концентрировались на корпусах и снастях судов, вызывая их загорание, что вынудило римский флот к бегству.

Технические проекты и устройства, основанные на использовании энергии Солнца, впервые появились во второй половине XIX века. Первый действующий солнечный насос был изобретен и описан французским инженером Соломоном де Коси (1576-1626). Шведский философ де Соссюрю (1740-1799) создал и описал солнечную кухню на основе концентрических зеркальных камер. В начале XIX века были проведены эксперименты по определению интенсивности солнечного излучения - оценивалось повышение температуры нагрева известного объема воды за известное время под действием солнечной радиации. Первое упоминание о патентах, выданных на предмет использования солнечной энергии, относится к 1854 году, а первая книга, посвященная использованию энергии Солнца, издава проф. Огюстом Мушем (Франция) в 1869 году.

В конце XIX столетия появляется ряд интересных изобретений: солнечный двигатель с воздушным циклом, устойчиво работавший в ясный солнечный день со скоростью  $420 \text{ мин}^{-1}$  (Джо Эриксон из Нью-Йорка), солнечная опреснительная установка его соотечественника Чарльза Уилсона. Профессор Е.Моурс (штат Массачусетс) предлагает использовать солнечную энергию для отопления жилых помещений.

С начала XX столетия с появлением все более совершенных двигателей внутреннего сгорания интерес к использованию солнечной энергии падает.

В нашей стране серьезных успехов в использовании энергии Солнца добились школы проф. Б.П.Вейнберга (1930-е годы) и акад. А.Н. Туркменской ССР В.А. Баума (1940-1950-е годы). В 1958 г. на третьем советском искусственном спутнике Земли впервые в мире были установлены солнечные батареи, что положило начало применению фотоэлементов для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую.

С 1954 года действует международная общественная организация - ныне Международное общество по использованию солнечной энергии

(ИСЭС). В задачи этого общества входит содействие фундаментальным и прикладным исследованиям в области использования энергии Солнца.

## 12.2. СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Ежегодно с солнечной радиацией на Землю поступает около  $5 \cdot 10^{24}$  Дж энергии. Солнечное излучение проходит путь от Солнца до Земли  $1,5 \cdot 10^8$  км за восемь минут. Начальная интенсивность излучения настолько велика, что на пределах земной атмосферы плотность потока энергии его составляет  $1360 \text{ Вт/м}^2$ . Эту величину называют иногда *солнечной постоянной*. Однако вследствие различных взаимодействий в атмосфере до Земли доходит лишь часть этой энергии. (Рис. 12.1.) Кроме того, интенсивность солнечного излучения в любой точке земного шара зависит от времени суток, сезона и географического положения.

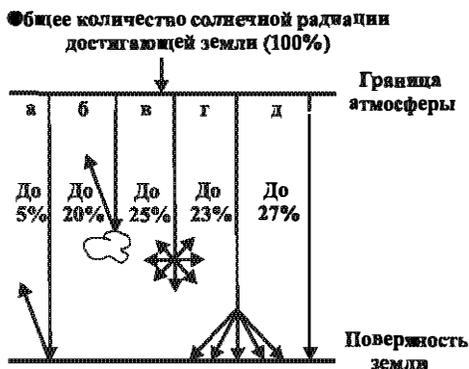


Рис 12.1. Возможные потери энергии солнечного излучения при прохождении атмосферы Земли: а - отражение от поверхности Земли; б - отражение в пределах атмосферы; в - рассеяние в пределах атмосферы; г - рассеяние у поверхности Земли; д - излучение, достигающее поверхности Земли.

Земля вращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, затрачивая год на каждый цикл. Угол наклона земной оси к плоскости вращения Земли составляет  $23,5^\circ$ . Такая ориентация оси вращения Земли при ее движении относительно Солнца обуславливает колебания продолжительности светового дня в течение года. Например, в Северном полушарии наибольшая продолжительность светового дня отмечается 22 июня в период летнего солнцестояния, когда земная ось наклонена Северным полюсом в сторону Солнца, наименьшая – 22 декабря в период зимнего

солнцестояния, когда ось ориентирована в противоположную сторону. Существуют еще два характерных положения Земли относительно Солнца, когда ось вращения Земли оказывается перпендикулярной линии, соединяющей центры Земли и Солнца. Эти моменты равноденствия отмечаются 21 марта и 23 сентября, когда продолжительность дня равна продолжительности ночи.

Кажущееся положение Солнца из любой точки Земли определяющая двумя углами: между направлением на Солнце из точки наблюдения и горизонтальной плоскостью, проходящей через эту точку (высота  $h$ ) и между плоскостью меридиана и вертикальной плоскостью, проведенной через точку наблюдения и Солнце (азимут  $\beta$ ). Когда Земля обращена к Солнцу южной стороной и азимут равен нулю, высота - максимальна. Отсюда вытекает понятие «полдень». В астрономических таблицах и картах обычно используют солнечное время, т.е. время относительно полудня, которое несколько отличается от местного поясного времени.

Сезонное изменение кажущегося положения Солнца описывается углом склонения  $\delta$ , который изменяется от  $+23,5^\circ$  до  $-23,5^\circ$ .

Поступающую на поверхность Земли солнечную радиацию делят на прямую, диффузную (рассеянную) и суммарную. Прямая солнечная радиация  $H_1$  представляет собой поток излучения, поступающего непосредственно от солнечного диска и измеряемого на плоскости, перпендикулярной направлению луча. Диффузная (рассеянная) солнечная радиация  $H_d$  также измеряется на плоскости, перпендикулярной направлению на Солнце, и поступает на эту плоскость от остальной части небесной полусферы (кроме солнечного диска).

Суммарная солнечная радиация  $H$  включает в себя оба вида солнечного излучения:

$$H = H_1 + H_d$$

Существуют различные виды фотоэлектрических и термоэлектрических преобразований. Рассчитано, что площадь с высоким теплоизлучением Солнца могут размещаться фотоэлектрические и термоэлектрические станции с удельной энергоотдачей более  $5 \text{ Вт/м}^2$ .

Таким образом, без технологий, способных существенно концентрировать слабоинтенсивные потоки энергии возобновляемых источников, ни сегодня, ни завтра эти источники (исключая гидроэнергетику) не займут заметного места в энергобалансе страны. Однако очевидно и другое: уже сегодня энергосистема на возобновляемых источниках энергии имеет право на жизнь, а где-то и просто не имеет

### Характеристики энергосистем на возобновляемых и невозобновляемых источниках энергии

Характеристика энергосистемы	Источники энергии	
	возобновляемые	невозобновляемые
Пример источника	Ветер, солнце, реки	Уголь, нефть, газ
Местонахождение	Окружающая среда	Сосредоточенные месторождения
Начальная интенсивность	Рассеянная энергия с плотностью сотни Вт/м <sup>2</sup>	Высокая интенсивность до 100 кВт/м <sup>2</sup> и выше
Стоимость оборудования за 1 кВт установленной мощности	Высокая: около \$ 1000...2000 US	Средняя около \$500 US
Ограничения по использованию	Особенности местных условий и спроса на энергию	Без ограничений
Автономность	Самообеспечение источниками энергии	Зависимость от поставок топлива
Влияние на окружающую среду	Незначительное на небольших установках	Окружающая среда за -грязняется, особенно вода и воздух
Область применения	Сельское хозяйство	Промышленность
Время истощения	Практически бесконечно	Конечно

### 12.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

Воздушный поток, как и всякое движущееся тело, обладает кинетической энергией. Одним из видов использования кинетической энергии является превращение ее в механическую работу с последующим преобразованием в электрическую и др.

Кинетическая энергия  $E_0$  воздушного порока, имеющую скорость  $V$ , определяется по выражению:

$$E_0 = \frac{mV^2}{2},$$

где  $m$  — масса движущего воздушного порока;

$$m = \rho V = \rho v F$$

где  $V$  — объем массы воздуха, протекающего за секунду через сечение  $F$  со скоростью  $v$ .

Количество энергии ветра, протекающего за 1с через поперечное сечение:

$$E_v = \rho \frac{V^3 F}{2}$$

Энергия ветра изменяется пропорционально кубу его скорости и поперечного сечения.

Отличительным свойством ветра является его повсеместность. Однако техническое использование энергии ветра во многих случаях крайне затруднено из-за низкой плотности воздуха (она в 800 раз меньше плотности воды). Для получения значительной мощности необходимо ветроколесо очень больших размеров, т.к. ветро агрегат может преобразовать только часть потенциальной энергии, определяемой коэффициентом использования энергии ветра  $\xi$ . При этом частота вращения ветроколеса должна регулироваться из-за непостоянства скорости ветра во времени и вырабатываемая мощность, изменяясь пропорционально третьей степени скорости ветра, будет иметь большую амплитуду колебаний.

**Мощность, развиваемая ветроколесом.** Мощность эта определяется как кинетическая энергия ветра, действующая в единицу времени, с учетом коэффициента ее использования:

$$P_{\text{вк}} = \rho \frac{A}{2} v^3 \xi, \quad \text{Вт}$$

где  $\xi$  - коэффициент использования энергии ветра.

Поверхность, ометаемая крыльями ветроколеса:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 D^2$$

где  $D$  - диаметр ветроколеса.

При плотности воздуха  $\rho=1,23 \text{ кг/м}^3$  мощность, развиваемую ветроколесом, можно определить по выражению

$$P_{\text{мк}} = 4,81 \cdot 10^4 v^3 D^2 \xi, \text{ кВт}$$

мощность, развиваемая с единицы ометаемой площади:

$$P_{\text{вк.уд}} = 0,615 \cdot 10^3 v^3 \xi, \text{ кВт/м}^2$$

Таким образом, мощность, развиваемая ветроколесом, определяется ометаемой площадью ветроколеса, скоростью ветра и величиной коэффициента использования энергии ветра.

**Коэффициент использования энергии ветра.** Ветроколесо преобразует в механическую энергию только часть полной энергии потока. Воздушный поток при прохождении через поперечное сечение, ометаемое ветроколесом, имеет приблизительно форму, показанную на рис.12.2.

Скорость воздушного потока снижается по мере приближения к ветроколесу и на некотором расстоянии за ним. По классической теории, полные потери скорости воздушного потока за ветроколесом в два раза больше, чем потери в плоскости вращения ветроколеса. Вместе с тем давление воздуха по мере приближения к ветроколесу повышается, а за ним оно резко падает, вследствие чего за колесом образуется некоторое разрежение.

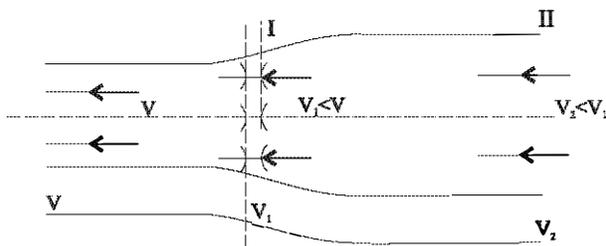


Рис. 12.2. Изменение скорости ветра в плоскости вращения ветроколеса (I) и за ним (II)

Энергия, затраченная на вращение ветроколеса, равна разности кинетической энергии ветра перед ветроколесом и за ним:

$$E_{\text{вк}} = \frac{mV^2}{2} - \frac{mV_2^2}{2} = \frac{m}{2}(V^2 - V_2^2),$$

где  $v_2$  — скорость воздушного потока за ветроколесом.

С другой стороны, воспринятую ветроколесом энергию можно выразить как произведение силы давления ветра  $G$  на скорость потока в плоскости ветроколеса:

$$E_{\text{вк}} = Gv_1.$$

Отношение энергии, воспринятой ветроколесом, к полной энергии, которой обладает воздушный поток, называется *коэффициентом пользования энергией ветра*:

$$\xi = E_{\text{вк}}/E_p.$$

Коэффициент использования энергии ветра зависит от величины потери скорости ветра при прохождении его через плоскость ветроколеса. Согласно классической теории ветроколеса

$$\xi = 4 \frac{v_1}{v} \left(1 - \frac{v_1}{v}\right)^2.$$

Н.Е.Жуковский для идеального ветроколеса установил максимальную величину коэффициента использования энергии ветра  $\xi = 0,593$ . Этот предел может быть получен при условии:

$$\frac{v_1}{v} = \frac{1}{3},$$

т.е. идеальное ветроколесо должно работать так, чтобы потери скорости ветра в плоскости его вращения составляли  $1/3$  от поступающей величины.

В действительности  $\xi_{\text{макс}}$  значительно меньше, и согласно теории реального ветроколеса, разработанной Г.Х. Сабининым, у лучших быstroходных ветроколес максимальная величина коэффициента  $\xi_{\text{макс}} = 0,45...0,48$ , у тихоходных -  $0,35...0,38$ . Данный коэффициент в основном зависит от аэродинамических характеристик ветроколеса.

## 12.4. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОАГРЕГАТОВ

Параметры различных ветроагрегатов удобно сопоставлять при помощи аэродинамических характеристик, которые показывают, как изменяются крутящий момент и коэффициент использования энергии ветра в зависимости от быстроходности ветроколеса. Необходимые данные для построения аэродинамических характеристик получают либо расчетом, либо экспериментально путем продувки модели ветроколеса в аэродинамической трубе. По полученным данным строят график, примерный вид которого показан на Рис. 12.3.

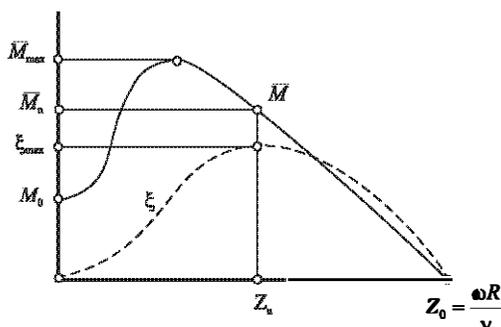


Рис.12.3. Аэродинамические характеристики ветроколеса

По оси абсцисс откладывают значения быстроходности  $Z$  ветроколеса, которые выражаются отношением окружной скорости конца лопасти к скорости ветра:

$$Z = \frac{\omega R}{v} = \frac{\pi n R}{30 v},$$

где  $\omega$  — угловая скорость, рад/с;

$R$  — радиус ветроколеса, м.

По оси ординат откладывают относительные значения крутящих моментов ветроколеса:

$$\bar{M} = \frac{2M}{\pi R^3 v^2},$$

где  $M$  — момент, развиваемый ветроколесом.

Коэффициент использования энергии ветра определяется по выражению

$$\xi = \frac{2M\omega}{\pi R^2 \rho v^3}.$$

Аэродинамическую характеристику строят в относительных величинах, поэтому она является общей для ветроколес любых размеров, если у них соблюдено геометрическое подобие. Основными точками кривой, определяющими главные параметры характеристики, являются:

$Z_H = \frac{\omega_{вк} R}{\pi R^2 \rho v^3}$  — номинальная быстроходность (число модулей), при которой коэффициент использования энергии ветра максимальный ( $\xi_{max}$ );

$\bar{M}_H$  — номинальный относительный вращающий момент, который развивает ветроколесо при номинальном числе модулей  $Z_H$ ;

$\bar{M}_0$  — начальный относительный момент, развиваемый колесом при трогании с места, т.е. когда  $Z=0$ ;

$Z_0$  — синхронная быстроходность, при которой  $\bar{M}=0$ ;

$\bar{M}_{max}$  — максимальный момент, развиваемый ветроколесом; отношение ( $\bar{M}_{max} / \bar{M}_0$ ) называется перегрузочной способностью ветроколеса.

Приведенные характеристики ветроколес различной быстроходности, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- чем больше число лопастей и их ширина и угол заклинивания тем ниже быстроходность ветроколеса.
- быстроходные ветроколеса разбивают начальный момент в несколько раз меньше номинального момента, а синхронная быстроходность в 2-2,5 раза выше номинальной.
- мощность ветроколеса, при прочих равных условиях может зависеть от числа лопастей и коэффициента заполнения (отношения площади лопастей к омываемой поверхности).
- основное влияние оказывает форма и профиль лопастей, их положение в потоке воздуха и диаметр ветроколеса.
- частота вращения ветроколеса прямо пропорционально его быстроходности и скорости ветра и обратно пропорционально диаметру ветроколесами.

## 12.5. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Сегодня становится очевидным, что только ядерная энергия может удовлетворить долгосрочные потребности человечества в энергии при одновременном сохранении окружающей среды. Почти все из 550 действующих энергетических ядерных реакторов являются тепловыми. Реактор работает так: ядерное «пламя» горящее в активной зоне, нагревает жидкий натрий.

Этот теплоноситель прокачивается через промежуточный теплообменник, где он отдает тепловую энергию нерадиактивному жидкому натрию вторичного нагревательного контура. Нерадиактивный натрий, в свою очередь, передает тепло последнему теплообменнику с парогенератором, где в смежных заполненных водой трубах создается пар. Далее горячий пар высокого давления приводит в движение паровые турбины, вращающие электрогенераторы.

Учитывая, что запасы урановой руды практически не ограничены – можно утверждать, что ядерная энергетика с новыми технологиями подготовки урана, как топлива, можно считать возобновляемым видом энергии.

