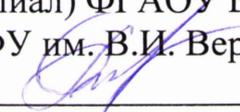


Бахчисарайский колледж строительства, архитектуры и дизайна (филиал)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Утверждаю

Директор Бахчисарайского
колледжа строительства,
архитектуры и дизайна
(филиал) ФГАОУ ВО

«КФУ им. В.И. Вернадского»


_____ Г.П. Пехарь

СБОРНИК ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине

ОП.06 ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ТЕПЛОТЕХНИКИ И АЭРОДИНАМИКИ

специальность 08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем
газоснабжения

г. Бахчисарай

2019 г.

Рассмотрено и одобрено на заседании
методического совета,
Протокол № 6 от «28» авг 2019 г.

Введено в действие приказом
директора
от «04» 03 2019 г. № 13/2/15

Составитель:

Яворский Ярослав Константинович, преподаватель общеобразовательных предметов и профессиональных дисциплин первой квалификационной категории.

Сборник практических работ по дисциплине ОП.06 Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики для обучающихся специальности 08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения. БКСАиД, 2019. – 52 стр.

Аннотация

Сборник практических работ предназначен для приобретения обучающимися специальности 08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения практических навыков решения технических задач и контроля уровня усвоения знаний и умений по дисциплине ОП.06 Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики, согласно формируемым компетенциям.

Он состоит из 14 практических работ, которые включают условия задач, исходные данные по вариантам и методику решения. Очередность выполнения работ соответствует рабочей программе дисциплины.

Использование сборника позволяет повысить эффективность и результативность учебного процесса.

Методический материал рассмотрен и утвержден на заседании цикловой методической комиссии № 4 «Дисциплин профессионального цикла по специальности 08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения».

Протокол № 5 от «15» января 2019 г.

Председатель цикловой методической комиссии  Куликова Е.И.

Практическая работа № 1

Нахождение гидростатического давления

Задача 1.

Определить давление, которое испытывает стенка сосуда, заполненного водой, на глубине h от поверхности.

Задача 2.

Прямоугольный открытый резервуар предназначен для хранения объема V воды.

Определить абсолютное давление на дно резервуара, если ширина дна b , а длина l .

Задача 3.

Определить глубины, давления. Построить эпюры гидростатического давления на дно и стенки резервуара с жидкостью (рис.11)

| № задачи | Данные | Варианты | | | | | |
|----------|------------------------|----------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | $H, \text{ м}$ | 1 | 0,5 | 1,0 | 4,5 | 6,5 | 2 |
| 2 | $V, \text{ м}^3$ | 40 | 30 | 25 | 45 | 65 | 50 |
| | $b, \text{ м}$ | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| | $l, \text{ м}$ | 6 | 5 | 7 | 8 | 5 | 3 |
| 3 | $a_1, \text{ м}$ | 1,8 | 3 | 5 | 2 | 3 | 2 |
| | $a_2, \text{ м}$ | 1,6 | 2 | 4 | 1,5 | 2,5 | 4 |
| | $a_3, \text{ м}^3$ | 1,2 | 0,5 | 2,5 | 1 | 2 | 2 |
| | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | 1000 | 1020 | 1040 | 1030 | 1450 | 1020 |

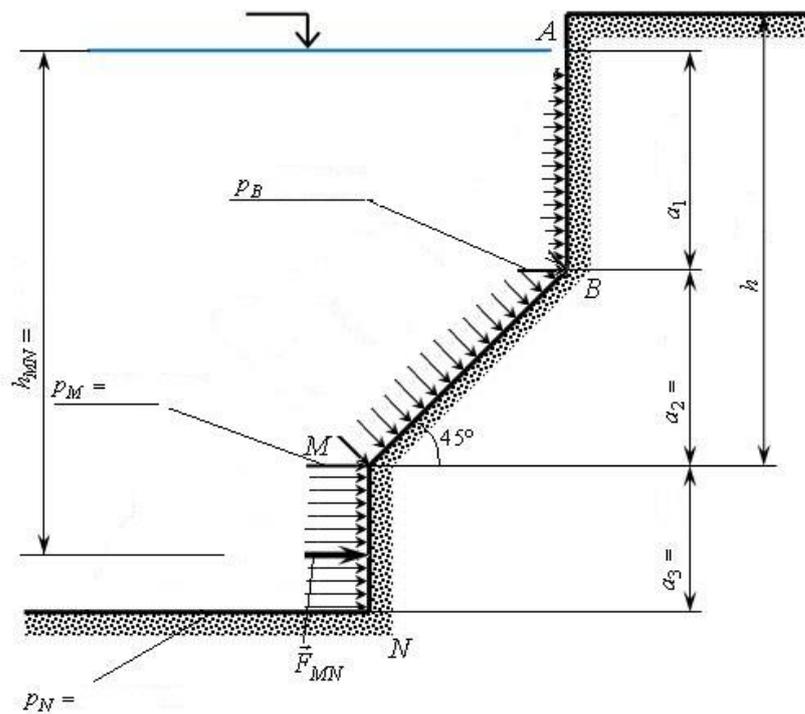


Рис. 1. Построение эпюр гидростатического давления

Методика решения:

Задача №1.

Определить давление, которое испытывает стенка сосуда, заполненного водой, на глубине $h=45\text{м}$ от поверхности.

Решение:

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 9.81 \text{ м/с}^2$$

$$p = p_0 + h \cdot g \cdot \rho$$

$$p_{\text{изб}} = h \cdot g \cdot \rho$$

$$p_{\text{изб}} = 45 \cdot 9,81 \cdot 1000 = 444\,150 \text{ Па}; \quad p = 101300 + 444150 = 545450 \text{ Па}$$

Ответ: 0,44 МПа, 0,55 МПа.

Задача 2.

Прямоугольный открытый резервуар предназначен для хранения $V=45\text{м}^3$ воды. Определить абсолютное давление на дно резервуара, если ширина дна $b=2\text{м}$, а длина $l=6\text{м}$.

Решение:

$$S_{\text{дна}} = b \cdot l, \quad S_{\text{дна}} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м}^2$$

$$V = S_{\text{дна}} \cdot h \Rightarrow h = \frac{V}{S}$$

$$h = \frac{45}{12} = 3,75 \text{ м}$$

$$p_{\text{изб}} = \rho_{\text{воды}} \cdot g \cdot h$$

$$p_{\text{изб}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,75 = 36800 \text{ Па} = 36,8 \text{ кПа}$$

$$p_{\text{абс}} = p_0 + p_{\text{изб}}$$

$$P_{\text{абс}} = 101,3 + 36,8 = 138 \text{ кПа} = 0,138 \text{ МПа}$$

Ответ: 0,138 МПа.

Задача №3.

Определить глубины, давления. Построить эпюры гидростатического давления на дно и стенки резервуара с жидкостью. $a_1=2,5 \text{ м}$; $a_2=1,8 \text{ м}$; $a_3=1,5 \text{ м}$; $\rho=1550\text{кг/ м}^3$.

Решение:

$$\text{В: } h_B = a_1 = 2.5 \text{ м}$$

$$\text{М: } h_M = a_1 + a_2, \quad h_M = 2.5 + 1.8 = 4.3 \text{ м}$$

$$\text{N: } h_N = a_1 + a_2 + a_3, \quad h_N = 2.5 + 1.8 + 1.5 = 5.8 \text{ м}$$

$$p_{\text{изб}} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$\text{В: } P_{\text{изб}} = 1550 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 38\,013,75 \text{ Па} = 0,038 \text{ МПа}$$

M: $P_{изб} = 1550 \cdot 9,81 \cdot 4,3 = 65\,369,9 \text{ Па} = 0,0654 \text{ МПа}$

N: $P_{изб} = 1550 \cdot 9,81 \cdot 5,8 = 88\,191,9 \text{ Па} = 0,0882 \text{ МПа}$

Ответ: 2,5 м; 4,3 м; 5,8 м; 0,038 МПа; 0,0654 МПа; 0,0882 МПа.