## 12.6. ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

Первичная биомасса (растения, прорастающие на суше и воде) в результате фотосинтеза, за счет которого солнечная энергия аккумулируется в растущей массе, преобразуется в горючие вещества. Энергетический КПД фотосинтеза составляет около 5 %. Для энергетических целей первичная биомасса используется в основном, как топливо, заменяющее традиционное ископаемое. Могут использоваться отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности, полеводства (солома, сено), а также твердые бытовые отходы животноводства и птицеводства. После обработки эти компоненты превращаются в биогаз, в состав которого входит метан (до 70%) и диоксид углерода (до 30%). Имеются большие запасы геотермальной энергии Земли, что требует новых научных исследований.

## Глава 13

### ПРОБЛЕМА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

Вопросы, рассмотренные в комплексном учебнике позволяют обозначить основные пути повышения эффективности использования энергии, что сегодня превратилось в государственную задачу первостепенной важности.

Рациональное и экономичное расходование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) обусловлено, в первую очередь, тем, что дальнейший рост добычи и производства топлива и энергии необходимость для удовлетворения увеличивающихся потребность в них, связан с существенным капитальных вложений, расхода материальных и трудовых ресурсов.

Расчетами, проведенными в международных организациях установлено, что общие потери ТЭР в среднем связывают около 70% всего объема и только треть расходуется у конечных потребителей в качестве "полезной энергии".

Централизованное теплоснабжение, в частности, от ТЭЦ, рассматривается как важный элемент программы по экономии энергии. Наиболее эффективным средством снижения расхода ТЭР на отопление в жилищно-коммунальных хозяйств считается улучшение теплоэнергии зданий, теплопроводов от ТЭЦ и РК повышения КПД отопительных приборов, использование автоматических регуляторов на всех типах теплообменников.

В учебнике рассматриваются теоретические основы и возможности по эффективному использованию энергии в промышленной сфере услуг, быту, транспорте, сельском хозяйстве, строительстве.

До недавних пор для создания богатства были востребованы материальные ресурсы - в основном, нефть и металл. Теперь же наступает новая стадия экономического развития, когда самым важным ресурсом в движении вперед становятся знания, бесконечные и неисчерпаемые. В то же время богатства Земли не должны растрачиваться человеком без их восполнения. В современных экономических постулатах это явление

зачастую умалчивается, например: в стоимости выпускаемой продукции не учитываются затраты на восстановление извлекаемых ресурсов, а это означает, что стоимость изделия ниже стоимости сырья, не восполненного в производственном цикле. Такое явление для природы противостоит природе. Восстановление природных ресурсов - это сложный научно-эволюционный процесс. Кстати, экономическое развитие и экономический рост - не равнозначные понятия. Не следует относить к экономическому росту деятельность, которая не окупает всех материалов и не дает соответствующего уровня прибыли. Эта фаза неэкономического роста.

Глобальной остается проблема энергообеспечения процесса поступательного развития человечества. Общество всегда стремилось наращивать темпы производства, чтобы достигнуть независимости от природы и улучшить условия жизни. Люди могли бы осуществлять свою деятельность исключительно за счет солнечной энергии, но развитие человечества идет по другому пути, пока более легкому; энергию человек получает в основном при сжигании ископаемых углеводородов. Хотя по ведущей теории происхождения ископаемых углеводородов это тоже энергия солнца, запасенная в форме химических связей веществ - продуктов фотосинтеза. Мы люди, действительно, дети солнца. Паровозом и тепловозом также движет солнечный луч, все бытие носит энергетический характер.

Только за одни сутки, сжигая в топках и двигателях углеводороды с целью извлечения запасенной энергии, человечество использует в настоящий момент столько продукции прошлых биосфер, сколько ее образовалось за 300-350 лет. Этот процесс стоит на первом месте среди источников загрязнения окружающей среды по количеству образующихся отходов: помимо газообразной фракции остается зола угля и нефти, в которой обнаружены практически все металлы. В одной тонне каменноугольной золы содержится 200 г свинца, 400 г урана, по 500 г германия и мышьяка, 700 г никеля и др. Зола нефти содержит много ванадия (иногда до 65%), а также ртуть, молибден и никель.

К настоящему времени во всем мире было добыто и сожжено около 162 млрд. т угля и 64 млрд. т нефти, в окружающую среду человека поступили многие миллионы тонн металлов, ранее не участвовавших в кругообороте веществ и изменивших химический состав объектов экосистемы.

Пессимистический прогноз Ж.-Б. Ламарка звучит в утверждении о предназначении человека, которое, по его мнению, заключается в том, чтобы уничтожить себя, предварительно сделав планету непригодной

для существования. Общая масса вещества, перемещаемого человеком на поверхности планеты в ходе антропогенного круговорота, достигает 4 трлн. тонн в год. Из 120 млрд. тонн ископаемых и биомассы, применяемых за год мировой экономикой, только 9 млрд. тонн преобразуются в материальную продукцию в процессе производства. 92,5% вещества в итоге поступает в окружающую среду в виде отходов, образующихся в том числе и в результате энергопроизводства.

Еще одна проблема использования углеводородов в качестве топлива - выделение в атмосферу диоксида углерода как продукта сгорания. При этом, как и другие оболочки планеты, атмосфера служит нам не только источником жизненно важных ресурсов, но и местом размещения огромного количества отходов, представляющих различные химические соединения.

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата, которое выражается в постепенном повышении среднегодовой температуры, начиная со второй половины прошлого столетия, большинство ученых связывают с накоплением в атмосфере «парниковых газов», к которым относится углекислый газ. Парниковые газы, и в первую очередь, углекислый газ, препятствуют длинноволновому тепловому излучению с поверхности Земли. В связи со сжиганием человеком все большего количества ископаемого топлива концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере постоянно увеличивается, растет и средняя температура у земной поверхности. Масштабы потепления за относительно короткий срок сопоставимы с потеплением, произошедшим на Земле после ледникового периода, а значит, экологические последствия могут быть катастрофическими.

Следует отметить справедливости ради, что поступление диоксида углерода в атмосферу происходит не только в результате техногенных причин. Органическое вещество в почвах мира (включая гумус и живое вещество) содержит в 3 раза больше связанного углерода, чем вся наземная растительность. Почвы пустынь и полупустынь накапливают углерод в неорганических соединениях, в первую очередь, в виде карбонатов кальция. Ежегодно почвенный покров Земли отдает в атмосферу около 5% почвенных запасов углерода за счет образования углекислого газа из органического вещества. Такое поступление почвенного диоксида углерода в атмосферу более чем в 10 раз превышает его поступление в результате сжигания углерода горючих ископаемых, однако почвенный резерв углерода восполняется продукцией биомассы. По имеющимся оценкам, поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу с сельскохозяйственных земель планеты составляет около 20% от поступления  $\text{CO}_2$  при сжигании ископаемого топлива.

Растущие концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере могут привести к глобальному потеплению, которое, по-видимому, в свою очередь, способствует более активной минерализации органического вещества в тундровых и торфяных почвах, что усиливает потери  $\text{CO}_2$  в виде поступления его в атмосферу и ускоряет темпы глобальных климатических изменений. До недавнего времени тундровые и различные заболоченные почвы, а также торфяники выступали в качестве мировых хранилищ почвенного углерода, особенно после отступления последних материковых ледников. Мы знаем теперь, что в результате таяния арктических льдов вследствие глобального потепления климата будут иметь место абсолютные потери углерода в составе углекислого газа из почв, оказавшихся в более теплых и влажных условиях, чем те, в которых почвы сформировались.

Эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы в атмосферу колеблется очень сильно в зависимости от особенностей почв и климатических условий, в том числе от содержания органического вещества в почве, влажности, температуры. Скорость выделения  $\text{CO}_2$  растет с температурой и, согласно ряду исследований, по экспоненциальной зависимости. Показано, что из некоторых почв скорость выделения  $\text{CO}_2$  достигает 3 г (в пересчете на углерод в сутки с площади 1 м<sup>2</sup>). Таким образом, диоксид углерода и газообразные углеводороды поступают в атмосферу как за счет промышленных предприятий и коммунального хозяйства, так и за счет эмиссии этих соединений целинными и пахотными почвами, то есть, естественным путем.

Интересна идея использовать фотосинтез как поставщик энергии в готовых топливных парах «вещество + окислитель», не приводящих к дисбалансу углекислого газа и кислорода как рабочих компонентов в этой системе. Углекислый газ можно рассматривать как звено в процессе передачи энергии по цепи «солнечная энергия - продукты фотосинтеза - топливные пары (энергоноситель + кислород как окислитель)». Известно, что уровень содержания  $\text{CO}_2$ , обычный для атмосферы, около 0,03% (по объему), не обеспечивает максимальную продуктивность зеленых растений. Положительное влияние на развитие корней и на прирост наземной биомассы оказывает увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  до 2%, однако при содержании  $\text{CO}_2$  около 8% уже наблюдается ингибирующий эффект. Таким образом, некоторое дополнительное поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу может играть положительную роль, но все же большую экологическую опасность при этом представляет «парниковый» эффект.

На первый взгляд кажется, что нет особой разницы в использовании древесины и угля в качестве источника энергии. На самом же деле, начав

добычу угля, человечество перешло от использования возобновляемых источников энергии к ископаемым источникам, которые создавались силами природы на протяжении геологических эпох. С наступлением времени нефти, сначала ее жгли в сыром виде, против чего выступал Д.И. Менделеев: «Как драгоценное и редкое в мире топливо, нефть рационально применять лишь в особо исключительных случаях». Сейчас транспорт потребляет почти всю продукцию переработки нефти (90%), игнорируя все известные слова Менделеева о топке печей ассигнациями. В связи с дефицитом нефти и ростом ее стоимости человечество ищет заменители нефтяных топлив. Наиболее популярными заменителями бензина служат биоэтанол, биодизель, которые производятся теперь миллионами тонн в год. Однако при этом возникает конфликт «топливо или продукты питания».

Для предупреждения или полного исключения поступления в атмосферу оксидов углерода и серы, снижения «парникового» эффекта и кислотных выпадений предлагались в разные времена своеобразные проекты, часть из которых пока имеют оттенок научной фантастики. Так, предложен способ складирования  $\text{CO}_2$  в твердом или жидком состоянии в глубоких отработанных шахтах. Принципиально такая схема, видимо, осуществима, но условия ее реализации и стоимость пока не позволяют надеяться на осуществление в ближайшее время. Складированный диоксид углерода можно при этом утилизировать, используя, в частности, для перевода  $\text{CO}_2$  в биомассу.

От других газообразных техногенных выбросов  $\text{CO}_2$  отличается тем, что в естественных условиях он продуцируется в огромных количествах и его круговорот в биосфере является одним из основополагающих процессов массо- и энергообмена в природе и поддержания жизни на Земле. Сам по себе диоксид углерода не является токсикантом, однако в XIX в. его среднепланетная концентрация в воздухе стала ежегодно повышаться на 0,8 - 1,5 мг/кг. Это вызвано сжиганием горючих ископаемых ( $\sim 9 \cdot 10^9$  т/год в пересчете на углерод), использованием сельскохозяйственного сырья и древесины ( $\sim 5 \cdot 10^9$  т/год).

Содержание диоксида углерода в воздухе существенно пополняется за счет вырубки лесов, ускоренной минерализации гумуса обрабатываемых почв, осваиваемых болот и торфяников. Процессы, ведущие к повышению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, имеют тенденцию к усилению, что вызывает серьезные опасения относительно возможных последствий этого явления.

На международной конференции в Торонто (Канада) в 1985 г. перед энергетикой всего мира была поставлена задача сократить промышлен-

ные выбросы соединений углерода в атмосферу. На конференции ООН в Киото (Япония) в 1997 г. правительствами 84 стран мира подписан Киотский протокол, по которому страны мира должны выбрасывать антропогенный углекислый газ не больше, чем они выбрасывали его в 1990 г. Однако следует отметить, что на сегодня проблема не только не снята, ее масштабы стали более серьезными. Решение топливно-энергетической проблемы стоит на повестке дня под номером один, ибо именно она инициирует многие другие сложности в поступательном развитии человечества.

С учетом негативных тенденций в экологическом состоянии окружающей среды ведутся исследования в области технологий энергопроизводства и энергопотребления, понижающих экологический прессинг на природу как среду обитания человека. Традиционные виды топлива находят более экономичную и экологическую альтернативу в виде биотоплива, возобновляемых источников энергии, а также рационального использования за счет оптимизации процессов горения. «Теория разумного эгоизма» - такое название получила политика, которую все чаще применяют компании в отношении окружающей среды. Ведущее правило социально ответственной компании - «правило бумеранга»: вложения, так же как и «недовложения» в долгосрочные перспективы, обязательно вернутся (но всегда ли сторицей?).

К сожалению, мало осваиваются наукоемкие технологии. Не всегда вписывается отделка облицовочными блестящими материалами, такими как алюкобонд и др. Теряется цвет живой природы, кроме того, большая разница зимних и летних температур приводят к их деформации, нарушается симметрия и эстетика архитектурных элементов. В опыте многих стран совмещается эстетичное с полезным. Солнечные фасады объектов устраивают более функциональными материалами. Можно стороны здания использовать как основу для солнцезащитных облицовочных материалов. Как говорится, дешево, красиво, экологически целесообразно! Суммарная мощность таких установок в мире превысила 500 МВт, что обусловлено принятием в ряде стран таких национальных программ, как «100 тысяч солнечных крыш» (Германия, Япония), или «1 миллион солнечных крыш» (США). Стоимость электроэнергии, вырабатываемой на них, составляет 15-20 центов за 1 кВт. Сколько таких эколого-экономических перспектив открывает человеческое знание. Дальнейшее развитие человечества, обусловленное его стремлением к обеспеченной безопасной жизни всегда было закономерным движением вперед улучшая качество жизни, расширяя и совершенствуя производство всего необходимого для своего жизнеобеспечения.

*Питьевое водоснабжение* - это деятельность, направленная на обеспечение питьевой водой, включающая в себя выбор, охрану источников, проектирование, строительство, эксплуатацию систем водоснабжения, забор, подготовку, хранение, подачу к местам потребления и реализацию питьевой воды. Это одна из наиболее серьезных экологических проблем в настоящее время. В государствах разрабатываются специальные программы "Питьевые воды", что является решением социальной жизнеобеспечивающей проблемы на Земле.

Сегодняшняя концепция инновационного развития - развитие за счет человеческого капитала как одного из основных и неиссякаемых источников экономического роста. В экономической теории под «человеческим капиталом» понимается совокупность знаний, навыков и способностей, которыми обладает человек и которые он может использовать в производственных и потребительских целях. Поэтому, говоря о развитии человеческого капитала, следует рассматривать взаимосвязь нескольких составляющих: образования и культуры, социально-демографических факторов и медицинских показателей и др. Данный учебник может быть полезен для студентов инженерно-экономического профиля во всех сферах деятельности человека.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ СИСТЕМЫ МКГСС И ТЕПЛОВЫМИ ЕДИНИЦАМИ, ОСНОВАННЫМИ НА КАЛОРИИ, И ЕДИНИЦАМИ СИСТЕМЫ СИ

##### *А. Единицы силы*

1 кгс = 9,80665 Н = 0,981 дан; 1 Н = 0,101972 кгс = 0,102 кгс;  
1 дан = 1,02 кгс.

##### *Б. Единицы давления*

1 ат = 1 кгс/см<sup>2</sup> = 98066,5 Н/м<sup>2</sup> ≈ 10<sup>5</sup> Па = 0,980665 бар ≈ 0,981 дан/см<sup>2</sup>  
1 мм вод. ст. = 1 кгс/м<sup>2</sup> = 10<sup>-4</sup> ат. = 9,80665 Па  
1 мм рт. ст. = 13,6 мм вод. ст. = 133,322 Н/м<sup>2</sup> = 0,001333 бар.  
1 Н/м<sup>2</sup> = 1 Па = 10<sup>-5</sup> бар ≈ 0,102 кгс/м<sup>2</sup> ≈ 0,102 · 10<sup>-4</sup> ат ≈ 0,102 мм вод. ст.  
1 бар = 1 дан/см<sup>2</sup> ≈ 1,02 кгс/см<sup>2</sup> ≈ 1,02 ат ≈ 10 200 мм вод. ст.

##### *В. Динамическая вязкость*

1 кгс · с/м<sup>2</sup> ≈ 9,81 Н · с/м<sup>2</sup> ≈ 9,81 кгс/м · с.  
1 Па · с = 0,102 кгс · с/м<sup>2</sup>.

##### *Г. Работа и энергия*

1 кгс · м = 9,81 Дж.  
1 кал ≈ 4,19 Дж; 1 ккал ≈ 4,19 кДж; 1 Гкал = 4 190 000 кДж.  
1 л.с. · ч = 2 · 648 · 10<sup>6</sup> Дж; 1 кВт · ч = 3,6 · 10<sup>6</sup> Дж = 3,6 МДж = 3600 кДж.  
1 Дж = 1 Н · м ≈ 0,102 кгс · м ≈ 0,23885 кал ≈ 0,278 · 10<sup>-6</sup> кВт · ч.

##### *Д. Мощность*

1 кгс · м/с = 9,81 Вт; 1 л.с. = 735,5 Вт,  
1 ккал/ч = 1,163 Вт; 1 Вт = 0,86 ккал/ч = 0,239 кал/с.  
1 кал/с = 4,187 Вт « 4,19 Вт.  
1 кВт = 1 кДж/с = 3600 кДж/ч.

##### *Е. Тепловые единицы*

1 кал/г = 1 ккал/кгс = 4,19 кДж/кг.  
1 ккал/град = 4,19 кДж/град.  
1 ккал/(м<sup>2</sup> · ч) = 1,163 Вт/м<sup>2</sup>.  
1 Дж/кг ≈ 0,239 кал/кг = 239 · 10<sup>-6</sup> ккал/кг.

**МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ И ИХ  
НАИМЕНОВАНИЙ (СТАНДАРТ СЭВ 1052-78. МЕТРОЛОГИЯ. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН)**

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
$10^{18}$	экса	E	Э	$10^{-1}$	деци	<i>d</i>	д
$10^{15}$	пета	P	П	$10^{-2}$	санτι	<i>c</i>	С
$10^{12}$	тера	T	Т	$10^{-3}$	милли	<i>m</i>	м
$10^9$	гига	G	Г	$10^{-6}$	микро	$\mu$	мк
$10^6$	мега	M	М	$10^{-9}$	нано	<i>n</i>	н
$10^3$	кило	K	К	$10^{-12}$	пико	<i>p</i>	п
$10^2$	гекто	<i>h</i>	г	$10^{-15}$	фемто	<i>f</i>	ф
$10^1$	дека	<i>da</i>	да	$10^{-18}$	атто	<i>a</i>	а

**ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ  
РАБОЧЕГО РЕЖИМА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ СИСТЕМ**

Наименование величин	Размерность	Соотношение между единицами
Температура	К	$273+t$
Давление	1 кгс/м <sup>2</sup> (мм вод. ст.)	9,8 Па
	1 мм рт. ст.	133 Па
	1 кгс/см <sup>2</sup>	98,067 кПа
	1 кгс/см <sup>2</sup>	0,098 МПа
Количество теплоты (энергии)	1 ккал	4187 Дж $\approx$ 4,19 кДж
	1 кДж	0,239 ккал
Тепловая мощность, поток	1 ккал/ч	1,163 Вт
	1 кал/с	$\sim$ 4,19 Вт
Энтальпия, теплота сгорания	1 ккал/кг	4187 Дж/кг
Работа (энергия)	1 кгс · м	9,8 Дж
	1 Вт · ч	3600 Дж
	1 Дж	0,102 кгс · м
Мощность	1 кгс · м/с	9,8 Вт
	1 кВт	860 ккал/ч
	1 л. с.	735 Вт
Коэффициент теплопередачи (теплоотдачи, теплообмена)	1 ккал/(м <sup>2</sup> · ч · °С)	1,163 Вт/(м <sup>2</sup> · К)
	1 Вт/(м <sup>2</sup> · К)	0,86 ккал/(м <sup>2</sup> · ч · °С)
Термическое сопротивление	1 м <sup>2</sup> · ч · °С/ккал	0,86 м <sup>2</sup> · К/Вт
	1 м <sup>2</sup> · К/Вт	1,163 м <sup>2</sup> · ч · °С/ккал
Коэффициент теплопроводности	1 ккал/(м · ч · °С)	1,163 Вт/(м · К)
	1 Вт/(м · К)	0,86 ккал/(м · ч · °С)
Удельная теплоемкость	1 ккал/(кг · °С)	4187 Дж/(кг · К)
	кДж/(кг · К)	0,24 ккал/(кг · °С)
Удельный расход топлива	кг/ккал	0,24 кг/Дж
Частота вращения	об/мин	0,104 рад/с

\* Для практических расчетов значения соотношений даны приближенно с точностью до 2 %.

**УКРУПНЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МАКСИМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО  
ПОТОКА НА ОТОПЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА 1 м<sup>2</sup> ОБЩЕЙ ПЛОЩАДИ  
q<sub>0</sub>, Вт**

Этажность жилой постройки	Характеристика зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления t <sub>н</sub> , °С										
		-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	Г-50	-55
<i>Для постройки до 1985 г.</i>												
1—2	Без учета внедрения энерго- сберега- ющих меропри- ятий	148	154	160	205	213	230	234	237	242	255	271
3—4		95	102	109	117	126	134	144	150	160	169	179
5 и более		65	70	77	79	86	88	98	102	109	115	122
1—2	С учетом внедрения энерго- сберегаю- щих меропри- ятий	147	153	160	194	201	218	222	225	230	242	257
3—4		90	97	103	111	119	128	137	140	152	160	171
5 и более		65	69	73	75	82	88	92	96	103	109	116
<i>Для постройки после 1985 г.</i>												
1—2	По новым типовым проектам	145	152	159	166	173	177	180	187	194	200	208
3—4		74	80	86	91	97	101	103	109	116	123	130
5 и более		65	67	70	73	81	87	87	95	100	102	1085

**Примечания:** 1. Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при капитальных и текущих ремонтах, направленных на снижение тепловых потерь.

2. Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения прогрессивных архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь.

**НОРМЫ РАСХОДА ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ (СНиП02.04.01-85  
“ВНУТРЕННИЙ ВОДОПРОВОД И КАНАЛИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ”)**

Потребитель	Единица измерения	Расход		
		среднепедельный, л/сут.	в сутки наибольшего водопотребления, л/сут.	максимально часовая, л/ч
Жилые дома квартирного типа, оборудованные: умывальниками, мойками и душами сидячими ваннами и душами ваннами длиной от 1,5 до 1,7 м и душами	1 житель	85	100	7,9
		90	110	9,2
		105	120	10
Жилые дома квартирного типа при высоте зданий более 12 этажей и повышенном благоустройстве		115	130	10,9
Общественные: с общими душевыми с душевыми во всех комнатах с общими кухнями и блоками душевых на этажах	1 житель	50	60	6,3
		60	70	8,2
		80	90	7,5
Гостиницы, пансионаты и мотели с общими ваннами и душами	1 житель	70	70	8,2
		140	140	12
Гостиницы и пансионаты с душами во всех номерах		100	100	10,4
		150	150	15
		180	180	16
Гостиницы с ваннами в отдельных номерах: в 25 % от общего числа номеров то же в 75 % во всех номерах		100	100	10,4
		150	150	15
		180	180	16
Больницы: с общими ваннами и душевыми с санитарными узлами, приближенными к палатам инфекционные	1 койка	75	75	5,4
		90	90	7,7
		110	110	9,5
Санатории и дома отдыха: с ваннами при всех жилых комнатах с душевыми при всех жилых комнатах	1 койка	120	120	4,9
		75	75	8,2
Поликлиники и амбулатории	1 большой в смену	5,2	6	1,2

Потребитель	Единица измерения	Расход		
		среднесуточный, л/сут.	в сутки наибольшего водопотребления, л/сут.	максимально часовая, л/ч
Прячечные:				
механизированные	1 кг сухого белья	25	25	25
немеханизированные		15	15	15
Административные здания	1 работающий	5	7	2
Учебные заведения (в том числе высшие и средние специальные) с душевыми при гимнастических залах и буфетами	1 учащийся и 1 преподаватель	6	8	1,2
Профессионально-технические училища	То же	8	9	1,4
Предприятия общественного питания:				
для приготовления пищи, реализуемой в обеденном зале	1 блюдо	12,7	12,7	12,7
то же продаваемой на дом		11,2	11,2	11,2
Магазины:				
продовольственные	1 работающий в смену	65	65	9,6
промтоварные		5	7	2
Стадионы и спортзалы:				
для зрителей	1 место	1	1	0,1
для физкультурников	1 физкультурник	30	30	2,5
для спортсменов	1 спортсмен	60	60	5
Банн:				
для мытья в мыльной с ополаскиванием в душе		—	120	120
то же с приемом оздоровительных процедур		—	190	190
душевая кабина		—	240	240
ванная кабина		—	360	360
Душевые в бытовых помещениях промышленных предприятий	1 душевая сетка в смену	—	270	270

**РАСЧЕТНАЯ ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА НА ОДНОГО ЖИТЕЛЯ, КДЖ/С  
(МКА/Ч) (ДЛЯ ОРИЕНТИРОВОЧНЫХ РАСЧЕТОВ)**

Потребление	Район				Примечание
	Сибирь, Урал и север европейской части страны	Средняя полоса евро- пейской части страны и се- верная часть Средней Азии	Южная часть евро- пейской части страны	Крым, Кавказ и юг Средней Азии	
Отопление и вентиляция жилых зданий	1,44 (1,23)	1,28 (1,10)	1,04 (0,90)	0,82 (0,70)	---
Отопление и вентиляция общественных зданий	0,35 (0,30)	0,31 (0,27)	0,28 (0,24)	0,20 (0,175)	---
Горячее водоснабжение	0,32 (0,275)	0,32 (0,275)	0,32 (0,275)	0,32 (0,275)	Дома с ваннами
Бани	0,03 (0,026)	0,03 (0,026)	0,03 (0,026)	0,03 (0,026)	---
Прачечные	0,07 (0,06)	0,07 (0,06)	0,07 (0,06)	0,07 (0,06)	---
Предприятия общественного питания	0,18 (0,15)	0,18 (0,15)	0,18 (0,15)	0,18 (0,15)	Полный пан- сион (3-разо- вое питание)
Итого	2,39 (2,04)	2,19 (1,88)	1,92 (1,65)	1,62 (1,39)	

**Примечания:**

1. Расчетные наружные температуры для отопления, °С; Сибирь, Урал и север европейской части страны -35; средняя полоса европейской части страны и северная часть Средней Азии -25; южная часть европейской части страны -15; Крым, Кавказ и юг Средней Азии -5.

2. Отопительная характеристика жилых зданий  $q_0 = 0,49 \text{ Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{К}) = 0,42 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С})$ .

3. Объем жилых зданий на одного жителя  $55 \text{ м}^3$ . Расчетный расход теплоты на вентиляцию жилых зданий равен 10 % расчетного расхода теплоты на отопление.

4. Объем общественных зданий на одного жителя составляет  $12 \text{ м}^3$ . Расчетный расход теплоты на вентиляцию общественных зданий равен 25 % расчетного расхода теплоты на отопление.

5. Расход горячей воды равен 100 л на одного жителя в сутки. Температура горячей воды 60 °С.

6. Расход теплоты на баню составляет 25 000 кДж (6000 ккал) на одну помывку; две помывки на жителя в месяц и 15 ч использования максимума тепловой нагрузки в сутки.

7. Расход теплоты на прачечную равен 6700 кДж (1600 ккал) на 1 кг сухого белья; 16 кг сухого белья на 1 чел. в месяц и 15 ч использования максимума в сутки.

8. Расход теплоты на общественное питание составляет 3140 кДж (750 ккал) на 1 чел. в сутки и 5 ч использования максимума в сутки.

**Коэффициенты теплопередачи  $k_{np}$  и теплоотдачи одной секции  $q_c$  для радиаторов М-140 (по данным ВНИИСТО)**

Обозначение коэффициентов	$t_r = (t_{np} - t_n)$ , град								
	60	64,5	70	80	90	100	110	120	140
$q_c$ , ккал/ч	124	135	148	173	198	223	248	272	322
$k_{np}$ , ккал/м <sup>2</sup> · ч · град	8,25	8,35	8,47	8,65	8,78	8,90	9,00	9,10	9,20

**Примечание.** Коэффициенты  $k_{np}$  и  $q_c$  даны для расхода теплоносителя (воды) 17,4 кг/ч · экм. Коэффициенты  $k_{np}$  и  $q_c$  действительны для пара, но в этом случае  $\Delta t = t_{np} - t_n$ .

Результаты теплотехнических исследований нагревательных приборов водяного отопления показывают, что при нижней подаче горячей воды с температурой до 95° система отопления неэкономична, при верхней и особенно при нижней подаче можно использовать перегретую воду, не превышая допускаемую температуру на наружной поверхности приборов 95° при максимальной температуре теплоносителя 105°. и получить экономно металл.

**Основные физические константы воды**

Температура $t$ , °С	Теплоемкость $c$ , кДж/кг · °С	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/м · К	Абсолютная вязкость $10^4 \mu$ , кг · с/м <sup>2</sup>	Кинематическая вязкость $10^4 \nu$ , м <sup>2</sup> /с	Температуропроводность $10^7 a$ , м <sup>2</sup> /с	Критерий Прандтля $\frac{\nu}{a}$
0	4,2	999,9	0,556	182,9	1,795	1,314	13,66
10	4,2	999,7	0,576	133,5	1,310	1,372	9,54
20	4,2	998,2	0,599	102,8	1,010	1,429	7,07
30	4,2	995,7	0,618	81,6	0,804	1,478	5,44
40	4,2	992,2	0,631	66,6	0,659	1,522	4,33
50	4,2	988,1	0,643	56,0	0,556	1,558	3,57
60	4,2	983,2	0,656	47,9	0,478	1,592	3,00
70	4,2	977,8	0,664	41,5	0,416	1,615	2,68
80	4,2	971,8	0,668	36,4	0,367	1,639	2,24
90	4,2	965,3	0,678	32,3	0,328	1,668	1,97
100	4,25	958,4	0,682	28,9	0,296	1,682	1,76
120	4,3	943,4	0,686	23,7	0,246	1,705	1,44
140	4,3	926,4	0,686	20,0	0,212	1,722	1,23
160	4,35	907,5	0,684	17,7	0,192	1,734	1,11
180	4,45	887	0,675	15,7	0,174	1,720	1,01
200	4,53	865	0,665	14,3	0,162	1,700	0,95

**Примечание:**  $\eta = M/g$ ;  $\nu = g\eta/\rho$ ;  $\alpha = \lambda/\rho c$ ;  $M$  — динамическая вязкость, Па · с [кг/(с · м)].

## Коэффициенты местных сопротивлений трубопроводов

Наименование	$\xi$	Примечание
Клапаны проходные, $d = 50—400$ мм	4-8	—
Клапаны «Косва»	0,5—2,0	—
Задвижки нормальные	0,3—0,5	—
Кран угловой	0,4	—
Кран проходной	0,6—2,0	В зависимости от сечения отверстия
Компенсатор:		
лировидный гладкий	1,7	—
волнистый	2,5	—
сальниковый	0,2	—
Водоотделитель	8-12	—
Грязевик	4—6	—
Угольник 90°	1,0	—
Колена 90°:		
гибкие гладкие, $R = d$	1,0	—
гладкие, $R = 2d$	0,7	—
гладкие, $R = 4d$	0,3	—
гладкие, $R > 4d$	0,05—0,2	—
Сварное колено (один шов):		
$\beta = 22,5^\circ$ , кл. 1	0,11	—
$\beta = 45^\circ$	0,32	—
$\beta = 60^\circ$	0,68	—
$\beta = 90^\circ$	1,27	—
Тройник (встречный ток), кл. 2	3,0	—
Входные насадки, кл. 3	1,0	Острая кромка
Входные насадки, кл. 4	0,5—1,0	—
Входные насадки с плавным изменением сечения, кл. 5	0,3—0,6	В зависимости от гладкости
Труба Вентури, кл. 6	$(0,15-0,2) [1 - (F_1/F_2)^2]$	Наивыгоднейший угол $\beta = 6—8^\circ$

## Основные данные стальных водогрейных котлов серийного производства

Типоразмер	Расчетная теплопроизводительность, МДж/с	Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	Расчетный расход воды, кг/с	Расчетные температуры воды, °С		Перепад давления воды, МПа	Вид топлива	КПД brutto при расчетной производительности, %
				на входе	на выходе			
КВ - Г-4	5,0	160	15,0	70	150	---	Газ	90
КВ-ГМ-4	4,65	127	13,8	70	150	0,12	Газ или мазут	90,5 или 86
КВ-ТС-4	4,65	127	13,8	70	150	0,10	Каменные или бурые угли	82 или 81
КВ-7М-6,5	7,55	199	22,2	70	150	0,12	Газ или мазут	91 или 87
КВ-ТС-6,5	7,55	199	22,2	70	150	0,11	Каменные или бурые угли	82
ТВГ-8М	9,65	292	29	70	150	0,14	Газ	90
КВ-ГМ-10	11,6	295	34,3	70	150	0,15	Газ или мазут	90 или 89
КВ-ТС-10	11,6	277	34,3	70	150	0,11	Каменные или бурые угли	83 или 81
КВ-ГМ-20	23,3	513	68,7	70	150	0,23	Газ или мазут	90 или 88
КВ-ТС-20	23,3	489	68,7	70	150	0,15	Каменные или бурые угли	81 или 79
КВ-ГМ-30	35	720	103	70	150	0,19	Газ или мазут	90 или 88
ПТВМ-30М	46,5 или 40,7	822	139 или 122	70	150	0,17	То же	91 или 88
ПТВМ-50	58	1468	172 или 342	70	150	0,138	То же	92,5 или 91
				110	150	0,075	То же	
ЗЧМ-60ПМ	70	1491	213	70	150	0,17	Каменные или бурые угли	89 или 87
КВГМ-100	116	2710	343 или 684	70	150	0,165	Газ или мазут	92,5 или 91
				110	150	0,079		
ПТВМ-180	210	5979	1022	101	150	0,109	Газ	89

Примечание. Первые значения расходов и температур сетевой воды для котлов КВГМ-50 и КВГМ-100 относятся к их работе в качестве основных, вторые в качестве пиковых источников теплоты. Котел ПТВМ-180 предназначен для работы только в пиковом режиме.