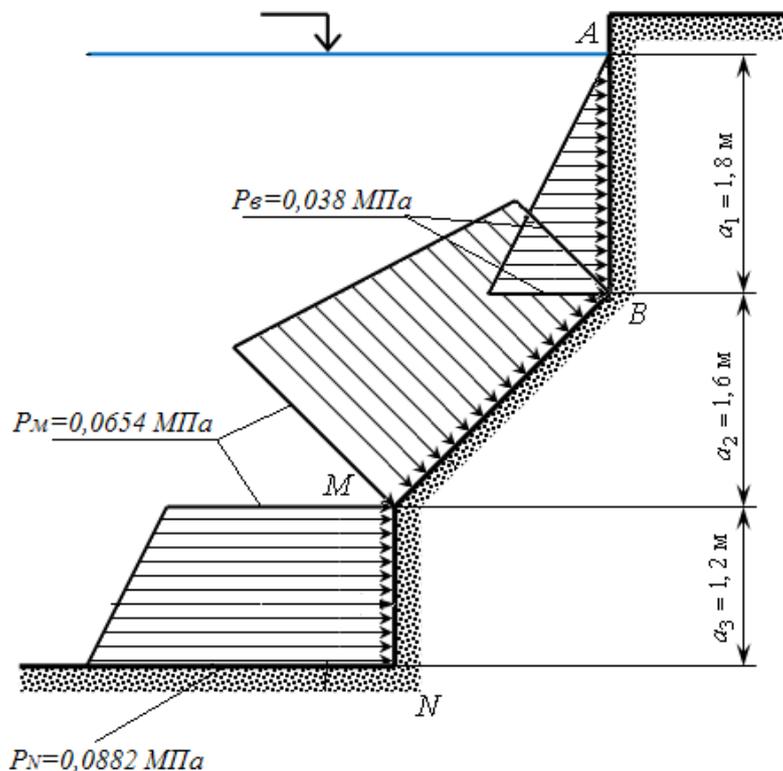


Рис2. Построение эпюр гидростатического давления

Практическая работа №2

Определение режимов движения жидкости и характеристик потока

Задача 1.

Определить расход жидкости, проходящей через трубу диаметром d мм, если средняя скорость потока V м/с. Труба заполнена полностью.

Задача 2.

Подобрать площадь живого сечения $\omega, \text{ м}^2$ канала прямоугольного сечения для пропускания воды с расходом Q л/с при средней скорости течения V м/с. Запроектировать сечение.

Задача 3.

Определить режим движения воды в трубе диаметром d мм, при скорости потока v м/с, кинематический коэффициент вязкости ν см²/с.

Задача 4.

Определить режим движения нефти по лотку прямоугольного сечения с основанием **V мм**, и высотой слоя **H мм**, скорость течения потока **v м/с**, кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0,5 \text{ см}^2/\text{с}$.

| № зад | Данные | Варианты | | | | | |
|-------|--------------------------------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | d, мм | 445 | 439 | 472 | 464 | 440 | 525 |
| | V, м/с | 0,95 | 0,94 | 1,09 | 0,84 | 1,2 | 0,91 |
| 2 | Q, л/с | 2800 | 2930 | 3250 | 3750 | 1950 | 2900 |
| | V, м/с | 1,4 | 1,1 | 1,15 | 1,61 | 2,0 | 1,9 |
| 3 | d, мм | 473 | 522 | 438 | 443 | 440 | 473 |
| | v, м/с | 1,3 | 1,0 | 1,45 | 0,96 | 1,7 | 1,25 |
| | ν , $\text{см}^2/\text{с}$ | 0,01 | 0,012 | 0,016 | 0,013 | 0,0115 | 0,011 |
| 4 | V, мм | 145 | 140 | 145 | 160 | 170 | 150 |
| | H, мм | 120 | 130 | 100 | 155 | 125 | 100 |
| | v, м/с | 0,27 | 0,5 | 0,3 | 0,55 | 0,35 | 0,4 |

Методика решения:

Задача 1.

Определить расход жидкости, проходящей через трубу диаметром **d = 434 мм = 0,434 м**, если средняя скорость потока **v = 0,84 м/с**. Труба заполнена полностью.

Решение:

$$Q = v_{\text{cp}} \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot (0,434)^2}{4} = 0,148 \text{ м}^2$$

$$Q = 0,84 \cdot 0,148 = 0,124 \text{ м}^3/\text{с}$$

Ответ: 0,124 м³/с.

Задача 2.

Подобрать площадь живого сечения ω , м^2 канала прямоугольного сечения для пропуска воды с расходом **Q=2850 л/с** при средней скорости течения **v = 1,27 м/с**. Запроектировать сечение.

Решение:

$$\text{Из (1.20)} \quad Q = v_{\text{cp}} \cdot \omega \Rightarrow \omega = \frac{Q}{v_{\text{cp}}}$$

$$\omega = \frac{2,85}{1,27} = 2,244 \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{\omega}, \quad a = \sqrt{2,244} = 0,4337 \text{ м}$$

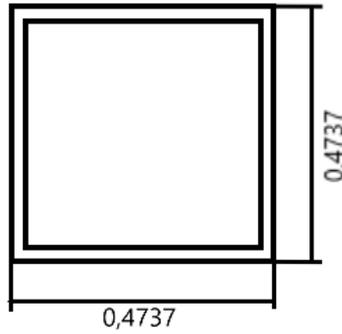


Рис. 3. Запроектированное сечение канала.

Ответ: 2,244м².

Задача 3.

Определить режим движения воды в трубе диаметром $d=434\text{мм}^2$, при скорости потока $v=1,2\text{ м/с}$, кинематический коэффициент вязкости $\nu=0,01\text{см}^2/\text{с}$.

Решение:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1.31)$$

Для удобства будем рассчитывать в сантиметрах

$$Re = \frac{120 \cdot 43,4}{0,01} = 520\,800$$

$$520\,800 > 2\,300$$

Режим движения- турбулентный.

Ответ: Турбулентное движение.

Задача 4.

Определить режим движения нефти по лотку прямоугольного сечения с основанием $B=145\text{мм}$, и высотой слоя $H=125\text{мм}$, скорость течения потока $v=0,44\text{ м/с}$, кинематический коэффициент вязкости $\nu=0,5\text{ см}^2/\text{с}$.

Решение:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1.31)$$

$$S = B \cdot H$$

$$d = \sqrt{\frac{4BH}{\pi}}$$

Расстояния в решении принимаем в метрах.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,125 \cdot 0,145}{\pi}} = \sqrt{0,023} = 0,1516 \text{ м}$$

$$Re = \frac{0,44 \cdot 0,1516}{0,00005} = 1334$$

$$1334 < 2300$$

Режим движения - ламинарный.

Ответ: ламинарное движение.

Практическая работа № 3

Определение расхода жидкости и скорости

Задача 1.

По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью v м/с.

Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус R м.

Задача 2.

Из напорного бака вода течет по трубе диаметром d_1 мм, и затем вытекает в атмосферу через насадок с диаметром выходного отверстия d_2 мм. Избыточное давление воздуха в баке p_0 МПа; высота H м. Пренебрегая потерями энергии, определить скорости течения воды в трубе v_1 и на выходе из насадки v_2 .

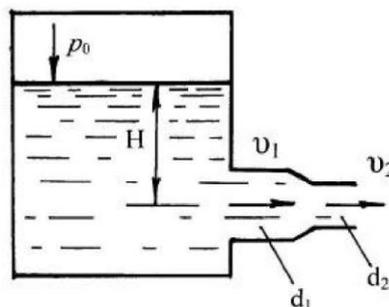


Рис. 4. Иллюстрация к задаче 2 (практическая работа №3)

Задача 3.

Определить, на какую высоту поднимется вода в трубке, один конец которой присоединен к суженному сечению трубопровода, а другой конец опущен в воду. Расход воды в трубе Q , м³/с; избыточное давление p_1 , кПа; диаметры d_1 , мм и d_2 , мм. Потерями напора пренебречь.

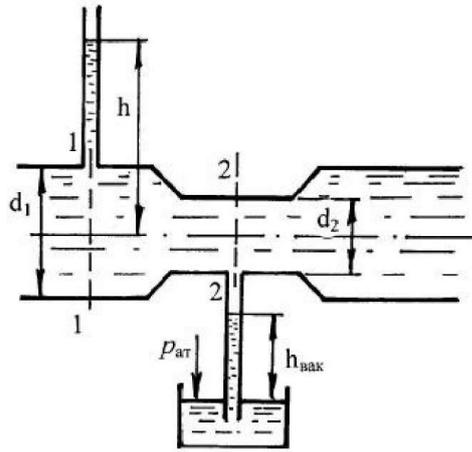


Рис. 5. Иллюстрация к задаче 3 (практическая работа №3).

| № зад | Данные | Варианты | | | | | |
|-------|-------------------------|----------|------|-------|-------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | v , м/с | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 2 | 1 | 1,6 |
| | R , м | 0,015 | 0,03 | 0,012 | 0,02 | 0,01 | 0,011 |
| 2 | d_1 , мм | 10 | 80 | 50 | 25 | 20 | 35 |
| | d_2 , мм | 15 | 40 | 25 | 16 | 16 | 15 |
| | p_0 , МПа | 0,1 | 0,5 | 0,4 | 0,15 | 0,3 | 0,25 |
| | H , м | 0,8 | 2,2 | 1,5 | 2 | 1 | 1,2 |
| | Q , м ³ /с | 0,005 | 0,1 | 0,025 | 0,048 | 0,01 | 0,03 |
| 3 | p_1 , кПа | 30 | 250 | 100 | 100 | 25 | 50 |
| | d_1 , мм | 40 | 200 | 50 | 150 | 200 | 120 |
| | d_2 , мм | 20 | 150 | 40 | 100 | 100 | 80 |

Методика решения:

Задача 1.

По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью $v = 1.5$ м/с. Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус $R = 0,008$ м.

Решение:

$$Q = v \cdot \omega = v \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Гидравлический радиус - отношение площади живого сечения $\omega = \pi r^2$ к смоченному периметру $\kappa = 2\pi r$:

$$R = \frac{\omega}{\kappa} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = r/2$$

$$d = 2r = 4R, d = 0.032 \text{ м}$$

$$Q = 1.5 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.032^2}{4} = 0.012 \text{ м}^3/\text{с}$$

Ответ: 0,0012 м/с.

Задача 2.

Из напорного бака вода течет по трубе диаметром $d_1 = 40$ мм, и затем вытекает в атмосферу через насадок с диаметром выходного отверстия $d_2 = 20$ мм. Избыточное давление воздуха в баке $p_0 = 0,2$ МПа; высота $H = 1,1$ м. Пренебрегая потерями энергии, определить скорости течения воды в трубе v_1 и на выходе из насадки v_2 .

Решение:

$$d_1 = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$$

$$d_2 = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$$

$$p_0 = 0,2 \text{ МПа} = 200000 \text{ Па}$$

$$H + \frac{p_0 + p}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} = 0 + \frac{p}{p_0} + \frac{V_0^2}{2g}$$

$$v_0 = 0$$

$$v_2^2 = \left(H + \frac{p_0}{\rho g} \right) \cdot 2g \rightarrow v_2 = \sqrt{2gH + \frac{2p_0}{\rho}}$$

$$v_2 = \sqrt{1,1 \cdot 9,8 \cdot 2 + \frac{2 \cdot 200000}{1000}} = 20,53 \text{ м/с}$$

$$v_1 = \frac{v_2 \cdot \omega_2}{\omega_1} = \frac{v_2 \cdot d_2^2}{d_1^2}$$

$$v_1 = \frac{20,53 \cdot 0,02^2}{0,04^2} = 5,13 \text{ м/с}$$

Ответ: 5,13 м/с.

Задача 3.

Определить, на какую высоту поднимется вода в трубке, один конец которой присоединен к суженному сечению трубопровода, а другой конец опущен в воду. Расход воды в трубе $Q = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$; избыточное давление $p_1 = 150$ кПа; диаметры $d_1 = 100$ мм и $d_2 = 80$ мм.

Потерями напора пренебречь.

Решение:

$$p_1 = 150 \text{ кПа} = 150000 \text{ Па}$$

$$d_1 = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$$

$$d_2 = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$$

Из уравнения Бернулли и уравнения неразрывности потока находим:

$$H = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{4^2 Q^2}{2g\pi^2} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right)$$

$$H = \frac{150000}{1000 \cdot 9,8} + \frac{16 \cdot 0,02^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 3,14^2} \left(\frac{1}{0,1^4} - \frac{1}{0,08^4} \right) = 15,306 + 0,000033 \cdot (-14414,06) = 14,83 \text{ м}$$

Ответ: 14,83 м.

Практическая работа № 4 Истечение жидкостей через насадки

Задача 1.

Ручная шланговая мойка для автомобилей, производится брандспойтом. Какое давление должен создать насос, чтобы получить расход воды Q через сопло диаметром d . Диаметр шланга D , потери напора не учитывать.

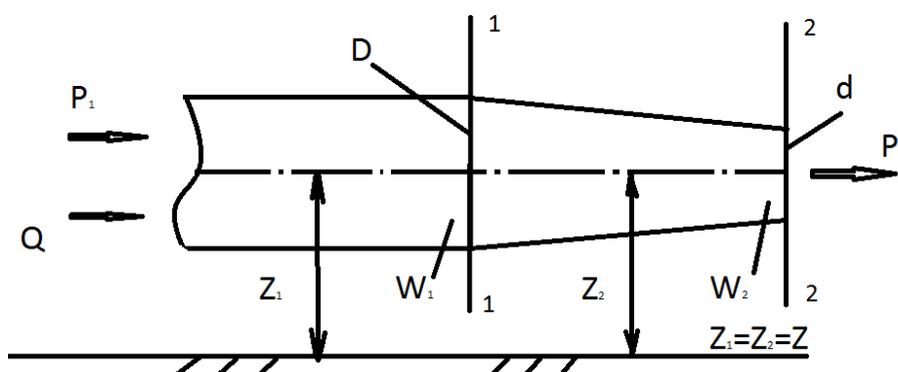


Рис.6 Иллюстрация к задаче 1 (практическая работа №4)

| № зад | Данные | Варианты | | | | | |
|-------|-----------|----------|----|----|----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Q , л/с | 40 | 45 | 50 | 44 | 52 | 44 |
| | d , мм | 3,7 | 4 | 6 | 5 | 6,2 | 4,5 |
| | D , мм | 35 | 28 | 30 | 35 | 40 | 37 |

Методика решения:

Ручная шланговая мойка транспортных средств приводится брандспойтом. Какое давление должен создать насос, чтобы получить расход воды $Q = 35$ л/с, через сопло диаметром $d = 6,3$ мм. Диаметр шланга $D = 44$ мм, потери напора не учитывать.

Решение:

Принимаем давление $P_2 = 1 \text{ атм.} = 760 \text{ мм. рт. ст.} = 101325 \text{ Па}$

Запишем уравнение Бернулли для нашего случая (без потерь).

$$Z + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = H = \text{const}$$

Расход жидкости через отверстие определяют по формуле

$$Q = \omega \cdot \mu \cdot \sqrt{2gH}; \quad \mu = \varphi \cdot \varepsilon - \text{коэф. расхода}; \quad \varepsilon = \frac{\omega_2}{\omega_1} - \text{коэф. сжатия}; \quad \varphi - \text{коэф. скорости.}$$

По справочнику принимаем $\varphi = 0,96$; $\varepsilon = 0,98$; $\mu = 0,94$ для сходящихся конических насадок

Определяем полный напор $H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ с другой стороны :

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g \cdot H},$$

откуда

$$H = \frac{Q^2}{\omega_1^2 \cdot \mu^2 \cdot 2g}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.044^2}{4} = 0.00152 \text{ м}^2$$

$$\mu = \varphi \cdot \varepsilon = 0,96 \cdot 0,98 = 0,94$$

Напор:

$$H = \frac{0.035^2}{0.00152^2 \cdot 0.94^2 \cdot 2 \cdot 9.81} = 30.584 \text{ м}$$

Определим скорость в шланге по формуле:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2gH} = 0.96 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 30.584} = 23.516 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определим давление p_1 - создаваемое насосом:

$$H = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$30.584 = \frac{p_1}{1000 \cdot 9.81} + \frac{23.52^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$\frac{p_1}{9810} = 2.389$$

$$p_1 = 2.389 \cdot 9810 = 23436 \text{ Па} = 0,0234 \text{ МПа} = 0,234 \text{ атм.}$$

Ответ: 0,0234 МПа.

Практическое занятие № 5

Решение задач. Законы идеальных газов

Задача 1.

В сосуде объемом V , м.куб. находится m , кг окиси углерода (CO). Определить удельный объем и плотность окиси углерода.

Задача 2.

Найти абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает p_m , МПа.

Атмосферное давление по показаниям ртутного барометра составляет B , мм рт. ст. при $t = 25^\circ\text{C}$.

Задача 3.

$0,5 \text{ м}^3$ газа находится в сосуде при температуре $t, ^\circ\text{С}$. Подключенный к сосуду вакуумметр показывает разрежение $H, \text{мм.вод.ст.}$ при барометрическом давлении $B, \text{мм.рт.ст.}$. Определить массу газа в сосуде.

Задача 4.

Какой объем займет кислород при температуре $t, ^\circ\text{С}$ и давлении $p \text{ МПа}$, если при нормальных физических условиях он занимает 4 м^3 .

| № задания | Данные | Вариант | | | | | |
|-----------|-------------------------|---------|----------|----------------|-------|-------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | $V, \text{ м}^3$ | 1 | 1,2 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1,2 |
| | $m, \text{ кг}$ | 1,5 | 1 | 1,2 | 1,1 | 3 | 1,1 |
| 2 | $p_m, \text{ МПа}$ | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 |
| | $B, \text{ мм рт. ст.}$ | 700 | 705 | 710 | 715 | 720 | 725 |
| 3 | $t, ^\circ\text{С}$ | 50 | 70 | 90 | 110 | 130 | 150 |
| | $H, \text{ мм.вод.ст.}$ | 500 | 550 | 600 | 650 | 750 | 800 |
| | $B, \text{ мм.рт.ст.}$ | 700 | 705 | 710 | 715 | 720 | 725 |
| | газ | Азот | Кислород | Углекислый газ | Гелий | Аргон | Окись углерода |
| 4 | $t, ^\circ\text{С}$ | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| | $p, \text{ МПа}$ | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,4 | 0,5 | 0,8 |

Методика решения:

Задача №1.