**Параметры и номинальная производительность паровых котлов  
низкого и среднего давления по ГОСТ 3619-89**

Типоразмер	Номинальные параметры				Номинальная паропроизводительность $D_{ном}$ , кг/с
	абсолютное давление пара, МПа	температура пара, °С	энтальпия пара, кДж/кг	температура питательной воды, °С	
Пр 0,16-9 ÷ Пр 1-9*	0,9	174,5 (насыщенный)	2772	50	0,044; 0,069; 0,111; 0,195; 0,278
Е 0,25-9 ÷ Е10-9**	0,9	174,5 (насыщенный)	2772	50—100	0,069; 0,111; 0,195; 0,278; 0,444; 0,694; 1,11; 1,81; 2,78
Е 2,5-14	1,4	194	2788	100	0,694
Е 4-14 ÷ Е 35-14	1,4	194 (насыщенный) или 225 (перегретый)	2788	100	1,14; 1,81; 2,78; 4,44; 6,94; 9,72
Е 50-14 ÷ Е 100-14	1,4	225	2869	100	13,9; 20,8; 27,8
Е 10-24 ÷ Е 35-24	2,4	221 (насыщенный) или 250 (перегретый)	2800 или 2887	100	2,78; 6,94; 9,72
Е 50-24 ÷ Е 160-24	2,4	250	2887	100	13,9; 27,8; 44,4
Е 10-40 ÷ Е 75-40	3,9	440	3309	145	2,78; 4,44; 6,94; 9,72; 13,9; 20,8

\* Пр — прямоточный.

\*\* Е — естественная циркуляция.

**Основные технические характеристики сетевых подогревателей турбин  
Уральского турбомоторного завода (УТМЗ)**

Тип подогревателя	Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	Расчетный расход воды, кг/с	Перепад давления воды, кПа	Допустимое давление по входу, МПа	Рабочее давление пара, МПа	Масса, т		Тип турбины
						без воды	с водой	
ПСТ-800-3-8-1	800	415	50	0,8	0,05—0,2	31	43	ПТ-50/60-130/7
ПСТ-1300-3-8-1	1300	830	90	0,8	0,05—0,25			Т-50/60-130 ПТ-135/165-130/15
ПСТ-23300-2-8-1	2300	1250	108	0,8	0,05—0,2	51	77	Т-100/120-130
ПСТ-2300-3-8-1	2300	1250	108	0,8	0,06—0,25	50	75	
ПСТ-5000-2,5-8-1	5000	2000	133	0,8	0,05—0,15	120	181	Т-250/300-240
ПСТ-5000-3,5-8-1	5000	2000	133	0,8	0,06—0,2	110	158	Т-170/205-130

**Технические характеристики пароводяных поверхностных сетевых подогревателей Саратовского завода энергетического машиностроения (ОСТ-108, 271, 101-76)**

Показатель	ПСВ-200-7-15	ПСВ-200-14-23	ПСВ-315-14-23	ПСВ-500-14-23**
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	200	200	315	500
Номинальный расход воды, т/ч	800	800	1130	1800
Сечение для прохода воды, м <sup>2</sup>	0,123	0,123	0,137	0,226
Потеря напора с водяной стороны, м	5,5	5,5	5,5	5,5
Число ходов воды	2	2	2	2
Число трубок*	1018	1018	1143	1830
Диаметр корпуса, мм	1232	1232	1540	1640
Общая высота подогревателя, мм	5540	5540	7140	7340
Рабочее давление (избыточное), МПа:				
с водяной стороны	1,5	2,3	2,3	2,3
с паровой стороны	0,7	1,4	1,4	1,4
Максимальная температура среды, °С:				
пара	400	350	400	400
воды	150	180	150	180
Масса, т:				
без воды	6,6	6,6	10	11,9
с водой	11,5	11,5	19,4	25,4

\* Во всех подогревателях трубки литунные Л-68 диаметром 19/17,5 мм.

\*\* Выпускается в нескольких модификациях.

**Технические характеристики пластинчатых теплообменников**

Характеристика	Тип пластины		
	0,3	0,5	0,6
Габаритный размер (длина × ширину × толщину), мм	1370 × 300 × 1	1400 × 670 × 1	1375 × 600 × 1
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	0,3	0,5	0,6
Масса, кг	3,2	6,0	5,8
Эквивалентный диаметр канала $d_e$ , м	0,008	0,009	0,008
Площадь поперечного сечения канала, м <sup>2</sup>	0,0011	0,00285	0,00245
Смачиваемый периметр в поперечном сечении канала	0,55	1,27	1,188
Ширина канала, м	0,25	0,57	0,545
Зазор для прохода среды в канале, мм	4	5	4,5
Приведенная длина канала $L_{пр}$ , м	1,12	0,8	1,01
Площадь поперечного сечения коллектора (угловое отверстие на пластине), м <sup>2</sup>	0,0045	0,0283	0,0243
Коэффициент общего гидравлического сопротивления $\xi$	$\frac{19,3}{Re^{0,25}}$	$\frac{19,3}{Re^{0,25}}$	$\frac{19,3}{Re^{0,25}}$
Коэффициент гидравлического сопротивления присоединительного штуцера $\xi_{шт}$	1,5	1,5	1,5
Коэффициент профиля пластины $\alpha$	19	15	15

**Примечания:**

1. Параметр одного канала пластинчатого теплообменника  $\Phi=1$ .
2. Потеря напора в пластинчатом теплообменнике, м,

$$\Delta H_n = \xi \frac{L_{пр} w^2}{d_e 2g} \chi,$$

где  $\xi$  — коэффициент общего гидравлического сопротивления.

3. Значение  $Re$  определяется при  $d_e$ ,  $w$  — скорость теплоносителя, м/с;  $g$  — ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\chi$  — число последовательно соединенных ходов.
4. Потеря напора в штуцере, м,

$$\Delta H_{шт} = \xi_{шт} \frac{w_{шт}^2}{2g},$$

где  $w_{шт}$  — скорость воды в штуцере, м/с.

5. Суммарная потеря напора в пластинчатом теплообменнике

$$\Delta H_t = \Delta H_n + 2\Delta H_{шт}.$$

Приложение 15

**Конструктивные характеристики секционных водо-водяных подогревателей с длиной секции 2 м (ГОСТ 27590-88 и по ОСТ 34-588-68)\***

Характеристика	Обозначение подогревателя по ГОСТ 27590-88										
	01	03	05	07	09	11	13	15	17	19	21
Диаметр корпуса $D_1/D_2$ , мм/мм	57/50	76/69	89/82	114/106	168/156	219/207	273/259	325/309	377/359	426/408	530/514
Поверхность нагрева одной секции $F$ , м <sup>2</sup>	0,37	0,65	1,11	1,76	3,40	5,89	10,0	13,8	19,8	25,8	41,0
Сопротивление трубок $\xi_p \cdot 10^{-3}$ м · с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	660	218	79,0	29,8	7,85	2,64	0,910	0,520	0,234	0,134	—
Сопротивление межтрубного пространства $\xi_{м.} \cdot 10^{-3}$ м · с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	705	162	113	35,6	5,72	1,82	0,910	0,390	0,260	0,170	—
Масса одной секции, кг	32,2	43,2	55,2	76,5	136	213	304	412	559	719	958

\* В ГОСТ 27590-88 входят подогреватели 01—15 с диаметром корпуса 57/50—325/309 мм; в ОСТ 34-588-68 — подогреватели 17—21 с диаметром корпуса 377/359—530/514 мм.

Примечание. Характеристики, не вошедшие в данную таблицу, такие же, как и для подогревателей с длиной секции 4 м.

Приложение 16

**Допускаемые напряжения для стальных трубопроводов  $\sigma$ , МПа**

Температура, °С	Марка стали						
	Ст2	Ст3	10	20	10ГС1	15ГС	16ГС
20	127	137	127	144	173	181	166
150	115	126	117	135	166	170	152
200	111	121	113	132	163	165	147
250	107	117	110	129	161	162	142
275	101	111	104	123	156	157	137
300	96	105	98	116	150	150	131
320	—	—	93	111	145	142	127
340	—	—	88	107	138	134	122
360	—	—	83	101	132	126	117
380	—	—	79	95	125	118	112
400	—	—	75	90	117	111	107
410	—	—	73	87	—	104	—
420	—	—	71	84	—	100	—
430	—	—	66	81	—	95	—
440	—	—	59	71	—	88	—

Котлы фирмы “Титан” предназначены для теплоснабжения промышленных сельскохозяйственных объектов, школ, больниц, коммунального хозяйства и жилья.

**Технические характеристики котлов БМВК-М-0,3, БМВК-М-0,4, БМВК-М-0,6, ТЗВК 2,0**

Техническая характеристика	БМВК-М-0,3	БМВК-М-0,4	БМВК-М-0,6	ТЗВК 2,0
Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч	0,3	0,4	0,6	2,0
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	3000	4000	6000	20000
Отапливаемый объем, м <sup>3</sup> (при высоте Н=3м)	9000	12000	18000	60000
Температура воды на входе котла, °С	60-65	60-65	60-65	60-65
Температура воды на выходе из котла, °С	90-95	90-95	90-95	90-95
Рабочее давление МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)
КПД, %	87	87	87	87
Температура дымовых газов, °С	250	250	250	250
Масса, кг	1540	1710	2180	8000
Габаритные размеры, мм				
Длина	2200	2350	2750	5200
Ширина	1370	1370	1600	2600
Высота	1700	1700	1860	2300
Присоединительные размеры, Ду мм	100	100	100	100

**Технические характеристики паровых котлов КВ-300, КВ-800**

Техническая характеристика	Размерность	КВ-300	КВ-800
Паропроизводительность	кг пара/час	300	800
Рабочее давление, не менее	кг/см <sup>2</sup>	0,7	0,7
Топливо		уголь	уголь
Температура пара, не менее	°С	120	120
КПД, не менее	%	80	80
Тепловая мощность, не менее	кВт	185	496

Характеристика	Тип КВУ									
	КВУ 0,6	КВУ 0,8	КВУ 1	КВУ 1,5	КВУ 2	КВУ 2,5	КВУ 3	КВУ 4	КВУ 5	КВУ 6
Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч	0,06	0,08	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	600	800	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000
Отапливаемый объем, м <sup>3</sup>	1800	2400	3000	4500	6000	7500	9000	12000	15000	18000
Температура воды на входе котла, °С	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65
Температура воды на выходе из котла, °С	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Рабочее давление МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,28 (2,8)									
КПД, %	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Температура дымовых газов на выходе из котла, °С	250			170	170	170	170	170	170	170
Масса, кг	870	1160	1450	1500	1710	1900	2110	2810	3000	3300
Габаритные размеры, мм										
Длина	910	1100	1250	1750	1870	2000	2200	2300	2400	2600
Ширина	700	900	1100	1200	1200	1300	1400	1500	1550	1500
Высота	1300	1480	1670	1700	1750	1800	1850	1930	2000	2330

Характеристика	Тип ТЗВК					Тип БМВК, БМВК-М					
	ТЗ К 0,7	ТЗ К 0,8	ТЗВ 1	ТЗВК 1,5	ТЗВК 2	БМВК 0,5	БМВК 0,7	БМВК 1	БМВК 1,5	БМВК 1,7	БМВК 2
Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч	0,7	0,8	1	1,5	2	0,5	0,7	1	1,5	1,7	2
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	7000	8000	10000	15000	20000	5000	7000	10000	15000	17000	20000
Отапливаемый объем, м <sup>3</sup>	21000	24000	30000	45000	60000	15000	21000	30000	45000	51000	60000
Температура воды на входе котла, °С	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65	55-65
Температура воды на выходе из котла, °С	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Рабочее давление МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)	0,6 (6,0)
КПД, %	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
Температура дымовых газов на выходе из котла, °С	200	200	200	200	200	230	230	230	230	230	230
Масса, кг	4100	4430	4700	5130	5700	1800	2000	2300	3200	3900	4300
Габаритные размеры, мм											
Длина	3000	3650	3700	4200	5660	2300	3500	4200	5200	5300	5600
Ширина	2050	2150	2300	2400	2500	2100	2100	2100	2100	2200	2200
Высота	1810	1850	1900	2260	2300	1800	1800	2200	2200	2300	2350

## Библиографический список

- Амерханов Р.А., Дроганов Б.Х.* Теплотехника. Энергоиздат. - М., 1991.
- Баскаков А.П. и др.* Теплотехника. Энергониздат. - М., 1991.
- Васильев Б. А., Грецев Н. А.* Гидравлические машины. - М.: Агропромиздат, 1988.
- Гавриленко Б. А., Семичастнов Н. Ф.* Гидродинамические передачи. -М.: Машиностроение, 1980.
- Дейнега В.В.* Гидропривод маппиз и оборудования, учебник, КИиЭУ им. Дулатова, 2010.
- Дейнега В.В.* Новое поколение машин для села. Журнал "Тракторы и сельхозмашины", 2003, №8.
- Дейнега В.В.* Гидропривод сельскохозяйственных машин. Учебное пособие. Москва, Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования, 1989
- Дейнега В.В.* Гидравлика, гидропривод и гидросиловые установки. Курс лекций. Кустанай КИиЭУ, 2002, 2009, 2010 гг.
- Дейнега В.В., Корман А.Х.* Динамические удары в гидросиловых системах. Статья. Кустанай, КИиЭУ, 2007 "Наука".
- Дроганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобахта С.П.* Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. - М. Агропромиздат, 1990.
- Исаев А. П. и др.* Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. - М.: Агропромиздат, 1990.
- Квакинушкин М. П.* Насосы и вентиляторы. - М.: Высшая школа, 1987.
- Ловкис З.В.* Гидроприводы сельскохозяйственной техники: конструкция и расчет. - М.: Агропромиздат, 1990.
- Мельников С.В.* Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. -Л.: Агропромиздат, 1985.
- Палишкин Н.А.* Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение. - М.: Агропромиздат, 1990.
- Прибытков И.А., Левицкий И.А.* Теоретические основы теплотехники. Москва, АСАДЕМА, 2004.
- Сельскохозяйственная мелиорация / Под ред. Маслова Б. С. - М.: Колос, 1984.
- Саплин Л.А. и др.* Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников. Челябинск, ИЗУЧГАУ, 2000 г.
- Соколов Е.Я.* Теплофикация и тепловые сети. - М. Издательский дом МЭИ, 2006.
- Черкасский В.М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
- Штеренлихт Д.В.* Гидравлика. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
- Щегалев М.М., Гусев Ю.Л., Ковжлев М.С.* Котельные установки. - М., Стройиздат, 1972.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Глава 1. ГИДРАВЛИКА .....	6
1.1. Общие сведения о жидкостях, их физические свойства и характеристики .....	6
1.2. Плотность .....	7
1.3. Вязкость .....	10
1.4. Газовоздушные составляющие .....	15
1.5. Кавитация .....	16
1.6. Деформация .....	17
Глава 2. ГИДРОСТАТИКА .....	21
2.1. Силы, действующие в жидкости, и ее напряженное состояние. Гидростатическое давление и его свойства .....	21
2.2. Основное уравнение гидростатики. Поверхности равного давления .....	25
2.3. Абсолютное и избыточное давления. Приборы для измерения давления .....	32
2.4. Сила гидростатического давления на плоские фигуры. Эпюры давления .....	38
2.5. Сила гидростатического давления на произвольную криволинейную поверхность. Закон Архимеда .....	44
2.6. Относительный покой жидкости .....	49
Глава 3. ГИДРОДИНАМИКА .....	53
3.1. Методы механики .....	53
3.2. Определения и параметры потока жидкости. Установившееся и неустановившееся движение .....	55
3.3. Напорное и безнапорное движение расход и средняя скорость потока. Уравнение неразрывности .....	58
3.4. Режимы движения жидкости .....	61
3.5. Уравнение Бернулли, его геометрическая и энергетическая интерпретации .....	62
3.6. Основное уравнение равномерного движения жидкости .....	70
3.7. Потери напора. Гидравлические сопротивления .....	72
3.8. Примеры применения уравнения Бернулли в технике .....	80
3.9. Гидравлический расчет трубопроводов. Параллельное и последова- тельное соединения труб. Сложные трубопроводы .....	84

3.10. Гидравлический удар .....	99
3.11. Движение жидкости в открытых руслах .....	101
3.12. Истечение жидкости через отверстия и насадки .....	102
Глава 4. ДИНАМИЧЕСКИЕ НАСОСЫ И ВЕНТИЛЯТОРЫ .....	108
4.1. Центробежные насосы .....	108
4.2. Основное уравнение центробежных насосов .....	111
4.3. Работа насоса на сеть .....	121
4.4. Осевые и вихревые насосы .....	124
4.5. Водоподъемники .....	125
4.6. Вентиляторы .....	129
4.7. Объемные гидромашины .....	130
Глава 5. ВОДОСНАБЖЕНИЕ .....	133
5.1. Особенности и источники сельскохозяйственного водоснабжения .....	133
5.2. Водонапорные башни и их оборудование .....	134
5.3. Сооружения для забора поверхностных и подземных вод .....	139
5.4. Насосные станции .....	140
Глава 6. ГИДРОПНЕВОТРАНСПОРТ .....	148
6.1. Классификация гидропневмотранспортных установок .....	148
6.2. Расчет гидропневмотранспорта .....	149
Глава 7. ТЕПЛОТЕХНИКА .....	155
7.1. Общие сведения .....	155
7.2. Рабочее тело и параметры его состояния .....	155
7.3. Теплота и работа .....	159
7.4. Теплоемкость .....	161
7.5. Способы передачи теплоты .....	161
7.6. Водяной пар и его свойства .....	164
7.7. Воздух и его свойства .....	166
Глава 8. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ .....	168
8.1. Общая схема теплоснабжения .....	168
8.2. Котельные агрегаты .....	169
8.3. Топочные устройства .....	170
8.4. Тепловой и эксергетический балансы и тепловой расчет котла .....	171
8.5. Процесс сгорания .....	175
8.6. Теплота сгорания .....	179
Глава 9. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА .....	182
9.1. Определение состава топлива .....	182
9.2. Определение объема воздуха, объема и массы продуктов сгорания.....	184
9.3. Определение энтальпии продуктов сгорания и воздуха .....	186
9.4. Расчет коэффициента полезного действия и расхода топлива .....	188
9.5. Тепловой расчет .....	191
Глава 10. ТЕПЛООБМЕН .....	196
10.1. Способы передачи тепла .....	196

10.2. Определение поверхности нагревательных приборов .....	197
10.3. Система теплоснабжения .....	198
Глава 11. МЕСТНОЕ ОТОПЛЕНИЕ .....	201
11.1. Общие сведения о местном отоплении .....	201
11.2. Принцип действия и устройство системы водяного отопления с естественной циркуляцией .....	204
Глава 12. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ .....	209
12.1. Использование солнечной энергии .....	210
12.2. Солнечное излучение .....	211
12.3. Использование энергии ветра .....	212
12.4. Аэродинамические характеристики ветроагрегатов .....	217
12.5. Ядерная энергетика .....	219
12.6. Энергия биомассы .....	219
Глава 13. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ .....	220
Приложения .....	227
Библиографический список .....	245

---

Автор благодарит руководство теплоэнергетической компании  
"Титан" в оказании помощи издания настоящего учебника.