В сосуде объемом $2, \text{ м}^3$ находится 2 кг окиси углерода. Определить удельный объем и плотность окиси углерода.

Решение:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{2}{2} = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\rho = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{1} = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Ответ: $\nu = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$; $\rho = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$

Задача №2.

Найти абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает $P_m = 0,13 \text{ МПа}$. Атмосферное давление по показателям ртутного барометра составляет $B = 730 \text{ мм рт.ст.}$ при $t = 25^\circ\text{С}$.

Решение:

Показание барометра получено при температуре ртути $t=25^{\circ}\text{C}$. Для получения значения атмосферного давления для ртутных барометров показания необходимо приводить к 0°C по формуле:

$$B_0 = B \cdot (1 - 0,000172 \cdot t) = 730 \cdot (1 - 0,000172 \cdot 25) = 726,861 \text{ мм рт. ст.} \\ = 726,861 \cdot 133,3 = 96890,57 \text{ Па}$$

Абсолютное давление пара в котле:

$$P_{\text{абс}} = B_0 + P_{\text{м}} = 96890 + 0,13 \cdot 106 = 226890 \text{ Па} = 0,227 \text{ МПа}$$

Ответ: $P_{\text{абс}}=0,227 \text{ МПа}$

Задача №3.

0,5 м³ газа находится в сосуде при температуре **$t=120^{\circ}\text{C}$** . Подключенный к сосуду вакуумметр показывает разрежения **$H=700 \text{ мм вод.ст.}$** при барометрическом давлении **$B=750 \text{ мм рт.ст.}$** Определить массу газа в сосуде.

Решение:

Абсолютное давление газа

$$P_{\text{абс}} = B - P_{\text{в}} = 750 \cdot 133,3 - 700 \cdot 9,81 = 93108 \text{ Па}$$

$$T = t + 273,15 = 120 + 273,15 = 393,15 \text{ К}$$

Газовая постоянная

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{28,96} = 287,09 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Из уравнения состояния идеального газа, записанного в виде $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$, выразим массу газа

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{93108 \cdot 0,5}{287,09 \cdot 393,15} = 0,41 \text{ кг}$$

Ответ: 0,41 кг.

Задача №4.

Какой объём займет кислород при температуре **150°C** и давлении **$0,3 \text{ МПа}$** , если при нормальных физических условиях он занимает **4 м^3** ?

Решение:

Под нормальными физическими условиями понимают состояние газа при $p = 760 \text{ мм рт.ст.}$ и $t=0^{\circ}\text{C}$. Из уравнения состояния идеального газа записанного для нормальных физических условий и физических условий данной задачи:

$$m = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{p_{\text{н.у}} \cdot V_{\text{н.у}}}{R \cdot T_{\text{н.у}}} \Rightarrow V_1 = \frac{T_1 \cdot p_{\text{н.у}} \cdot V_{\text{н.у}}}{p_1 \cdot T_{\text{н.у}}}$$

$$p_{н.у} = 760 \cdot 133,3 = 101308 \text{ Па} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_1 = 0,3 \text{ МПа} = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$T_{н.у} = 273,15 \text{ К}$$

$$T_1 = 150 + 273,15 = 423,15 \text{ К}$$

$$V_1 = \frac{423,15 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 4}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 273,15} = 2,09 \text{ м}^3$$

Ответ: $2,09 \text{ м}^3$

Практическое занятие № 6

Нахождение работы, внутренней энергии, теплоты

Задача 1.

($V=\text{const}$) Баллон ёмкостью V литров, заполнен газом при абсолютном давлении p_1 , МПа и температуре t_1 °С. Определить давление в баллоне и количество подведенной к газу теплоты, если температура в баллоне повысится до температуры t_2 °С.

Задача 2.

($p=\text{const}$) Какую мощность должен иметь электрический калорифер, чтобы нагревать при постоянном давлении p_6 поток воздуха от t_1 °С до t_2 °С, если производительность вентилятора на холодном воздухе V м³/с. Зависимость теплоёмкости от температуры не учитывать.

Задача 3.

($T=\text{const}$) При температуре t_1 °С, 1 кг газа сжимается изотермически до десятикратного уменьшения объёма. Определить конечное давление, работу сжатия и отводимую теплоту, если начальное давление p_1 .

Задача 4.

Во сколько раз количество теплоты, которое идет на нагревания газа при постоянном давлении, больше работы, совершенной газом при расширении. Удельная теплоемкость газа c_p . Молярная масса M .

| № задания | Данные | Вариант | | | | | |
|-----------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Газ | N ₂ | H ₂ | O ₂ | Воздух | CO ₂ | H ₂ O |
| | V, л | 60 | 70 | 100 | 130 | 80 | 50 |
| | p ₁ , МПа | 7 | 10 | 8 | 9 | 7 | 10 |
| | t ₁ , °С | 15 | 20 | 25 | 20 | 18 | 19 |
| | t ₂ , °С | 45 | 50 | 55 | 60 | 40 | 45 |
| 2 | p ₆ , мм.рт.ст. | 760 | 735 | 745 | 740 | 750 | 760 |
| | t ₁ , °С. | -15 | -20 | -10 | -25 | -20 | -16 |
| | t ₂ , °С | 20 | 25 | 23 | 15 | 16 | 18 |
| | V, м ³ /с | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 1,0 |

| | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|------------------|
| 3 | Газ | N ₂ | H ₂ | O ₂ | Воздух | CO ₂ | H ₂ O |
| | t ₁ , °C | 20 | 15 | 25 | 22 | 19 | 18 |
| | p ₁ , МПа | 0,1 | 0,095 | 0,105 | 0,1 | 0,104 | 0,089 |

Методика решения:

Задача №1.

Баллон ёмкостью **V=55 литров**, заполнен газом при абсолютном давлении **p₁ = 8,5 МПа** и температуре **t₁ = 16 °C**. Определить давление в баллоне **p₂** и количество подведенной к газу теплоты **q**, если температура в баллоне повысится до температуры **t₂ = 50 °C**.

Решение:

$$t_1 = 16^\circ\text{C}, \quad T_1 \approx t_1 + 273 = 289 \text{ К}$$

$$t_2 = 50^\circ\text{C}, \quad T_2 \approx t_2 + 273 = 323 \text{ К}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{8.5 \cdot 323}{289} = 9.5 \text{ МПа}$$

$$q = \Delta U = C'_{vm} \cdot (T_2 - T_1) = cm\Delta T$$

$$C'_{vm} = \frac{0.6548 + 0.8717}{2} = 0.76325 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \text{ (данные берем из таблиц теплоёмкостей газов при температурах } t_1 \text{ и } t_2)$$

Из уравнения Менделеева – Клапейрона

$$m = \frac{MpV}{RT}$$

$$m = \frac{0.032 \cdot 8500000 \cdot 0.055}{8.314 \cdot 289} \approx 62.25 \text{ кг}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 323 - 289 = 34 \text{ К}$$

$$q = 0.76325 \cdot 62.25 \cdot 34 = 1615.4 \text{ кДж}$$

Ответ: 9,5 МПа; 1615.4 кДж.

Задача №2.

(**p=const**) Какую мощность **P** должен иметь электрический калорифер, чтобы нагревать при постоянном давлении **p₆=755 мм.рт.ст.** поток воздуха от **t₁ = -10 °C** до **t₂ = 23 °C**, если производительность вентилятора на холодном воздухе **V = 0,73 м³/с**. Зависимость теплоёмкости от температуры не учитывать.

Решение:

Из пропорции 760 мм.рт.ст. – 101300 Па

$$755 \text{ мм.рт.ст.} - p$$

$$p = 100630 \text{ Па}$$

$$m = \frac{MpV}{RT} = \frac{0.029 \cdot 100630 \cdot 0.73}{8.31 \cdot 263} \approx 0.97 \text{ кг}$$

Мощность находим из первого закона термодинамики $P = Q = \Delta U + A$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T = \frac{5}{2} \cdot \frac{0.97}{0.029} \cdot 8.31 \cdot 33 = 2293 \text{ Дж}$$

$$A = p \cdot \Delta V \quad (\text{см. таб.3, где } A=l - \text{ работа})$$

$$\text{Из (2.3)} \quad V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0.73 \cdot 296}{263} = 0.82 \text{ м}^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 0.82 - 0.73 = 0.09 \text{ м}^3$$

$$A = 100630 \cdot 0.09 = 9056.7 \text{ Дж}$$

$$Q = 2293 + 9057 \approx 11350 \text{ Дж} \quad P = 11,35 \text{ кВт}$$

Ответ: 11,35 кВт

Задача №3.

($T=\text{const}$) При температуре $t_1 = 25^\circ\text{C}$, 1 кг газа CH_4 сжимается изотермически до десятикратного уменьшения объёма. Определить конечное давление p_2 , работу сжатия A и отводимую теплоту Q , если начальное давление $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$.