---

Дейнега Виктор Васильевич

## **ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Подписано в печать 10.06.2010.

Формат бумаги 60x84/16. Гарнитура Times New Roman, 11. Усл. печ. л. 15,9.

Тираж 200 экз. Заказ № 2154.

Набрано, сверстано и отпечатано с предоставленных материалов

в ТОО "Костанайполиграфия", 110007, г. Костанай, ул. Мауленова, 16, тел. 28-00-57.

Примерный перечень тестовых заданий по дисциплине.

1. При истечении жидкости из отверстий основным вопросом является
  - A) определение скорости истечения и расхода жидкости;
  - B) определение необходимого диаметра отверстий;
  - C) определение объема резервуара;
  - D) определение гидравлического сопротивления отверстия.
  - E) нет правильного ответа.
  
2. Чем обусловлено сжатие струи жидкости, вытекающей из резервуара через отверстие
  - A) вязкостью жидкости;
  - B) движением жидкости к отверстию от различных направлений;
  - C) давлением соседних с отверстием слоев жидкости;
  - D) силой тяжести и силой инерции.
  - E) нет правильного ответа.
  
3. Что такое совершенное сжатие струи?
  - A) наибольшее сжатие струи при отсутствии влияния боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
  - B) наибольшее сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
  - C) сжатие струи, при котором она не изменяет форму поперечного сечения;
  - D) наименьшее возможное сжатие струи в непосредственной близости от отверстия.
  - E) нет правильного ответа.
  
4. Коэффициент сжатия струи характеризует
  - A) степень изменение кривизны истекающей струи;
  - B) влияние диаметра отверстия, через которое происходит истечение, на сжатие струи;
  - C) степень сжатия струи;
  - D) изменение площади поперечного сечения струи по мере удаления от резервуара.
  - E) нет правильного ответа.
  
5. Коэффициент сжатия струи определяется по формуле

$$\epsilon = \frac{d_c}{d_o}; \quad \epsilon = \frac{S_o}{S_c};$$

A)                      B)

$$\text{C) } \varepsilon = \frac{S_c}{S_o}; \quad \text{D) } \varepsilon = \frac{S_c^2}{S_o^2}.$$

Е) нет правильного ответа.

6. Скорость истечения жидкости через отверстие равна

$$\text{A) } v = \varphi^2 \sqrt{2gH};$$

$$\text{B) } v = 2\sqrt{\varphi gH};$$

$$\text{C) } v = \sqrt{\varphi 2gH};$$

$$\text{D) } v = \varphi \sqrt{2gH}.$$

Е) нет правильного ответа.

7. Расход жидкости через отверстие определяется как

$$\text{A) } Q = S_o v;$$

$$\text{B) } Q = S_c v;$$

$$\text{C) } Q = \varphi v \varepsilon;$$

$$\text{D) } Q = \mu S_o.$$

Е) нет правильного ответа.

8. В формуле для определения скорости истечения жидкости через отверстие

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \text{ буквой } \varphi \text{ обозначается}$$

А) коэффициент скорости;

В) коэффициент расхода;

С) коэффициент сжатия;

Д) коэффициент истечения.

Е) нет правильного ответа.

9. При истечении жидкости через отверстие произведение коэффициента сжатия на коэффициент скорости называется

А) коэффициентом истечения;

В) коэффициентом сопротивления;

С) коэффициентом расхода;

Д) коэффициентом инверсии струи.

Е) нет правильного ответа.

10. В формуле для определения скорости истечения жидкости через отверстие

$$v = \Phi \sqrt{2gH}$$

буквой  $H$  обозначают

- A) дальность истечения струи;
- B) глубину отверстия;
- C) высоту резервуара;
- D) напор жидкости.
- E) нет правильного ответа.

11. Число Рейнольдса при истечении струи через отверстие в резервуаре определяется по формуле

$$Re_u = \frac{v \sqrt{2dH}}{\nu};$$

A)  $Re_u = \frac{g}{\nu}$

B)  $Re_u = \frac{d \sqrt{2gH}}{\nu};$

C)  $Re_u = d \nu \frac{1}{\sqrt{2gH}}$

D)  $Re_u = \sqrt{\rho g H} \frac{d}{\nu}.$

E) нет правильного ответа.

12. Изменение формы поперечного сечения струи при истечении её в атмосферу называется

- A) кавитацией;
- B) коррегированием;
- C) инверсией;
- D) полиморфией.
- E) нет правильного ответа.

13. Инверсия струй, истекающих из резервуаров, вызвана

- A) действием сил поверхностного натяжения;
- B) действием сил тяжести;
- C) действием различно направленного движения жидкости к отверстиям;
- D) действием масс газа.
- E) нет правильного ответа.

14. Что такое несовершенное сжатие струи?

- A) сжатие струи, при котором она изменяет свою форму;
- B) сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара;
- C) неполное сжатие струи;
- D) сжатие с возникновением инверсии.
- E) нет правильного ответа.

15. Истечение жидкости под уровень это

- A) истечении жидкости в атмосферу;
- B) истечение жидкости в пространство, заполненное другой жидкостью;
- C) истечение жидкости в пространство, заполненное той же жидкостью;
- D) истечение жидкости через частично затопленное отверстие.
- E) нет правильного ответа.

16. Скорость истечения жидкости через затопленное отверстие определяется по формуле

- A)  $v = \varphi^2 \sqrt{2gH}$ ;
- B)  $v = 2\sqrt{\varphi gH}$ ;
- C)  $v = \sqrt{\varphi 2gH}$ ;
- D)  $v = \varphi \sqrt{2gH}$ .
- E) нет правильного ответа.

17. Напор жидкости  $H$ , используемый при нахождении скорости истечения жидкости через затопленное отверстие, определяется по формуле

- A)  $H = H_0 + \frac{P_0 - P_2}{\rho g}$ ;
- B)  $H = H_0 - \frac{P_0 - P_2}{\rho g}$ ;
- C)  $H = H_0 + \frac{P_0 + P_2}{2g}$ ;
- D)  $H = H_0 - \frac{2g}{P_0 - P_2}$ .
- E) нет правильного ответа.

18. Внешним цилиндрическим насадком при истечении жидкости из резервуара называется

- A) короткая трубка длиной, равной нескольким диаметрам без закругления входной кромки;
- B) короткая трубка с закруглением входной кромки;
- C) короткая трубка с длиной, меньшей, чем диаметр с закруглением входной кромки;
- D) короткая трубка с длиной, равной диаметру без закругления входной кромки.
- E) нет правильного ответа.

19. При истечении жидкости через внешний цилиндрический насадок струя из насадка выходит с поперечным сечением, равным поперечному сечению самого насадка. Как называется этот режим истечения?

- A) безнапорный;
- B) безотрывный;
- C) самотечный;
- D) напорный.
- E) нет правильного ответа.

20. Укажите способы изменения внешнего цилиндрического насадка, не способствующие улучшению его характеристик.

- A) закругление входной кромки;
- B) устройство конического входа в виде конфузора;
- C) устройство конического входа в виде диффузора;
- D) устройство внутреннего цилиндрического насадка.
- E) нет правильного ответа.

21. Опорожнение сосудов (резервуаров) это истечение через отверстия и насадки

- A) при постоянном напоре;
- B) при переменном напоре;
- C) при переменном расходе;
- D) при постоянном расходе.
- E) нет правильного ответа.

22. Из какого сосуда за единицу времени вытекает больший объем жидкости (сосуды имеют одинаковые геометрические характеристики)?

- A) сосуд с постоянным напором;
- B) сосуд с уменьшающимся напором;
- C) расход не зависит от напора;
- D) сосуд с увеличивающимся напором.
- E) нет правильного ответа.

23. Скорость истечения жидкости из-под затвора в горизонтальном лотке определяется

A)  $v_c = \varphi \sqrt{2g(H_0 - h_c)}$ ;

B)  $v_c = \varphi \sqrt{2g(H_0 + h_c)}$ ;

C)  $v_c = 2g \sqrt{\varphi(H_0 - h_c)}$ ;

D)  $v_c = 2\varphi \sqrt{g(H_0 + h_c)}$ .

E) нет правильного ответа.

24. Давление струи жидкости на ограждающую площадку определяется по формуле

$$P = \frac{v}{g} Q \gamma;$$

A)

$$P = \frac{g}{v} Q v;$$

B)

$$P = \gamma$$

C)

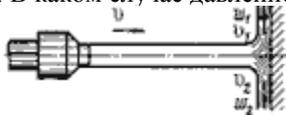
$$P = \frac{\gamma}{g} Q v;$$

D)

$$P = \frac{\gamma}{v} Q g.$$

E) нет правильного ответа.

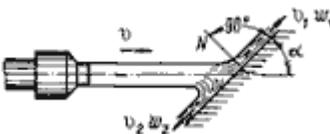
25. В каком случае давление струи на площадку будет максимальным



A)



B)



C)



- D)  
E) нет правильного ответа.
26. На сколько последовательных частей разбивается свободная незатопленная струя?
- A) не разбивается;  
B) на две;  
C) на три;  
D) на четыре.  
E) нет правильного ответа.
27. Укажите верную последовательность составных частей свободной незатопленной струи
- A) компактная, раздробленная, распыленная;  
B) раздробленная, компактная, распыленная;  
C) компактная, распыленная, раздробленная;  
D) распыленная, компактная, раздробленная.  
E) нет правильного ответа.
28. С увеличением расстояния от насадка до преграды давление струи
- A) увеличивается;  
B) уменьшается;  
C) сначала уменьшается, а затем увеличивается;  
D) остается постоянным.  
E) нет правильного ответа.
29. В каком случае скорость истечения из-под затвора будет больше?
- A) при истечении через незатопленное отверстие;  
B) при истечении через затопленное отверстие;  
C) скорость будет одинаковой;  
D) там, где истекающая струя сжата меньше.  
E) нет правильного ответа.
30. Коэффициент сжатия струи обозначается греческой буквой
- A)  $\epsilon$ ;  
B)  $\mu$ ;  
C)  $\varphi$ ;  
D)  $\xi$ .  
E) нет правильного ответа.

31. Коэффициент расхода обозначается греческой буквой

- A)  $\varepsilon$ ;
- B)  $\mu$ ;
- C)  $\varphi$ ;
- D)  $\xi$ ;
- E) нет правильного ответа.

32. Коэффициент скорости обозначается буквой

- A)  $\varepsilon$ ;
- B)  $\mu$ ;
- C)  $\varphi$ ;
- D)  $\xi$ ;
- E) нет правильного ответа.

33. Коэффициент скорости определяется по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}};$$

A)

C)

$$\varphi = \frac{\alpha}{\sqrt{1 + \xi}};$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha - \xi}};$$

B) D)

E) Нет правильного ответа.

$$\varphi = \frac{\xi}{\sqrt{\alpha - 1}}.$$

34. Напор жидкости  $H$ , используемый при нахождении скорости истечения жидкости в воздушное пространство определяется по формуле

$$H = H_0 + \frac{P_0 + P_1}{2\rho g};$$

A)

$$H = H_0 + \frac{P_0 + P_1}{\rho g};$$

B)

$$H = H_0 - \frac{P_0 - P_1}{\rho g};$$

C)

$$H = H_0 + \frac{P_0 - P_1}{\rho g}.$$

D)

E) нет правильного ответа.

35. Расход жидкости при истечении через отверстие равен

A)  $Q = \mu S_o \sqrt{2gH}$ ;

B)  $Q = \mu S_c \sqrt{2gH}$

C)  $Q = 2\mu S_c \sqrt{gH}$ ;

D)  $Q = g S_o \sqrt{2\mu H}$ .

E) нет правильного ответа.

36. Во сколько раз отличается время полного опорожнения призматического сосуда с переменным напором по сравнению с истечением того же объема жидкости при постоянном напоре?

A) в 4 раза больше;

B) в 2 раза меньше;

C) в 2 раза больше;

D) в 1,5 раза меньше.

E) нет правильного ответа.

37. Напор  $H$  при истечении жидкости при несовершенном сжатии струи определяется

A) разностью пьезометрического и скоростного напоров;

B) суммой пьезометрического и скоростного напоров;

C) суммой геометрического и пьезометрического напоров;

D) произведением геометрического и скоростного напоров.

E) нет правильного ответа.

38. Диаметр отверстия в резервуаре равен 10 мм, а диаметр истекающей через это отверстие струи равен 8 мм. Чему равен коэффициент сжатия струи?

A) 1,08;

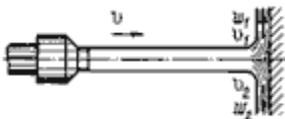
B) 1,25;

C) 0,08;

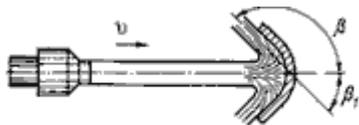
D) 0,8.

E) нет правильного ответа.

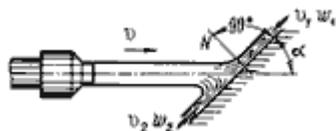
39. В каком случае давление струи на площадку будет минимальным



A)



B)



C)



D)

E) нет правильного ответа.

40. Из резервуара через отверстие происходит истечение жидкости с турбулентным режимом. Напор  $H = 38$  см, коэффициент сопротивления отверстия  $\xi = 0,6$ . Чему равна скорость истечения жидкости?

A) 4,62 м/с;

B) 1,69 м/с;

C) 4,4;

D) 0,34 м/с.

E) нет правильного ответа.

41. Как называются разделы, на которые делится гидравлика?

A) гидростатика и гидромеханика;

B) гидромеханика и гидродинамика;

C) гидростатика и гидродинамика;

D) гидрология и гидромеханика.

E) нет правильного ответа.

42. Раздел гидравлики, в котором рассматриваются законы равновесия жидкости называется

A) гидростатика;

B) гидродинамика;

C) гидромеханика;

D) гидравлическая теория равновесия.

E) нет правильного ответа.

43. Гидростатическое давление - это давление присутствующее

- A) в движущейся жидкости;
- B) в покоящейся жидкости;
- C) в жидкости, находящейся под избыточным давлением;
- D) в жидкости, помещенной в резервуар.
- E) нет правильного ответа.

44. Какие частицы жидкости испытывают наибольшее напряжение сжатия от действия гидростатического давления?

- A) находящиеся на дне резервуара;
- B) находящиеся на свободной поверхности;
- C) находящиеся у боковых стенок резервуара;
- D) находящиеся в центре тяжести рассматриваемого объема жидкости.
- E) нет правильного ответа.

45. Среднее гидростатическое давление, действующее на дно резервуара равно

- A) произведению глубины резервуара на площадь его дна и плотность;
- B) произведению веса жидкости на глубину резервуара;
- C) отношению объема жидкости к ее плоскости;
- D) отношению веса жидкости к площади дна резервуара.
- E) нет правильного ответа.