Решение:

$Q = A$ – первый закон термодинамики для изотермического процесса

$$A = R \cdot T \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{см. таб. 3, где } A = l - \text{ работа})$$

$$A = 8.31 \cdot 298 \cdot \ln \frac{1}{0.2} = 5702.1 \text{ Дж}$$

$$p_2 = 10 \cdot p_1 = 10 \cdot 0.1 = 1 \text{ МПа}$$

$$Q = A = 5702.1 \text{ Дж}$$

Ответ: 1МПа; 5702,1 Дж; 5702,1 Дж.

Задача №4.

Во сколько раз количество теплоты, которое идет на нагревания газа при постоянном давлении, больше работы, совершенной газом при расширении. Удельная теплоемкость газа C_p . Молярная масса M .

Решение:

$$Q = C_p m \Delta T$$

$$A = \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{C_p m \Delta T}{\frac{m}{M} R \Delta T} = \frac{C_p M}{R}$$

Практическое занятие № 7

Определение параметров влажного воздуха

Задача 1.

Влажный воздух находится при температуре t , °С. Парциальное давление водяного пара во влажном воздухе p , мм рт. ст. при барометрическом давлении $B = 745$ мм рт. ст. Определить состояние влажного воздуха, температуру точки росы, абсолютную влажность воздуха, относительную влажность воздуха, влагосодержание и энтальпию влажного воздуха.

| № задания | Данные | Вариант | | | | | |
|-----------|-----------------|---------|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | t , °С | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| | p , мм.рт.ст. | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |

Методика решения:

Задача 1.

Влажный воздух находится при температуре 40 °С. Парциальное давление водяного пара во влажном воздухе 30 мм рт. ст. при барометрическом давлении $B = 750$ мм рт. ст. Определить состояние влажного воздуха, температуру точки росы, абсолютную влажность воздуха, относительную влажность воздуха, влагосодержание и энтальпию влажного воздуха.

Решение:

Рассмотрим решение задачи с использованием таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара.

Состояние влажного воздуха

Парциальному давлению пара $p_n = 30$ мм рт. ст соответствует температура насыщения $t_n = 28,98^\circ\text{C}$

По условию задачи водяной пар во влажном воздухе имеет температуру $t = 40^\circ\text{C}$, т.е. выше температуры насыщения, следовательно, пар перегретый.

Смесь сухого воздуха с перегретым водяным паром называется насыщенным влажным воздухом.

Таким образом, при $p_n = 30$ мм рт.ст и $t = 40^\circ\text{C}$ влажный воздух ненасыщенный.

Температура точки росы

Температура насыщения водяного пара при его парциальном давлении равна $28,98^\circ\text{C}$. $t_p 28,98^\circ\text{C}$

Абсолютная влажность воздуха

$\rho = \frac{1}{v}$, где v – удельный объем пара.

При $p_n = 30$ мм рт. ст. = 0,04 бар и $t = 40^\circ\text{C}$

$$v = 36,08 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{36,08} = 0,0277 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho''} = \frac{p_n}{p_n''}$$

При $t = 40^\circ\text{C}$

$$v'' = 19,55 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$p_n'' = 0,074 \text{ бар.}$$

$$\rho'' = \frac{1}{v''} = \frac{1}{19,55} = 0,051 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho''} = \frac{0,0277}{0,051} = 0,54 = 54\%$$

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n''} = \frac{0,04}{0,074} = 0,54 = 54\%$$

Влагосодержание в расчете на 1 кг сухого воздуха

$$d = \frac{622 \cdot p_n}{(B - p_n)} = \frac{622 - 30}{(750 - 30)} = 26 \frac{\text{г}}{\text{кг с. в}}$$

Энтальпия влажного воздуха на 1 кг сухого воздуха

$$H = c_p \cdot t + d \cdot h_n; \quad c_p = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

При $p_n = 0,04$ бар и $t = 40^\circ\text{C}$

$$h_n = 2574,8 \text{ кДж}/\text{кг};$$

$$H = 40 + 26 \cdot 10^{-3} \cdot 2574,8 = 108 \text{ кДж} / \text{кг с. в.}$$

Рассмотрим решение задачи с использованием H, d - диаграммы влажного воздуха.

На рисунке 7 стрелками показан путь определения по H, d - диаграмме точки А с заданными параметрами: от линии парциальных давлений при $p_n = 30$ мм рт. ст. проводим вертикаль до пересечения с изотермой 40°C .

Состояние влажного воздуха. Точка А находится выше кривой относительной влажности $\varphi = 100\%$. Следовательно, влажный воздух – ненасыщенный.

Температура точки росы. Значение температуры точки росы определяется по изотерме при пересечении вертикали, опущенной из точки А на линию $\varphi = 100\%$.

$$t_p = 29^\circ\text{C}$$

Абсолютная влажность воздуха по H, d - диаграмме не определяется .

Относительная влажность воздуха. Точка А расположена между кривыми $\varphi = 50\%$ и $\varphi = 60\%$. Графическая интерполяция дает значение относительной влажности воздуха $\varphi_A = 54\%$.

Влагосодержание в данной точке определяется по оси абсцисс $d_A = 26 \text{ г / кг с. в.}$

Значение энтальпии влажного воздуха определяется по оси ординат. Точка А находится между линиями $H=100 \text{ кДж/кг с. в.}$ и $H=110 \text{ кДж/кг с. в.}$ Графическая интерполяция дает значение $H_A = 108 \text{ кДж/кг с. в.}$

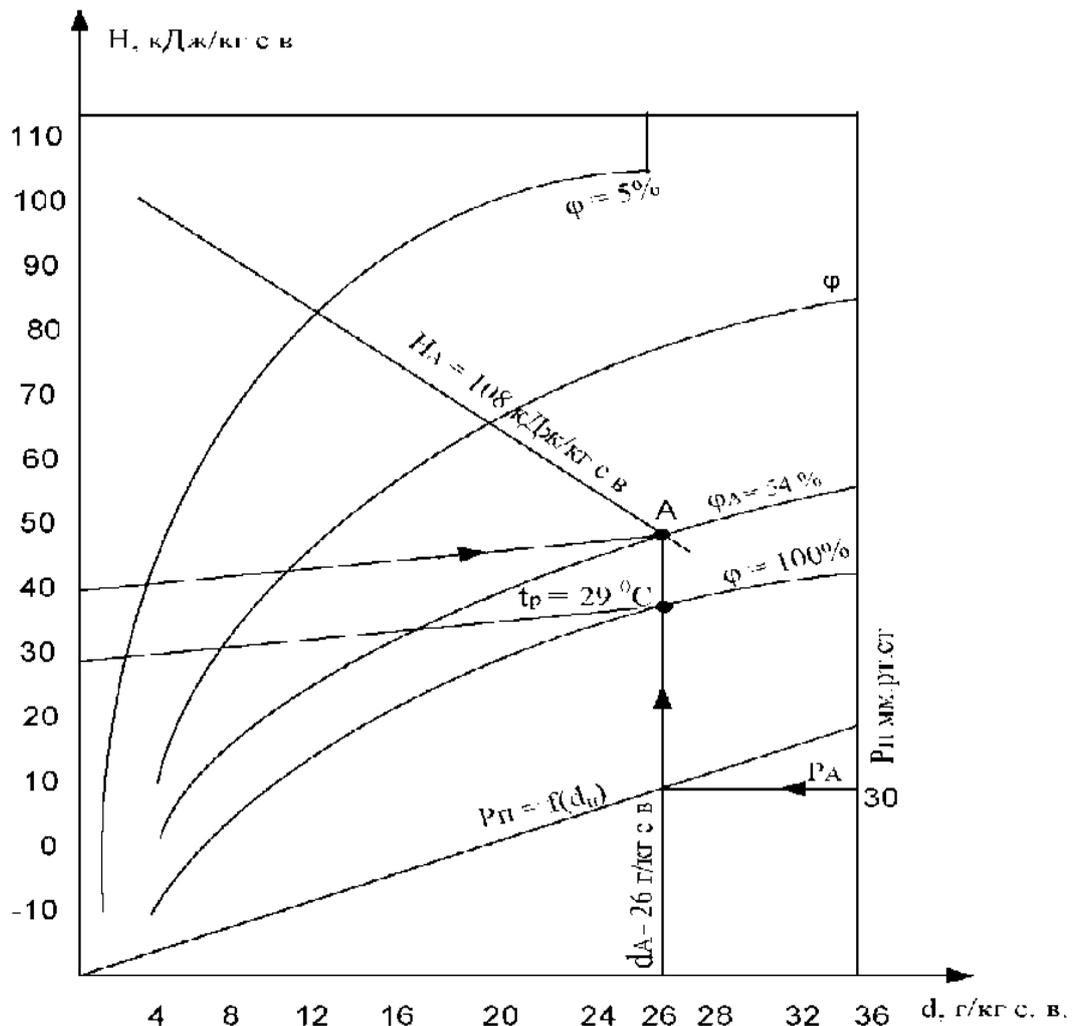


Рис.7. Определение параметров влажного воздуха по H,d- диаграмме

Практическое занятие № 8

Определение потерь тепла через стенку, излучение

Задача 1.

Определить тепловой поток через 1 м^2 поверхности кирпичной стенки и глубину её промерзания до температуры $t = 0^\circ\text{C}$. Толщина стенки $\delta \text{ мм}$, температура на её

внутренней поверхности $t_1^0\text{C}$, а наружной $t_2^0\text{C}$. Коэффициент теплопроводности кирпича λ Вт/(м·К).

Задача 2.

Определить необходимую толщину изоляции, если допустимые температуры её поверхностей $t_1^0\text{C}$ и $t_2^0\text{C}$, а удельный тепловой поток через изоляцию не должен превосходить q Вт/м². Коэффициент теплопроводности изоляции λ Вт/(м·К).

Задача 3.

Определить теплоту излучения 1 м неизолированного трубопровода, диаметром d , мм, если температура его поверхности $t_1^0\text{C}$ и температура стен в помещении $t_2^0\text{C}$.

Принять степень черноты материала трубы $\varepsilon=0,78-0,82$.

| № задания | Данные | Вариант | | | | | |
|-----------|-------------------------|---------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | δ , мм | 250 | 250 | 380 | 510 | 380 | 510 |
| | $t_1^0\text{C}$ | 20 | 15 | 30 | 22 | 32 | 27 |
| | $t_2^0\text{C}$ | -25 | -15 | -14 | -18 | -16 | -17 |
| | λ , Вт/(м·К) | 0,55 | 0,6 | 0,54 | 0,57 | 0,55 | 0,58 |
| 2 | $t_1^0\text{C}$ | 340 | 354 | 420 | 385 | 374 | 511 |
| | $t_2^0\text{C}$ | 50 | 47 | 53 | 47 | 40 | 29 |
| | q , Вт/м ² | 480 | 420 | 475 | 400 | 394 | 411 |
| | λ , Вт/(м·К) | 0,11 | 0,10 | 0,18 | 0,17 | 0,9 | 0,12 |
| 3 | $t_1^0\text{C}$ | 105 | 100 | 100 | 105 | 95 | 105 |
| | $t_2^0\text{C}$ | 18 | 16 | 20 | 17 | 15 | 17 |
| | d , мм | 26,8 | 33,5 | 48 | 60 | 75,5 | 114 |

Методика решения:

Задача 1.

Определить тепловой поток через 1 м² поверхности кирпичной стенки и глубину её промерзания до температуры $t = 0^0\text{C}$. Толщина стенки $\delta=250$ мм, температура на её внутренней поверхности $t_1 = 25^0\text{C}$, а наружной $t_2 = -20^0\text{C}$. Коэффициент теплопроводности кирпича $\lambda=0,6$ Вт/(м·К).

Решение:

$$Q = q \cdot F$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_i}$$

$$\Delta T = t_1 - t_2 = 25 - (-20) = 45^0\text{C} = 45 \text{ K}$$

$$R_i = \frac{\delta}{\lambda}$$

$$R_i = \frac{0,250}{0,61} = 0,41 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$q = \frac{45}{0,41} = 109,76 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q = 0,109 \cdot 1 = 0,109 \text{ кВт} = 109,76 \text{ Вт}$$

Ответ : 109,76 Вт.

Задача 2.

Определить необходимую толщину изоляции, если допустимые температуры её поверхностей $t_1=374^{\circ}\text{C}$ и $t_2=35^{\circ}\text{C}$, а удельный тепловой поток через изоляцию не должен превосходить $q=329 \text{ Вт/м}^2$. Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda=0,13 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Решение:

$$q = \frac{\Delta T}{R} \rightarrow R = \frac{\Delta T}{q}$$

$$R = \frac{374 - 35}{329} = 1,03 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \rightarrow \delta = R \cdot \lambda$$

$$\delta = 1,03 \cdot 0,13 = 0,1339 \text{ м} = 133,9 \text{ мм}$$

Ответ : 133,9 мм.

Задача 3.

Определить теплоту излучения 1 м неизолированного трубопровода, диаметром $d = 88,5 \text{ мм}$, если температура его поверхности $t_1=95^{\circ}\text{C}$ и температура стен в помещении $t_2 = 16^{\circ}\text{C}$. Принять степень черноты материала трубы $\varepsilon=0,78-0,82$.

Решение:

$$E = \varepsilon \cdot c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot F$$

$$T = \Delta T = t_1 - t_2$$

$$F = \pi \cdot d \cdot l$$

где $l=1 \text{ м}$

$$E = 0,8 \cdot 5,67 \left(\frac{95 - 16}{100} \right)^4 \cdot 3,14 \cdot 0,0885 = 0,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Ответ: $0,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Практическая работа №9

Расчет теплопередачи

Задача 1.

Плотность теплового потока через плоскую стенку бака, при температуре дымовых газов $t_1^{\circ}\text{C}$ и температуре воды $t_2^{\circ}\text{C}$, составляет $Q \text{ Вт/м}^2$. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды $\alpha \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Определить коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи со стороны газов и температуры поверхностей стенки бака, если её толщина $\delta \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности металла $\lambda \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Задача 2.

Определить тепловой поток через кирпичную стенку толщиной $\delta_2 \text{ мм}$, покрытую слоем штукатурки толщиной $\delta_1 \text{ мм}$. Теплопроводность кирпича $\lambda_2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, а штукатурки $\lambda_1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Температура воздуха внутри помещения $t_1^{\circ}\text{C}$ снаружи $t_2^{\circ}\text{C}$. Коэффициенты теплоотдачи соответственно равны α_1 и $\alpha_2 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Определить температуру стенки с внутренней и наружной стороны.

| № задания | Данные | Вариант | | | | | |
|-----------|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | $Q, \text{ Вт/м}^2$ | 55000 | 52000 | 51150 | 49800 | 49900 | 48400 |
| | $t_1, ^{\circ}\text{C}$ | 1150 | 1100 | 1174 | 1200 | 1210 | 1230 |
| | $t_2, ^{\circ}\text{C}$ | 75 | 85 | 82 | 80 | 76 | 74 |
| | $\alpha, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ | 5600 | 5730 | 5637 | 5650 | 5530 | 5480 |
| | $\delta, \text{ мм}$ | 12 | 11 | 13 | 12 | 11 | 12 |
| | $\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | 55 | 54 | 53 | 55 | 53 | 61 |
| 2 | $\delta_1, \text{ мм}$ | 50 | 40 | 60 | 30 | 60 | 45 |
| | $\delta_2, \text{ мм}$ | 270 | 380 | 250 | 510 | 250 | 380 |
| | $\lambda_1, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | 0,093 | 0,075 | 0,09 | 0,093 | 0,09 | 0,08 |
| | $\lambda_2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | 0,93 | 0,9 | 0,89 | 0,93 | 0,91 | 0,75 |
| | $t_1, ^{\circ}\text{C}$ | 18 | 20 | 17 | 20 | 16 | 18 |
| | $t_2, ^{\circ}\text{C}$ | -25 | -18 | -20 | -30 | -20 | -15 |
| | $\alpha_1, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ | 8 | 7 | 8 | 9,5 | 7,5 | 7 |
| | $\alpha_2, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ | 17,5 | 18 | 17 | 18 | 18,5 | 20,5 |

Методика решения:

Задача 1.

Плотность теплового потока через плоскую стенку бака, при температуре дымовых газов $t_1=1185^{\circ}\text{C}$ и температуре воды $t_2=85^{\circ}\text{C}$, составляет $Q = 57000 \text{ Вт/м}^2$. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды $\alpha=5500 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Определить коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи со стороны газов и температуры поверхностей стенки бака, если её толщина $\delta=11\text{мм}$, коэффициент теплопроводности металла $\lambda= 59 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Решение:

Из уравнения Ньютона

$$Q = \alpha \cdot (T_w - T_f) \cdot F$$

найдем температуру поверхности стенки бака со стороны воды для 1 м² поверхности

$$T_{w2} = \frac{Q}{\alpha} + T_2$$

$$T_{w2} = \frac{57000}{5500} + 85 = 95,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Из (2.67) } R_\lambda = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,011}{59} = 0,000186 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Из (2.65) } Q = \frac{\Delta T}{R_i} = \frac{T_{w1} - T_{w2}}{R_\lambda}$$

$$T_{w1} = Q \cdot R_\lambda + T_{w2}$$

$$T_{w1} = 57000 \cdot 0,000186 + 95,4 = 106^\circ\text{C}$$

$$\text{Из (2.72) } \alpha_1 = \frac{Q}{T_1 - T_{w1}}$$

$$\alpha_1 = \frac{57000}{1185 - 106} = 52,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$R_t = R_{\alpha_1} + R_\lambda + R_\alpha = \frac{1}{\alpha_1} + R_\lambda + \frac{1}{\alpha}$$

$$R_t = \frac{1}{52,8} + 0,000186 + \frac{1}{5500} = 0,0193 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$k = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,0193} = 51,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Ответ: $51,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; $52,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; 106°C ; $95,4 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Задача 2.