46. Первое свойство гидростатического давления гласит

- A) в любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует от рассматриваемого объема;
- B) в любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует внутрь рассматриваемого объема;
- C) в каждой точке жидкости гидростатическое давление действует параллельно площадке касательной к выделенному объему и направлено произвольно;
- D) гидростатическое давление неизменно во всех направлениях и всегда перпендикулярно в точке его приложения к выделенному объему.
- E) нет правильного ответа.

47. Второе свойство гидростатического давления гласит

- A) гидростатическое давление постоянно и всегда перпендикулярно к стенкам резервуара;
- B) гидростатическое давление изменяется при изменении местоположения точки;
- C) гидростатическое давление неизменно в горизонтальной плоскости;
- D) гидростатическое давление неизменно во всех направлениях.
- E) нет правильного ответа.

48. Третье свойство гидростатического давления гласит

- А) гидростатическое давление в любой точке не зависит от ее координат в пространстве;
- В) гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве;
- С) гидростатическое давление зависит от плотности жидкости;
- Д) гидростатическое давление всегда превышает давление, действующее на свободную поверхность жидкости.
- Е) нет правильного ответа.

49. Уравнение, позволяющее найти гидростатическое давление в любой точке рассматриваемого объема называется

- А) основным уравнением гидростатики;
- В) основным уравнением гидродинамики;
- С) основным уравнением гидромеханики;
- Д) основным уравнением гидродинамической теории.
- Е) нет правильного ответа.

50. Основное уравнение гидростатики позволяет

- А) определять давление, действующее на свободную поверхность;
- В) определять давление на дне резервуара;
- С) определять давление в любой точке рассматриваемого объема;
- Д) определять давление, действующее на погруженное в жидкость тело.
- Е) нет правильного ответа.

51. Способность плавающего тела, выведенного из состояния равновесия, вновь возвращаться в это состояние называется

- А) устойчивостью;
- В) остойчивостью;
- С) плавучестью;
- Д) непотопляемостью.
- Е) нет правильного ответа.

52. Основное уравнение гидростатики определяется

- А) произведением давления газа над свободной поверхностью к площади свободной поверхности;
- В) разностью давления на внешней поверхности и на дне сосуда;
- С) суммой давления на внешней поверхности жидкости и давления, обусловленного весом вышележащих слоев;
- Д) отношением рассматриваемого объема жидкости к плотности и глубине погружения точки.
- Е) нет правильного ответа.

53. Чему равно гидростатическое давление при глубине погружения точки, равной нулю

- A) давлению над свободной поверхностью;
- B) произведению объема жидкости на ее плотность;
- C) разности давлений на дне резервуара и на его поверхности;
- D) произведению плотности жидкости на ее удельный вес.
- E) нет правильного ответа.

54. "Давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково"

- A) это - закон Ньютона;
- B) это - закон Паскаля;
- C) это - закон Никурадзе;
- D) это - закон Жуковского.
- E) нет правильного ответа.

55. Закон Паскаля гласит

- A) давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково;
- B) давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям согласно основному уравнению гидростатики;
- C) давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, увеличивается по мере удаления от свободной поверхности;
- D) давление, приложенное к внешней поверхности жидкости равно сумме давлений, приложенных с других сторон рассматриваемого объема жидкости.
- E) нет правильного ответа.

56. Поверхность уровня - это

- A) поверхность, во всех точках которой давление изменяется по одинаковому закону;
- B) поверхность, во всех точках которой давление одинаково;
- C) поверхность, во всех точках которой давление увеличивается прямо пропорционально удалению от свободной поверхности;
- D) свободная поверхность, образующаяся на границе раздела воздушной и жидкой сред при относительном покое жидкости.
- E) нет правильного ответа.

57. Чему равно гидростатическое давление в точке А ?

- A) 19,62 кПа;
- B) 31,43 кПа;
- C) 21,62 кПа;
- D) 103 кПа.
- E) нет правильного ответа.

58. Как приложена равнодействующая гидростатического давления относительно центра тяжести прямоугольной боковой стенки резервуара?

- A) ниже;
- B) выше;
- C) совпадает с центром тяжести;
- D) смещена в сторону.
- E) нет правильного ответа.

59. Равнодействующая гидростатического давления в резервуарах с плоской наклонной стенкой равна

- A) 5
- B) 3
- C) 1
- D) 7
- E) 1.2

60. Точка приложения равнодействующей гидростатического давления лежит ниже центра тяжести плоской боковой поверхности резервуара на расстоянии

- A) 31
- B) 30
- C) 18
- D) 17
- E) 3.2

61. Если судно после воздействия опрокидывающей силы продолжает дальнейшее опрокидывание, то метацентрическая высота

- A) имеет положительное значение;
- B) имеет отрицательное значение;
- C) равна нулю;
- D) уменьшается в процессе возвращения судна в исходное положение.
- E) нет правильного ответа.

62. Как изменится угол наклона свободной поверхности в цистерне, двигающейся с постоянным ускорением

- A) свободная поверхность примет форму параболы;
- B) будет изменяться;
- C) свободная поверхность будет горизонтальна;
- D) не изменится.
- E) нет правильного ответа.

63. Коэффициент расхода обозначается греческой буквой

- A)  $\epsilon$ ;
- B)  $\mu$ ;

- С)  $\varphi$ ;
- Д)  $\xi$ .
- Е) нет правильного ответа

64. Как называются разделы, на которые делится гидравлика?

- А) гидростатика и гидромеханика;
- В) гидромеханика и гидродинамика;
- С) гидростатика и гидродинамика;
- Д) гидрология и гидромеханика.
- Е) нет правильного ответа.

65. Способность плавающего тела, выведенного из состояния равновесия, вновь возвращаться в это состояние называется

- А) устойчивостью;
- В) остойчивостью;
- С) плавучестью;
- Д) непотопляемостью.
- Е) нет правильного ответа.

66. Укажите на рисунке местоположение центра водоизмещения

- А) 1;
- В) 2;
- С) 3;
- Д) 4.
- Е) нет правильного ответа.

67. Укажите на рисунке метацентрическую высоту

- А) 1;
- В) 2;
- С) 3;
- Д) 4.
- Е) нет правильного ответа.

68. Давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково"

- А) это - закон Ньютона;
- В) это - закон Паскаля;
- С) это - закон Никурадзе;
- Д) это - закон Жуковского.
- Е) нет правильного ответа

69. Вес жидкости, взятой в объеме погруженной части судна называется

- А) погруженным объемом;
- В) водоизмещением;

- С) вытесненным объемом;
- Д) водопоглощением.
- Е) нет правильного ответа.

70. Водоизмещение - это

- А) объем жидкости, вытесняемый судном при полном погружении;
- В) вес жидкости, взятой в объеме судна;
- С) максимальный объем жидкости, вытесняемый плавающим судном;
- Д) вес жидкости, взятой в объеме погруженной части судна.
- Е) нет правильного ответа.

71. Укажите на рисунке местоположение метацентра

- А) 1;
- В) 2;
- С) 3;
- Д) 4.
- Е) нет правильного ответа.

72. Если судно возвращается в исходное положение после действия опрокидывающей силы, метацентрическая высота

- А) имеет положительное значение;
- В) имеет отрицательное значение;
- С) равна нулю;
- Д) увеличивается в процессе возвращения судна в исходное положение.
- Е) нет правильного ответа.

73. Если судно после воздействия опрокидывающей силы продолжает дальнейшее опрокидывание, то метацентрическая высота

- А) имеет положительное значение;
- В) имеет отрицательное значение;
- С) равна нулю;
- Д) уменьшается в процессе возвращения судна в исходное положение.
- Е) нет правильного ответа.

74. Если судно после воздействия опрокидывающей силы не возвращается в исходное положение и не продолжает опрокидываться, то метацентрическая высота

- А) имеет положительное значение;
- В) имеет отрицательное значение;
- С) равна нулю;
- Д) уменьшается в процессе возвращения судна в исходное положение.
- Е) нет правильного ответа.

75. По какому критерию определяется способность плавающего тела изменять свое дальнейшее положение после опрокидывающего воздействия

- A) по метацентрической высоте;
- B) по водоизмещению;
- C) по остойчивости;
- D) по оси плавания.
- E) нет правильного ответа.

76. Проведенная через объем жидкости поверхность, во всех точках которой давление одинаково, называется

- A) свободной поверхностью;
- B) поверхностью уровня;
- C) поверхностью покоя;
- D) статической поверхностью.
- E) нет правильного ответа.

77. Относительным покоем жидкости называется

- A) равновесие жидкости при постоянном значении действующих на нее сил тяжести и инерции;
- B) равновесие жидкости при переменном значении действующих на нее сил тяжести и инерции;
- C) равновесие жидкости при неизменной силе тяжести и изменяющейся силе инерции;
- D) равновесие жидкости только при неизменной силе тяжести.
- E) нет правильного ответа.

78. Как изменится угол наклона свободной поверхности в цистерне, двигающейся с постоянным ускорением

- A) свободная поверхность примет форму параболы;
- B) будет изменяться;
- C) свободная поверхность будет горизонтальна;
- D) не изменится.
- E) нет правильного ответа.

79. Во вращающемся цилиндрическом сосуде свободная поверхность имеет форму

- A) параболы;
- B) гиперболы;
- C) конуса;
- D) свободная поверхность горизонтальна.
- E) нет правильного ответа.

80. При увеличении угловой скорости вращения цилиндрического сосуда с жидкостью, действующие на жидкость силы изменяются следующим образом

- A) центробежная сила и сила тяжести уменьшаются;
- B) центробежная сила увеличивается, сила тяжести остается неизменной;
- C) центробежная сила остается неизменной, сила тяжести увеличивается;
- D) центробежная сила и сила тяжести не изменяются.
- E) нет правильного ответа.

81. Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения называется

- A) открытым сечением;
- B) живым сечением;
- C) полным сечением;
- D) площадь расхода.
- E) нет правильного ответа.

82. Часть периметра живого сечения, ограниченная твердыми стенками называется

- A) мокрый периметр;
- B) периметр контакта;
- C) смоченный периметр;
- D) гидравлический периметр.
- E) нет правильного ответа.

83. Объем жидкости, протекающий за единицу времени через живое сечение называется

- A) расход потока;
- B) объемный поток;
- C) скорость потока;
- D) скорость расхода.
- E) нет правильного ответа.

84. Отношение расхода жидкости к площади живого сечения называется

- A) средний расход потока жидкости;
- B) средняя скорость потока;
- C) максимальная скорость потока;
- D) минимальный расход потока.
- E) нет правильного ответа.

85. Отношение живого сечения к смоченному периметру называется

- A) гидравлическая скорость потока;
- B) гидродинамический расход потока;
- C) расход потока;
- D) гидравлический радиус потока.
- E) нет правильного ответа.

86. Если при движении жидкости в данной точке русла давление и скорость не изменяются, то такое движение называется

- A) установившемся;
- B) неустановившемся;
- C) турбулентным установившимся;
- D) ламинарным неустановившемся.
- E) нет правильного ответа.

87. Движение, при котором скорость и давление изменяются не только от координат пространства, но и от времени называется

- A) ламинарным;
- B) стационарным;
- C) неустановившимся;
- D) турбулентным.
- E) нет правильного ответа.

88. Расход потока обозначается латинской буквой

- A)  $Q$ ;
- B)  $V$ ;
- C)  $P$ ;
- D)  $H$ .
- E) нет правильного ответа.

89. Средняя скорость потока обозначается буквой

- A)  $\chi$ ;
- B)  $V$ ;
- C)  $v$ ;
- D)  $\omega$ .
- E) нет правильного ответа.

90. Живое сечение обозначается буквой

- A)  $W$ ;
- B)  $\eta$ ;
- C)  $\omega$ ;
- D)  $\varphi$ .
- E) нет правильного ответа.

91. При неустановившемся движении, кривая, в каждой точке которой вектора скорости в данный момент времени направлены по касательной называется

- A) траектория тока;
- B) трубка тока;
- C) струйка тока;
- D) линия тока.
- E) нет правильного ответа.

92. Трубчатая поверхность, образуемая линиями тока с бесконечно малым поперечным сечением называется

- A) трубка тока;
- B) трубка потока;
- C) линия тока;
- D) элементарная струйка.
- E) нет правильного ответа.

93. Элементарная струйка - это

- A) трубка потока, окруженная линиями тока;
- B) часть потока, заключенная внутри трубки тока;
- C) объем потока, движущийся вдоль линии тока;
- D) неразрывный поток с произвольной траекторией.
- E) нет правильного ответа.

94. Течение жидкости со свободной поверхностью называется

- A) установившееся;
- B) напорное;
- C) безнапорное;
- D) свободное.
- E) нет правильного ответа.

95. Течение жидкости без свободной поверхности в трубопроводах с повышенным или пониженным давлением называется

- A) безнапорное;
- B) напорное;
- C) неустановившееся;
- D) несвободное (закрытое).
- E) нет правильного ответа.

96. Уравнение неразрывности течений имеет вид

- A)  $\omega_1 v_2 = \omega_2 v_1 = \text{const}$ ;
- B)  $\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2 = \text{const}$ ;
- C)  $\omega_1 \omega_2 = v_1 v_2 = \text{const}$ ;
- D)  $\omega_1 / v_1 = \omega_2 / v_2 = \text{const}$ .
- E) нет правильного ответа.

97. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости имеет вид

A) 
$$z_1 + \frac{P_1}{2g} + \frac{v_1^2}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{v_2^2}{\rho g}$$

$$z_1 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h;$$

B)

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g};$$

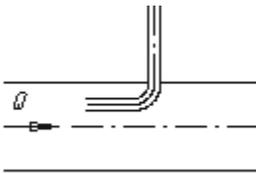
C)

$$z_1 + \frac{v_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{P_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{P_2^2}{2g}.$$

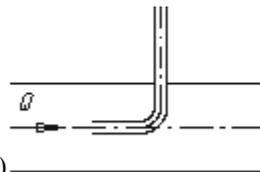
D)

E) нет правильного ответа.

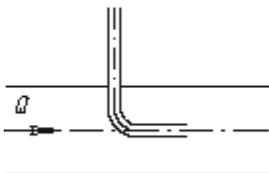
98. На каком рисунке трубка Пито установлена правильно



A)



B)



C)



D)

E) нет правильного ответа.

99. Уравнение Бернулли для реальной жидкости имеет вид

$$z_1 + \alpha_1 \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \alpha_2 \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - \sum h;$$

A)

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h;$$

B)

$$C) \quad z_1 + \frac{P_1}{2g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{\rho g} + \sum h$$

$$D) \quad z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h.$$

E) нет правильного ответа.

100. Член уравнения Бернулли, обозначаемый буквой  $z$ , называется

- A) геометрической высотой;
- B) пьезометрической высотой;
- C) скоростной высотой;
- D) потерянной высотой.
- E) нет правильного ответа.

$$\frac{P}{\rho g}$$

101. Член уравнения Бернулли, обозначаемый выражением  $\frac{P}{\rho g}$  называется

- A) скоростной высотой;
- B) геометрической высотой;
- C) пьезометрической высотой;
- D) потерянной высотой.
- E) нет правильного ответа.

$$\alpha \frac{v^2}{2g}$$

102. Член уравнения Бернулли, обозначаемый выражением  $\alpha \frac{v^2}{2g}$  называется

- A) пьезометрической высотой;
- B) скоростной высотой;
- C) геометрической высотой;
- D) такого члена не существует.
- E) нет правильного ответа.

103. Уравнение Бернулли для двух различных сечений потока дает взаимосвязь между

- A) давлением, расходом и скоростью;
- B) скоростью, давлением и коэффициентом Кориолиса;
- C) давлением, скоростью и геометрической высотой;
- D) геометрической высотой, скоростью, расходом.
- E) нет правильного ответа.

104. Коэффициент Кориолиса в уравнении Бернулли характеризует

- A) режим течения жидкости;
- B) степень гидравлического сопротивления трубопровода;
- C) изменение скоростного напора;
- D) степень уменьшения уровня полной энергии.
- E) нет правильного ответа.

105. Показание уровня жидкости в трубке Пито отражает

- A) разность между уровнем полной и пьезометрической энергией;
- B) изменение пьезометрической энергии;
- C) скоростную энергию;
- D) уровень полной энергии.
- E) нет правильного ответа.

106. Потерянная высота характеризует

- A) степень изменения давления;
- B) степень сопротивления трубопровода;
- C) направление течения жидкости в трубопроводе;
- D) степень изменения скорости жидкости.
- E) нет правильного ответа.

107. Линейные потери вызваны

- A) силой трения между слоями жидкости;
- B) местными сопротивлениями;
- C) длиной трубопровода;
- D) вязкостью жидкости.
- E) нет правильного ответа.

108. Местные потери энергии вызваны

- A) наличием линейных сопротивлений;
- B) наличием местных сопротивлений;
- C) массой движущейся жидкости;
- D) инерцией движущейся жидкости.
- E) нет правильного ответа.

109. На участке трубопровода между двумя его сечениями, для которых записано уравнение Бернулли можно установить следующие гидроэлементы

- A) фильтр, отвод, гидромотор, диффузор;
- B) кран, конфузор, дроссель, насос;
- C) фильтр, кран, диффузор, колено;
- D) гидроцилиндр, дроссель, клапан, сопло.
- E) нет правильного ответа.

110. Укажите правильную запись

- A)  $h_{\text{лин}} = h_{\text{пот}} + h_{\text{мест}}$ ;
- B)  $h_{\text{мест}} = h_{\text{лин}} + h_{\text{пот}}$ ;
- C)  $h_{\text{пот}} = h_{\text{лин}} - h_{\text{мест}}$ ;
- D)  $h_{\text{лин}} = h_{\text{пот}} - h_{\text{мест}}$ .
- E) нет правильного ответа.

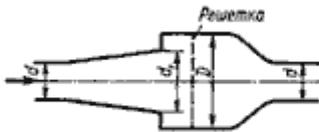
111. Для измерения скорости потока используется

- A) трубка Пито;
- B) пьезометр;
- C) вискозиметр;
- D) трубка Вентури.
- E) нет правильного ответа.

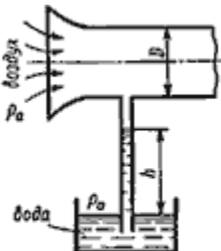
112. Для измерения расхода жидкости используется

- A) трубка Пито;
- B) расходомер Пито;
- C) расходомер Вентури;
- D) пьезометр.
- E) нет правильного ответа.

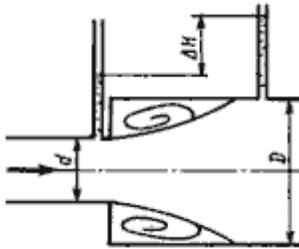
113. Укажите, на каком рисунке изображен расходомер Вентури



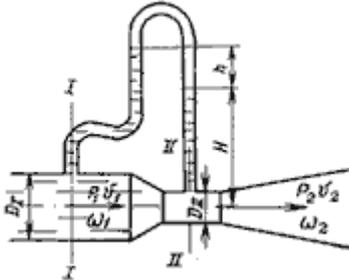
A)



B)



C)



D)†

E) нет правильного ответа.

114. Установившееся движение характеризуется уравнениями

A)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z)$

B)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z, t)$

C)  $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z, t)$

D)  $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z)$

E) нет правильного ответа.

115. Расход потока измеряется в следующих единицах

A)  $m^3$ ;

B)  $m^2/c$ ;

C)  $m^3 c$ ;

D)  $m^3/c$ .

E) нет правильного ответа.

116. Для двух сечений трубопровода известны величины  $P_1, v_1, z_1$  и  $z_2$ . Можно ли определить давление  $P_2$  и скорость потока  $v_2$ ?

A) можно;

B) можно, если известны диаметры  $d_1$  и  $d_2$ ;

C) можно, если известен диаметр трубопровода  $d_1$ ;

D) нельзя.

E) нет правильного ответа.

117. Неустановившееся движение жидкости характеризуется уравнением

- A)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z)$
- B)  $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z, t)$
- C)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z, t)$
- D)  $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z)$
- E) нет правильного ответа.

118. Значение коэффициента Кориолиса для ламинарного режима движения жидкости равно

- A) 1,5;
- B) 2;
- C) 3;
- D) 1.
- E) нет правильного ответа.

119. Значение коэффициента Кориолиса для турбулентного режима движения жидкости равно

- A) 1,5;
- B) 2;
- C) 3;
- D) 1.
- E) нет правильного ответа.

120. По мере движения жидкости от одного сечения к другому потерянный напор

- A) увеличивается;
- B) уменьшается;
- C) остается постоянным;
- D) увеличивается при наличии местных сопротивлений.
- E) нет правильного ответа.

121. Уровень жидкости в трубке Пито поднялся на высоту  $H = 15$  см. Чему равна скорость жидкости в трубопроводе

- A) 2,94 м/с;
- B) 17,2 м/с;
- C) 1,72 м/с;
- D) 8,64 м/с.
- E) нет правильного ответа.

122. Гидравлическое сопротивление это

- A) сопротивление жидкости к изменению формы своего русла;
- B) сопротивление, препятствующее свободному прохождению жидкости;
- C) сопротивление трубопровода, которое сопровождается потерями энергии жидкости;

- D) сопротивление, при котором падает скорость движения жидкости по трубопроводу.
- E) нет правильного ответа.

123. Что является источником потерь энергии движущейся жидкости?

- A) плотность;
- B) вязкость;
- C) расход жидкости;
- D) изменение направления движения.
- E) нет правильного ответа.

124. На какие виды делятся гидравлические сопротивления?

- A) линейные и квадратичные;
- B) местные и нелинейные;
- C) нелинейные и линейные;
- D) местные и линейные.
- E) нет правильного ответа.

125. Влияет ли режим движения жидкости на гидравлическое сопротивление

- A) влияет;
- B) не влияет;
- C) влияет только при определенных условиях;
- D) при наличии местных гидравлических сопротивлений.
- E) нет правильного ответа.

126. Ламинарный режим движения жидкости это

- A) режим, при котором частицы жидкости перемещаются бессистемно только у стенок трубопровода;
- B) режим, при котором частицы жидкости в трубопроводе перемещаются бессистемно;
- C) режим, при котором жидкость сохраняет определенный строй своих частиц;
- D) режим, при котором частицы жидкости двигаются послойно только у стенок трубопровода.
- E) нет правильного ответа.

127. Турбулентный режим движения жидкости это

- A) режим, при котором частицы жидкости сохраняют определенный строй (двигаются послойно);
- B) режим, при котором частицы жидкости перемещаются в трубопроводе бессистемно;
- C) режим, при котором частицы жидкости двигаются как послойно так и бессистемно;
- D) режим, при котором частицы жидкости двигаются послойно только в центре трубопровода.

Е) нет правильного ответа.

128. При каком режиме движения жидкости в трубопроводе пульсация скоростей и давлений не происходит?

- А) при отсутствии движения жидкости;
- В) при спокойном;
- С) при турбулентном;
- Д) при ламинарном.
- Е) нет правильного ответа.

129. При каком режиме движения жидкости в трубопроводе наблюдается пульсация скоростей и давлений в трубопроводе?

- А) при ламинарном;
- В) при скоростном;
- С) при турбулентном;
- Д) при отсутствии движения жидкости.
- Е) нет правильного ответа.

130. При ламинарном движении жидкости в трубопроводе наблюдаются следующие явления

- А) пульсация скоростей и давлений;
- В) отсутствие пульсации скоростей и давлений;
- С) пульсация скоростей и отсутствие пульсации давлений;
- Д) пульсация давлений и отсутствие пульсации скоростей.
- Е) нет правильного ответа.

131. При турбулентном движении жидкости в трубопроводе наблюдаются следующие явления

- А) пульсация скоростей и давлений;
- В) отсутствие пульсации скоростей и давлений;
- С) пульсация скоростей и отсутствие пульсации давлений;
- Д) пульсация давлений и отсутствие пульсации скоростей.
- Е) нет правильного ответа.

132. Где скорость движения жидкости максимальна при турбулентном режиме?

- А) у стенок трубопровода;
- В) в центре трубопровода;
- С) может быть максимальна в любом месте;
- Д) все частицы движутся с одинаковой скоростью.
- Е) нет правильного ответа.

133. Где скорость движения жидкости максимальна при ламинарном режиме?

- А) у стенок трубопровода;
- В) в центре трубопровода;

- C) может быть максимальной в любом месте;
- D) в начале трубопровода.
- E) нет правильного ответа.

134. Режим движения жидкости в трубопроводе это процесс

- A) обратимый;
- B) необратимый;
- C) обратим при постоянном давлении;
- D) необратим при изменяющейся скорости.
- E) нет правильного ответа.

135. Критическая скорость, при которой наблюдается переход от ламинарного режима к турбулентному определяется по формуле

$$v_{кр} = \frac{Q_{кр}}{d \cdot Re_{кр}};$$

A)

$$v_{кр} = \frac{d}{\nu} \cdot Re_{кр};$$

B)

$$v_{кр} = \frac{\nu d}{Re_{кр}};$$

C)

$$v_{кр} = \frac{\nu}{d} \cdot Re_{кр}.$$

D)

E) нет правильного ответа.

136. Число Рейнольдса определяется по формуле

$$Re = \frac{\nu d'}{\mu};$$

A)

$$Re = \frac{\nu d'}{\nu};$$

B)

$$Re = \frac{\nu d'}{\nu};$$

C)

$$Re = \frac{\nu l}{\nu}.$$

D)

Е) нет правильного ответа.

137. От каких параметров зависит значение числа Рейнольдса?

- А) от диаметра трубопровода, кинематической вязкости жидкости и скорости движения жидкости;
- В) от расхода жидкости, от температуры жидкости, от длины трубопровода;
- С) от динамической вязкости, от плотности и от скорости движения жидкости;
- Д) от скорости движения жидкости, от шероховатости стенок трубопровода, от вязкости жидкости.
- Е) нет правильного ответа.

138. Критическое значение числа Рейнольдса равно

- А) 2300;
- В) 3200;
- С) 4000;
- Д) 4600.
- Е) нет правильного ответа.

139. При  $Re > 4000$  режим движения жидкости

- А) ламинарный;
- В) переходный;
- С) турбулентный;
- Д) кавитационный.
- Е) нет правильного ответа.

140. При  $Re < 2300$  режим движения жидкости

- А) кавитационный;
- В) турбулентный;
- С) переходный;
- Д) ламинарный.
- Е) нет правильного ответа.

141. При  $2300 < Re < 4000$  режим движения жидкости

- А) ламинарный;
- В) турбулентный;
- С) переходный;
- Д) кавитационный.
- Е) нет правильного ответа.

142. Кавитация это

- А) воздействие давления жидкости на стенки трубопровода;
- В) движение жидкости в открытых руслах, связанное с интенсивным перемешиванием;
- С) местное изменение гидравлического сопротивления;

D) изменение агрегатного состояния жидкости при движении в закрытых руслах, связанное с местным падением давления.

E) нет правильного ответа.

143. Какой буквой греческого алфавита обозначается коэффициент гидравлического трения?

A)  $\gamma$ ;

B)  $\zeta$ ;

C)  $\lambda$ ;

D)  $\mu$ .

E) нет правильного ответа.

144. По какой формуле определяется коэффициент гидравлического трения для ламинарного режима?

A) 
$$\lambda_T = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}};$$

B) 
$$\lambda = \frac{75}{\text{Re}};$$

C) 
$$\lambda_T = 0,11 \left( \frac{\Delta \varrho}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25};$$

D) 
$$\lambda_T = 0,11 \left( \frac{\Delta \varrho}{d} \right)^{0,25}$$

E) нет правильного ответа.

145. На сколько областей делится турбулентный режим движения при определении коэффициента гидравлического трения?

A) на две;

B) на три;

C) на четыре;

D) на пять.

E) нет правильного ответа.

146. От чего зависит коэффициент гидравлического трения в первой области турбулентного режима?

A) только от числа  $\text{Re}$ ;

B) от числа  $\text{Re}$  и шероховатости стенок трубопровода;

- C) только от шероховатости стенок трубопровода;
- D) от числа  $Re$ , от длины и шероховатости стенок трубопровода.
- E) нет правильного ответа.

147. От чего зависит коэффициент гидравлического трения во второй области турбулентного режима?

- A) только от числа  $Re$ ;
- B) от числа  $Re$  и шероховатости стенок трубопровода;
- C) только от шероховатости стенок трубопровода;
- D) от числа  $Re$ , от длины и шероховатости стенок трубопровода.
- E) нет правильного ответа.

148. От чего зависит коэффициент гидравлического трения в третьей области турбулентного режима?

- A) только от числа  $Re$ ;
- B) от числа  $Re$  и шероховатости стенок трубопровода;
- C) только от шероховатости стенок трубопровода;
- D) от числа  $Re$ , от длины и шероховатости стенок трубопровода.
- E) нет правильного ответа.

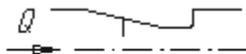
149. Какие трубы имеют наименьшую абсолютную шероховатость?

- A) чугунные;
- B) стеклянные;
- C) стальные;
- D) медные.
- E) нет правильного ответа.

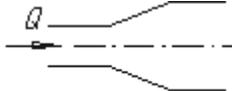
150. Укажите в порядке возрастания абсолютной шероховатости материалы труб.

- A) медь, сталь, чугун, стекло;
- B) стекло, медь, сталь, чугун;
- C) стекло, сталь, медь, чугун;
- D) сталь, стекло, чугун, медь.
- E) нет правильного ответа.

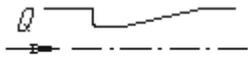
151. На каком рисунке изображен конфузур



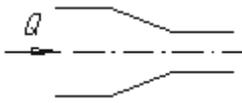
A)



B)



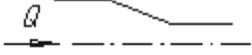
C)



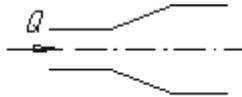
D)

E) нет правильного ответа.

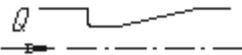
152. На каком рисунке изображен диффузор



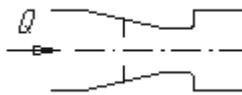
A)



B)



C)



D)

E) нет правильного ответа.

153. Что такое сопло?

A) диффузор с плавно сопряженными цилиндрическими и коническими частями;

B) постепенное сужение трубы, у которого входной диаметр в два раза больше выходного;

C) конфузор с плавно сопряженными цилиндрическими и коническими частями;

D) конфузор с плавно сопряженными цилиндрическими и параболическими частями.

E) нет правильного ответа.

154. Что является основной причиной потери напора в местных гидравлических сопротивлениях

A) наличие вихреобразований в местах изменения конфигурации потока;

B) трение жидкости о внутренние острые кромки трубопровода;

- С) изменение направления и скорости движения жидкости;
- Д) шероховатость стенок трубопровода и вязкость жидкости.
- Е) нет правильного ответа.

155. Для чего служит номограмма Колбрука-Уайта?

- А) для определения режима движения жидкости;
- В) для определения коэффициента потерь в местных сопротивлениях;
- С) для определения потери напора при известном числе Рейнольдса;
- Д) для определения коэффициента гидравлического трения.
- Е) нет правильного ответа.

156. С помощью чего определяется режим движения жидкости?

- А) по графику Никурадзе;
- В) по номограмме Колбрука-Уайта;
- С) по числу Рейнольдса;
- Д) нет правильного ответа.
- Е) нет правильного ответа.

157. Для определения потерь напора служит

- А) число Рейнольдса;
- В) формула Вейсбаха-Дарси;
- С) номограмма Колбрука-Уайта;
- Д) график Никурадзе.
- Е) нет правильного ответа.

158. Для чего служит формула Вейсбаха-Дарси?

- А) для определения числа Рейнольдса;
- В) для определения коэффициента гидравлического трения;
- С) для определения потерь напора;
- Д) для определения коэффициента потерь местного сопротивления.
- Е) нет правильного ответа.

159. Укажите правильную запись формулы Вейсбаха-Дарси

А) 
$$h_{nom} = \ell \frac{d}{\lambda} \cdot \frac{v^2}{2g};$$

В) 
$$h_{nom} = \lambda \frac{\ell}{v} \cdot \frac{d^2}{2g};$$

- C)  $h_{\text{ном}} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ ;
- D)  $h_{\text{ном}} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{2v^2}{g}$ .
- E) нет правильного ответа.

160. Теорема Борда гласит

- A) потеря напора при внезапном сужении русла равна скоростному напору, определенному по сумме скоростей между первым и вторым сечением;
- B) потеря напора при внезапном расширении русла равна скоростному напору, определенному по сумме скоростей между первым и вторым сечением;
- C) потеря напора при внезапном сужении русла равна скоростному напору, определенному по разности скоростей между первым и вторым сечением;
- D) потеря напора при внезапном расширении русла равна скоростному напору, определенному по разности скоростей между первым и вторым сечением.
- E) нет правильного ответа.

161. Кавитация не служит причиной увеличения

- A) вибрации;
- B) нагрева труб;
- C) КПД гидромашин;
- D) сопротивления трубопровода.
- E) нет правильного ответа.

162. При истечении жидкости из отверстий основным вопросом является

- A) определение скорости истечения и расхода жидкости;
- B) определение необходимого диаметра отверстий;
- C) определение объема резервуара;
- D) определение гидравлического сопротивления отверстия.
- E) нет правильного ответа.

163. Чем обусловлено сжатие струи жидкости, вытекающей из резервуара через отверстие

- A) вязкостью жидкости;
- B) движением жидкости к отверстию от различных направлений;
- C) давлением соседних с отверстием слоев жидкости;
- D) силой тяжести и силой инерции.
- E) нет правильного ответа.

164. Что такое совершенное сжатие струи?

- А) наибольшее сжатие струи при отсутствии влияния боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
- В) наибольшее сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
- С) сжатие струи, при котором она не изменяет форму поперечного сечения;
- Д) наименьшее возможное сжатие струи в непосредственной близости от отверстия.
- Е) нет правильного ответа.

165. Коэффициент сжатия струи характеризует

- А) степень изменение кривизны истекающей струи;
- В) влияние диаметра отверстия, через которое происходит истечение, на сжатие струи;
- С) степень сжатия струи;
- Д) изменение площади поперечного сечения струи по мере удаления от резервуара.
- Е) нет правильного ответа.

166. От чего зависит коэффициент гидравлического трения в первой области турбулентного режима?