Определить тепловой поток через кирпичную стенку толщиной $\delta_2=250\text{мм}$, покрытую слоем штукатурки толщиной $\delta_1=50\text{ мм}$. Теплопроводность кирпича $\lambda_2=0,84\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а штукатурки $\lambda_1=0,08\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Температура воздуха внутри помещения $t_1=19^0\text{C}$ снаружи $t_2=-30^0\text{C}$. Коэффициенты теплоотдачи соответственно равны $\alpha_1=8\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ и $\alpha_2=16,5\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Определить температуру стенки с внутренней $t_{\text{св}}$ и наружной $t_{\text{сн}}$ стороны.

Решение:

$$R_t = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$$R_t = \frac{1}{16,5} + \frac{0,05}{0,08} + \frac{0,25}{0,84} + \frac{1}{8} = 1,1 \frac{\text{К} \cdot \text{м}^2}{\text{Вт}}$$

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_t}$$

$$q = \frac{19 - (-30)}{1,1} = 44,55 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q = \frac{t_{\text{CH}} - t_2}{\frac{1}{\alpha_2}} \Rightarrow t_{\text{CH}} = \frac{q}{\alpha_2} - t_2$$

$$t_2 = \frac{44,55}{16,5} + (-30) = -27,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = \frac{t_1 - t_{\text{CB}}}{\frac{1}{\alpha_1}} \Rightarrow t_{\text{CB}} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1}$$

$$q = 19 - \frac{44,55}{8} = 13,43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: $44,55 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; $13,43 \text{ } ^\circ\text{C}$; $-27,3 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Практическое занятие № 10

Определение расхода газа

Задача 1.

Определить расход газа по годовым нормам для обеспечения N человек, проживающих в квартирах с газовыми плитами и газовыми водонагревателями. Месторождение газа n (табл.).

Задача 2.

Определить расчетный расход газа микрорайоном города, потребители которого обеспечены газовыми плитами и имеют централизованное ГВС и отопление. Территория средней градостроительной ценности площадью F. Месторождение газа то же. Коэффициент часового максимума не учитывать.

| № зад | Данные | Варианты | | | | | |
|-------|---------|----------|-----|-----|-----|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | N, чел. | 100 | 150 | 250 | 400 | 1000 | 1000 |
| | n, п/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | F, га | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 |

Методика решения:

Определение расхода газа

Для бесперебойного обеспечения всех потребителей природным газом необходимо определить годовые и расчетные расходы газа на все виды потребления.

Годовые расходы газа используются для планирования количества газа, которое необходимо доставить проектируемому населенному пункту, а расчетные (максимально-часовые) - для определения диаметров газопроводов.

Годовые и расчетные расходы газа потребителями можно определить несколькими способами:

- 1) на основании данных проектов газоснабжения;
- 2) по номинальным расходам газа газовыми приборами;
- 3) по теплопроизводительности установок;
- 4) по нормам годового расхода потребителями;
- 5) по укрупненным показателям.

Для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения расход газа определяется по строительному объему отапливаемых и вентилируемых зданий (по укрупненным показателям).

Расходы газа сосредоточенными потребителями (более 50 м³/ч на ввод) необходимо определять отдельно для каждого потребителя. При равномерном распределении потребителей с расчетными расходами менее 50 м³/ч на ввод (жилые и общественные здания) расход газа определяется по жилым кварталам в целом.

Способ определения расхода газа по номинальным расходам газовыми приборами применяется в том случае, когда известны количество устанавливаемых приборов и их типы, т. е. при проектировании внутридомового газоснабжения, квартальных сетей промышленных предприятий. Номинальные расчетные расходы газа газовыми приборами и горелочными устройствами учитываются согласно паспортным данным заводоизготовителей. Пересчет номинальных расходов (кДж в м³) газа производится по формуле

$$V = \frac{q}{Q_H^q}$$

Если известна теплопроизводительность установки, то

$$V = \frac{Q}{\eta \cdot Q_H^q}$$

Расчетный расход несколькими приборами

$$V = \sum_{i=1}^m \left(K_0 \frac{q_i}{\eta \cdot Q_H^p} n_i \right)$$

где V - номинальный расход газа одним или несколькими приборами, м³/ч; n_i - количество однотипных приборов или групп приборов; m - число приборов или групп приборов; K_0 - коэффициент одновременности действия для однотипных приборов или группы приборов;

Q_H^p - низшая теплота сгорания газа, кДж/м³; Q - теплопроизводительность установки, кДж/ч; η - КПД установки; q_i - номинальная теплопроизводительность прибора, кДж/ч.

Примечание. Если номинальная мощность прибора дается в кВт, то ее нужно перевести в кДж, а для этого величину в кВт умножить на 3600.

Определение расхода газа по годовым нормам (Задача 1)

Способ определения расхода газа по годовым нормам применяется для равномерно распределенных потребителей, когда количество устанавливаемых приборов неизвестно.

Годовое потребление газа подсчитывается для определенных объектов, а затем суммируется по группам. Условно принято выделять расход газа:

- 1) населением в кварталах жилых домов для приготовления пищи и горячей воды;
- 2) предприятиями коммунального хозяйства и общественными зданиями (бани, больницы, механизированные прачечные, хлебозаводы, котельные);
- 3) на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий;
- 4) промышленностью.

Годовой расход, м³/год, определяется по формуле

$$V = \frac{q}{Q_H^p} N_i$$

где q - норма расхода газа на расчетную единицу, кДж/год; N_i - количество расчетных единиц потребления; Q_H^p - низшая теплота сгорания, кДж/м³.

Годовые нормы расхода газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды приведены в табл. 8 «Нормы расхода газа на коммунально-бытовые нужды.»

Количество расчетных единиц потребления N_i для существующих населенных мест принимается по данным горисполкома с учетом возможного их увеличения, для проектируемых - по данным проектов планировки и застройки. При отсутствии таких данных определение количества расчетных единиц потребления рассматривается в следующем пункте.

Определение расчетных расходов газа по годовым нормам потребления (Задача 2)

Потребление газа в квартирах, выраженное в тепловых единицах, определяется по формуле

$$Q_k = \frac{Y_k}{100} N \left(q_{k_1} \frac{Z_1}{100} + q_{k_2} \frac{Z_2}{100} + q_{k_3} \frac{Z_3}{100} \right)$$

где N - количество жителей района города, чел.; $q_{k_1}, q_{k_2}, q_{k_3}$ - соответственно нормы расхода тепла на приготовление пищи при наличии в квартире централизованного горячего водоснабжения, наличия или отсутствия водонагревателя, МДж; Y_k - процент охвата населения газоснабжением; Z_1 - доля людей, охваченных централизованным горячим водоснабжением; Z_2 - доля людей, имеющих в квартирах водонагреватели; Z_3 - доля людей, проживающих в квартирах без горячего водоснабжения и водонагревателей.

Значение N зависит от площади поселка и плотности населения:

$$N = Fa,$$

где F - площадь застройки, га; a - плотность населения, чел./га.

Величину плотности населения a территории жилого района рекомендуется принимать не менее приведенной в табл. «Значение плотности населения жилого района», а территории микрорайона - не менее приведенной в табл. «Значение плотности населения микрорайона».

Таблица

Значение плотности населения жилого района

| Зона различной степени градостроительной ценности территории | Плотность населения жилого района, чел./га, для групп городов с числом жителей, тыс.чел. | | | | | | |
|--|--|-------|--------|---------|---------|----------|------------|
| | До 20 | 20-50 | 50-100 | 100-250 | 250-500 | 500-1000 | Свыше 1000 |
| Высокая | 130 | 165 | 185 | 200 | 210 | 215 | 220 |
| Средняя | - | - | - | 180 | 185 | 200 | 210 |
| Низкая | 70 | 115 | 160 | 165 | 170 | 180 | 190 |

Таблица

Значение плотности населения микрорайона

| Зона различной степени градостроительной ценности территории | Плотность населения на территории микрорайона, чел/га, для климатических подрайонов | | |
|--|---|---|--|
| | ИБ и часть подрайонов IA, II, ID и IIA севернее 58° с.ш. | IV, IIB, и IIV севернее 58° с.ш. и часть подрайонов IA, II, ID и IIA южнее 58° с.ш. | Южнее 58° с.ш., кроме части подрайонов IA, II, ID и IIA входящих в данную зону |
| Высокое | 440 | 420 | 400 |
| Среднее | 370 | 350 | 330 |
| Низкая | 220 | 200 | 180 |

Примечание. В крупных и крупнейших городах при применении высокоплотной 2-, 3-, 4(5)-этажной жилой застройки расчетную плотность населения следует принимать не менее, чем для зоны средней градостроительной ценности; при застройке площадок, требующих проведения сложных мероприятий по инженерной подготовке территории, - не менее, чем для зоны высокой градостроительной ценности территории.