- А) только от числа  $Re$ ;
- В) от числа  $Re$  и шероховатости стенок трубопровода;
- С) только от шероховатости стенок трубопровода;
- Д) от числа  $Re$ , от длины и шероховатости стенок трубопровода.
- Е) нет правильного ответа.

167. При увеличении угловой скорости вращения цилиндрического сосуда с жидкостью, действующие на жидкость силы изменяются следующим образом

- А) центробежная сила и сила тяжести уменьшаются;
- В) центробежная сила увеличивается, сила тяжести остается неизменной;
- С) центробежная сила остается неизменной, сила тяжести увеличивается;
- Д) центробежная сила и сила тяжести не изменяются.
- Е) нет правильного ответа.

168. Вес жидкости, взятой в объеме погруженной части судна называется

- А) погруженным объемом;
- В) водоизмещением;
- С) вытесненным объемом;
- Д) водопоглощением.
- Е) нет правильного ответа.

169. В формуле для определения скорости истечения жидкости через отверстие буквой  $\phi$  обозначается

- А) коэффициент скорости;
- В) коэффициент расхода;
- С) коэффициент сжатия;
- Д) коэффициент истечения.
- Е) нет правильного ответа.

170. При истечении жидкости через отверстие произведение коэффициента сжатия на коэффициент скорости называется

- А) коэффициентом истечения;
- В) коэффициентом сопротивления;
- С) коэффициентом расхода;
- Д) коэффициентом инверсии струи.
- Е) нет правильного ответа.

171. В формуле для определения скорости истечения жидкости через отверстие буквой  $H$  обозначают

- А) дальность истечения струи;
- В) глубину отверстия;
- С) высоту резервуара;
- Д) напор жидкости.
- Е) нет правильного ответа.

172. Кавитация это

- А) воздействие давления жидкости на стенки трубопровода;
- В) движение жидкости в открытых руслах, связанное с интенсивным перемешиванием;
- С) местное изменение гидравлического сопротивления;
- Д) изменение агрегатного состояния жидкости при движении в закрытых руслах, связанное с местным падением давления.
- Е) нет правильного ответа.

173. Изменение формы поперечного сечения струи при истечении её в атмосферу называется

- А) кавитацией;
- В) коррегированием;
- С) инверсией;
- Д) полиморфией.
- Е) нет правильного ответа.

174. Инверсия струй, истекающих из резервуаров, вызвана

- А) действием сил поверхностного натяжения;
- В) действием сил тяжести;
- С) действием различно направленного движения жидкости к отверстиям;
- Д) действием масс газа.

Е) нет правильного ответа.

175. Что такое несовершенное сжатие струи?

- А) сжатие струи, при котором она изменяет свою форму;
- В) сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара;
- С) неполное сжатие струи;
- Д) сжатие с возникновением инверсии.
- Е) нет правильного ответа.

176. Истечение жидкости под уровень это

- А) истечении жидкости в атмосферу;
- В) истечение жидкости в пространство, заполненное другой жидкостью;
- С) истечение жидкости в пространство, заполненное той же жидкостью;
- Д) истечение жидкости через частично затопленное отверстие.
- Е) нет правильного ответа.

177. При  $Re < 2300$  режим движения жидкости

- А) кавитационный;
- В) турбулентный;
- С) переходный;
- Д) ламинарный.
- Е) нет правильного ответа.

178. Ламинарный режим движения жидкости это

- А) режим, при котором частицы жидкости перемещаются бессистемно только у стенок трубопровода;
- В) режим, при котором частицы жидкости в трубопроводе перемещаются бессистемно;
- С) режим, при котором жидкость сохраняет определенный строй своих частиц;
- Д) режим, при котором частицы жидкости двигаются послойно только у стенок трубопровода.
- Е) нет правильного ответа.

179. Внешним цилиндрическим насадком при истечении жидкости из резервуара называется

- А) короткая трубка длиной, равной нескольким диаметрам без закругления входной кромки;
- В) короткая трубка с закруглением входной кромки;
- С) короткая трубка с длиной, меньшей, чем диаметр с закруглением входной кромки;
- Д) короткая трубка с длиной, равной диаметру без закругления входной кромки.
- Е) нет правильного ответа.

180. При истечении жидкости через внешний цилиндрический насадок струя из насадка выходит с поперечным сечением, равным поперечному сечению самого насадка. Как называется этот режим истечения?

- A) безнапорный;
- B) безотрывный;
- C) самотечный;
- D) напорный.
- E) нет правильного ответа.

181. При истечении жидкости из отверстий основным вопросом является

- A) определение скорости истечения и расхода жидкости;
- B) определение необходимого диаметра отверстий;
- C) определение объема резервуара;
- D) определение гидравлического сопротивления отверстия.
- E) нет правильного ответа.

182. Чем обусловлено сжатие струи жидкости, вытекающей из резервуара через отверстие

- A) вязкостью жидкости;
- B) движением жидкости к отверстию от различных направлений;
- C) давлением соседних с отверстием слоев жидкости;
- D) силой тяжести и силой инерции.
- E) нет правильного ответа.

183. Что такое совершенное сжатие струи?

- A) наибольшее сжатие струи при отсутствии влияния боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
- B) наибольшее сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара и свободной поверхности;
- C) сжатие струи, при котором она не изменяет форму поперечного сечения;
- D) наименьшее возможное сжатие струи в непосредственной близости от отверстия.
- E) нет правильного ответа.

184. Коэффициент сжатия струи характеризует

- A) степень изменение кривизны истекающей струи;
- B) влияние диаметра отверстия, через которое происходит истечение, на сжатие струи;
- C) степень сжатия струи;
- D) изменение площади поперечного сечения струи по мере удаления от резервуара.
- E) нет правильного ответа.

185. Коэффициент сжатия струи определяется по формуле

$$\text{A) } \epsilon = \frac{d_c}{d_o}; \quad \text{B) } \epsilon = \frac{S_o}{S_c};$$

$$\text{C) } \epsilon = \frac{S_c}{S_o}; \quad \text{D) } \epsilon = \frac{S_c^2}{S_o^2}.$$

Е) нет правильного ответа.

186. Скорость истечения жидкости через отверстие равна

$$\text{A) } v = \varphi^2 \sqrt{2gH};$$

$$\text{B) } v = 2\sqrt{\varphi gH};$$

$$\text{C) } v = \sqrt{\varphi 2gH};$$

$$\text{D) } v = \varphi \sqrt{2gH}.$$

Е) нет правильного ответа.

187. Расход жидкости через отверстие определяется как

$$\text{A) } Q = S_o v;$$

$$\text{B) } Q = S_c v;$$

$$\text{C) } Q = \varphi v \epsilon;$$

$$\text{D) } Q = \mu S_o.$$

Е) нет правильного ответа.

188. В формуле для определения скорости истечения жидкости через отверстие

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \text{ буквой } \varphi \text{ обозначается}$$

А) коэффициент скорости;

В) коэффициент расхода;

С) коэффициент сжатия;

Д) коэффициент истечения.

Е) нет правильного ответа.

189. При истечении жидкости через отверстие произведение коэффициента сжатия на коэффициент скорости называется

- A) коэффициентом истечения;
- B) коэффициентом сопротивления;
- C) коэффициентом расхода;
- D) коэффициентом инверсии струи.
- E) нет правильного ответа.

190. В формуле для определения скорости истечения жидкости через отверстие

$$v = \varphi \sqrt{2gH}$$

буквой  $H$  обозначают

- A) дальность истечения струи;
- B) глубину отверстия;
- C) высоту резервуара;
- D) напор жидкости.
- E) нет правильного ответа.

191. Число Рейнольдса при истечении струи через отверстие в резервуаре определяется по формуле

$$\text{Re}_v = \frac{v \sqrt{2dH}}{g};$$

A)

$$\text{Re}_v = \frac{d \sqrt{2gH}}{v};$$

B)

$$\text{Re}_v = dv \frac{1}{\sqrt{2gH}}$$

C)

$$\text{Re}_v = \sqrt{\rho g H} \frac{d}{v}.$$

D)

E) нет правильного ответа.

192. Изменение формы поперечного сечения струи при истечении её в атмосферу называется

- A) кавитацией;
- B) коррегированием;
- C) инверсией;
- D) полиморфией.
- E) нет правильного ответа.

193. Инверсия струй, истекающих из резервуаров, вызвана

- A) действием сил поверхностного натяжения;
- B) действием сил тяжести;

- C) действием различно направленного движения жидкости к отверстиям;
- D) действием масс газа.
- E) нет правильного ответа.

194. Что такое несовершенное сжатие струи?

- A) сжатие струи, при котором она изменяет свою форму;
- B) сжатие струи при влиянии боковых стенок резервуара;
- C) неполное сжатие струи;
- D) сжатие с возникновением инверсии.
- E) нет правильного ответа.

195. Истечение жидкости под уровень это

- A) истечение жидкости в атмосферу;
- B) истечение жидкости в пространство, заполненное другой жидкостью;
- C) истечение жидкости в пространство, заполненное той же жидкостью;
- D) истечение жидкости через частично затопленное отверстие.
- E) нет правильного ответа.

196. Скорость истечения жидкости через затопленное отверстие определяется по формуле

A)  $v = \varphi^2 \sqrt{2gH}$  ;

B)  $v = 2\sqrt{\varphi gH}$  ;

C)  $v = \sqrt{\varphi 2gH}$  ;

D)  $v = \varphi \sqrt{2gH}$  .

- E) нет правильного ответа.

197. Напор жидкости  $H$ , используемый при нахождении скорости истечения жидкости через затопленное отверстие, определяется по формуле

$$H = H_0 + \frac{P_0 - P_2}{\rho g}$$

- A)

B)  $H = H_0 - \frac{P_0 - P_2}{\rho g}$  ;

- C)

D)  $H = H_0 + \frac{P_0 + P_2}{2g}$

- E)

$$H = H_0 - \frac{2g}{P_0 - P_2}.$$

- D)   
 E) нет правильного ответа.

198. Внешним цилиндрическим насадком при истечении жидкости из резервуара называется

- A) короткая трубка длиной, равной нескольким диаметрам без закругления входной кромки;  
 B) короткая трубка с закруглением входной кромки;  
 C) короткая трубка с длиной, меньшей, чем диаметр с закруглением входной кромки;  
 D) короткая трубка с длиной, равной диаметру без закругления входной кромки.  
 E) нет правильного ответа.

199. При истечении жидкости через внешний цилиндрический насадок струя из насадка выходит с поперечным сечением, равным поперечному сечению самого насадка. Как называется этот режим истечения?

- A) безнапорный;  
 B) безотрывный;  
 C) самотечный;  
 D) напорный.  
 E) нет правильного ответа.

200. Укажите способы изменения внешнего цилиндрического насадка, не способствующие улучшению его характеристик.

- A) закругление входной кромки;  
 B) устройство конического входа в виде конфузора;  
 C) устройство конического входа в виде диффузора;  
 D) устройство внутреннего цилиндрического насадка.  
 E) нет правильного ответа.

201. Теплота сгорания, условное топливо ккал/к:

- A) окись углерода (CO) – 3018 ккал/м<sup>3</sup>;  
 B) метан (CH<sub>4</sub>) – 8556 ккал/м<sup>3</sup>;  
 C) пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) – 21795 ккал/м<sup>3</sup>;  
 D) бензол (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) – 39528 ккал/м ;  
 E) уголь – 7000 ккал/к

202. Тепловые единицы:

- A) 1 кал/t = 4,19 кДж/кб;  
 B) 1 ккал/С<sup>0</sup> = 4,19 к/Дж/С<sup>0</sup> ;  
 C) 1 ккал = 1,163 Вт;  
 D) 1 кВт = 1 кДж/с = 3.600 кДж/ч ;

Е)  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,23800 \text{ Кал}$

203. Теплоисточники (max КПД):

- А) 0,90;
- В) 0,85;
- С) 0,80;
- Д) 0,65 ;
- Е) 0,55

204. Теплоносители:

- А) песок;
- В) гравий;
- С) мазут;
- Д) соль;
- Е) вода

205. Приборы для измерения температуры:

- А) манометры;
- В) градусники;
- С) нагревательные приборы;
- Д) диоды;
- Е) термометры

206. Счетчики учета тепла:

- А) механические;
- В) бесконтактные;
- С) дистанционные;
- Д) нагревательные;
- Е) электромагнитные

207. Удельный расход топлива (угля):

- А) 1000 к/ккал;
- В) 400 к/ккал ;
- С) 600  $\text{к}^2/\text{ккал}$ ;
- Д) 100 кг/ккал;
- Е) 300 кг/ккал

208. Возобновляемые виды энергии:

- А) ветер;
- В) дождь;
- С) снег;
- Д) водопады;
- Е) солнце

209. Вредные элементы сгорания топлива:

- A) вода;
- B) пар;
- C) снег;
- D) сера;
- E)  $\text{CO}_2$

210. Уровень выработки электрической энергии (максимальный):

- A) гидростанция;
- B) атомная станция;
- C) биостанция;
- D) ветровая станция;
- E) тепловая станция

211. Теплотехника изучает:

- A) нагретые тела;
- B) охлаждение тел;
- C) упрочнение материала;
- D) движения воздуха;
- E) взаимные превращения тепловой энергии в другие виды

212. Температура -это:

- A) удельный вес тела;
- B) плотность тела;
- C) излучение тела;
- D) разность массы тела;
- E) мера нагревания тела

213. Теплоемкость:

- A) преобразование тепла;
- B) кипение воды;
- C) плавление вещества;
- D) охлаждение вещества;
- E) количество тепла для  $t$  на  $1\text{ }^\circ\text{C}$

214. Удельная теплоемкость воды:

- A) 5;
- B) 4;
- C) 3;
- D) 2;
- E) 1

215. Удельная теплоемкость чугуна:

- A) 3;

- B) 2;
- C) 1;
- D) 0,5;
- E) 0,12

216. Удельная теплоемкость кирпича:

- A) 2,0;
- B) 1,5;
- C) 0,9;
- D) 0,7;
- E) 0,21

217. Получение водяного пара осуществляется при:

- A) изменение объема;
- B) изменение температуры;
- C) при изменении давления;
- D) при резком охлаждении;
- E) при постоянном давлении ( $P=\text{const}$ )

218. Энтология газа:

- A) температура воды более  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- B) скорость движения пара;
- C) скорость охлаждения пара;
- D) температура закипания воды;
- E) потенциальная энергия  $E=rv$

219. Три способа передачи тепла:

- A) испарение;
- B) парообразование;
- C) теплопроводность;
- D) конвекция;
- E) излучение

220. Переход пара в другое состояние:

- A) изохорный процесс;
- B) изобарный процесс;
- C) изотермический процесс;
- D) адиабатный процесс;
- E) политропный процесс

221. Теплота сгорания, условное топливо ккал/к:

- A) окись углерода ( $\text{CO}$ ) –  $3018\text{ ккал/м}^3$ ;
- B) метан ( $\text{CH}_4$ ) –  $8556\text{ ккал/м}^3$ ;
- C) пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) –  $21795\text{ ккал/м}^3$ ;

- D) бензол ( $C_6H_6$ ) – 39528 ккал/м ;
- E) уголь – 7000 ккал/к

222. Тепловые единицы:

- A)  $1 \text{ кал/т} = 4,19 \text{ кДж/кб}$ ;
- B)  $1 \text{ ккал/}C^0 = 4,19 \text{ кДж/}C^0$  ;
- C)  $1 \text{ ккал} = 1,163 \text{ Вт}$ ;
- D)  $1 \text{ кВт} = 1 \text{ кДж/с} = 3.600 \text{ кДж/ч}$  ;
- E)  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,23800 \text{ Кал}$

223. Теплоисточники (max КПД):

- A) 0,90;
- B) 0,85;
- C) 0,80;
- D) 0,65 ;
- E) 0,55

224. Теплоносители:

- A) песок;
- B) гравий;
- C) мазут;
- D) соль;
- E) вода

225. Приборы для измерения темепартуры:

- A) манометры;
- B) градусники;
- C) нагревательные приборы;
- D) диоды;
- E) термометры

226. Счетчики учета тепла:

- A) механические;
- B) бесконтактные;
- C) дистанционные;
- D) нагревательные;
- E) электромагнитные

227. Удельный расход топлива (угля):

- A) 1000 к/ккал;
- B) 400 к/ккал ;
- C)  $600 \text{ к}^2/\text{ккал}$ ;
- D) 100 кг/ккал;
- E) 300 кг/ккал

228. Возобновляемые виды энергии:

- A) ветер;
- B) дождь;
- C) снег;
- D) водопады;
- E) солнце

229. Вредные элементы сгорания топлива:

- A) вода;
- B) пар;
- C) снег;
- D) сера;
- E) CO<sub>2</sub>

230. Уровень выработки электрической энергии (максимальный):

- A) гидростанция;
- B) атомная станция;
- C) биостанция;
- D) ветровая станция
- E) тепловая станция



ДЕЙНЕГА  
Виктор Васильевич

к.т.н., профессор, автор  
более 100 научных работ и  
учебно-методических пособий для  
вузов. Основное направление  
научной деятельности  
гидротеплоэнергетика.

теплоэнергетическая компания



# ТИТАН

Комплектация котлов и систем отопления