Расчетный расход газа районом города определяется по формуле

$$V_p = \frac{\sum Q_{\text{год}}}{Q_H^p} k_m$$

где k_m - коэффициент часового максимума, год/ч.

Коэффициент часового максимума определяется в зависимости от количества жителей методом интерполяции (табл. «Значение плотности населения микрорайона»).

Удельный расход газа, $\text{м}^3/(\text{год} \cdot \text{чел.})$, рассчитывается по формуле

$$V_{\text{уд}} = \frac{V_p}{N}$$

Расход газа на квартал определяется по формуле

$$V_i = V_{\text{уд}} \cdot N_i$$

где V_i - расход газа i -го квартала, $\text{м}^3/\text{ч}$; N - количество жителей i -го квартала, чел.

Таблица

Нормы расхода газа на коммунально-бытовые нужды.

| Потребители газа | Показатель потребления газа | Нормы расхода теплоты, МДж (тыс. ккал) |
|---|-----------------------------|--|
| 1. Население | | |
| При наличии в квартире газовой плиты и централизованного горячего водоснабжения при газоснабжении: природным газом СУГ | На 1 чел. в год | 4100 (970) |
| | То же | 3850 (920) |
| При наличии в квартире газовой плиты и газового водонагревателя (при отсутствии централизованного горячего водоснабжения) при газоснабжении: природным газом СУГ | » | 10000 (2400) |
| | » | 9400 (2250) |
| При наличии в квартире газовой плиты и отсутствии централизованного горячего водоснабжения и газового водонагревателя при газоснабжении: природным газом СУГ | » | 6000 (1430) |
| | » | 5800 (1380) |
| 2. Предприятия бытового обслуживания населения | | |
| Фабрики-прачечные: на стирку белья в механизированных прачечных на стирку белья в немеханизированных прачечных с сушильными шкафами на стирку белья в механизированных прачечных, включая сушку и глажение | На 1 т сухого белья | 8800 (2100) |
| | То же | 12600 (3000) |
| | » | 18800 (4500) |
| Дезкамеры: на дезинфекцию белья и одежды в паровых камерах на дезинфекцию белья и одежды в горячевоздушных камерах | » | 2240 (535) |
| | » | 1260 (300) |
| Бани: мытьё без ванн мытьё в ваннах | На 1 помывку | 40 (9,5) |
| | То же | 50 (12) |
| 3. Предприятия общественного питания | | |
| Столовые, рестораны, кафе: на приготовление обедов (вне зависимости от пропускной | На 1 обед | 4,2 (1) |

| | | |
|--|-----------------------------|--|
| Потребители газа | Показатель потребления газа | Нормы расхода теплоты, МДж (тыс. ккал) |
| способности предприятия) на приготовление завтраков или ужинов | На 1 завтрак или ужин | 2,1 (0,5) |
| 4. Учреждения здравоохранения | | |
| Больницы, родильные дома: на приготовление пищи на приготовление горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд и лечебных процедур (без стирки белья) | На 1 койку в год | 3200 (760) |
| | То же | 9200 (2200) |
| 5. Предприятия по производству хлеба и кондитерских изделий | | |
| Хлебозаводы, комбинаты, пекарни: на выпечку хлеба формового | На 1 т изделий | 2500 (600) |
| на выпечку хлеба подового, батонных, булок, сдобы | То же | 5450 (1300) |
| на выпечку кондитерских изделий (тортов, пирожных, печенья, пряников и т.п.) | » | 7750 (1850) |
| <i>Примечания:</i> | | |
| 1. Нормы расхода теплоты на жилые дома, приведенные в таблице, учитывают расход теплоты на стирку белья в домашних условиях. | | |
| 2. При применении газа для лабораторных нужд школ, вузов, техникумов и других специальных учебных заведений норму расхода теплоты следует принимать в размере 50 МДж (12 тыс. ккал) в год на одного учащегося. | | |

Таблица

Средние составы и характеристики природных газов некоторых месторождений

| №, п/п | Месторождение газа | Админ. район | Состав газа, % | | | | | | | | | ρ , кг/м ³ | Теплота сгорания, кДж/м ³ | |
|--------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|------|--------|----------------------------|--------------------------------------|--|
| | | | CH ₄ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | C ₄ H ₁₀ | C ₅ H ₁₂ | CO ₂ | H ₂ S | азот | высшая | | низшая | |
| 1 | Степановское | Сарат. обл. | 95,1 | 2,3 | 0,7 | 0,4 | 0,8 | 0,2 | нет | 0,5 | 0,772 | 41886,8 | 37821,9 | |
| 2 | Ленинградское | Краснодарск. край | 86,9 | 6,0 | 1,6 | 1,0 | 0,5 | 1,2 | нет | 2,8 | 0,883 | 42408,9 | 38364,0 | |
| 3 | Северо-ставропольское | Ставроп. край | 98,7 | 0,33 | 0,12 | 0,04 | 0,01 | 0,1 | нет | 0,7 | 0,727 | 39615,0 | 35695,2 | |
| 4 | Медвежье | Тюменск. обл. | 99,0 | 0,1 | 0,005 | нет | нет | 0,095 | нет | 0,8 | 0,723 | 39061,4 | 35128,1 | |
| 5 | Оренбургское | Оренбург. обл. | 85,0 | 4,9 | 1,6 | 0,75 | 0,55 | 0,6 | 1,3 | 5,0 | 0,840 | 40670,7 | 36664,7 | |
| 6 | Угерское | Украина | 98,3 | 0,45 | 0,25 | 0,3 | нет | 0,1 | нет | 0,6 | 0,732 | 39990,0 | 36070,0 | |

Практическое занятие № 11

Местные сопротивления. Подбор оборудования для ГРП

Задача 1.

Подобрать оборудование для ГРП производительностью 980 м³/ч при избыточном давлении на входе 95 кПа и давлении на выходе 3 кПа. Плотность газа, 0,73 кг/м³, температура газа T = 276 К. (Рис.8)

| № задания | Данные | Варианты | | | | | |
|-----------|----------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Q, м ³ /ч | 850 | 700 | 900 | 800 | 750 | 950 |
| 2 | P ₁ , кПа | 70 | 85 | 80 | 75 | 70 | 80 |

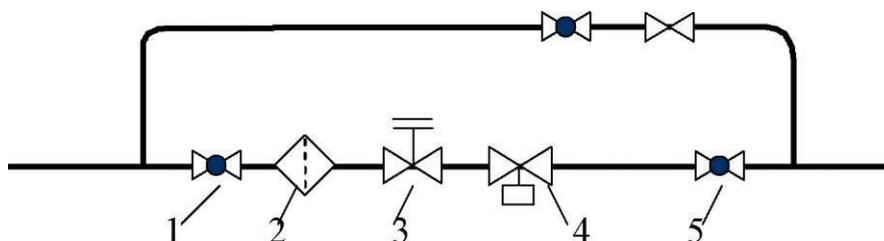


Рис.8. Расчетная схема ГРП:

1,5 – кран; 2 – фильтр; 3 – запорный клапан; 4 – регулятор давления.

Методика решения:

Задача 1.

Подобрать оборудование для ГРП производительностью 980 м³/ч при избыточном давлении на входе 95 кПа и давлении на выходе 3 кПа. Плотность газа 0,73 кг/м³, температура газа T = 276 К.

Решение.

Предварительно задаемся потерями в газопроводах ГРП, кранах 1,5, предохранительном запорном клапане 3 и фильтре 2 (рис. Расчетная схема ГРП) в размере 4 кПа. В этом случае перепад давления на клапане регулятора 4 давления будет равен

$$\Delta P = 95 - 4 - 3 = 88 \text{ кПа.}$$

Абсолютное давление газа на входе и выходе регулятора давления (РД)

$$P_1 = P_{и} + P_a = 95 + 100 = 195 \text{ кПа,}$$

$$P_2 = 3 + 100 = 103 \text{ кПа}$$

Режим течения газа через клапан РД

$$\Delta P/P_1 = 88/195 = 0,45 < 0,5,$$

что говорит о докритическом течении газа через РД.

По полученному значению $\Delta P/P_1=0,45$ из графика (рис.8) находим значение поправки на изменение плотности газа $\varepsilon=0,77$ при коэффициенте адиабаты для природного газа $k = 1,3$.

Определяем коэффициент пропускной способности РД

$$k_V = \frac{Q}{5260 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho \cdot T_1 \cdot z_1}}} = \frac{980}{5260 \cdot 0,77 \cdot \sqrt{\frac{0,088 \cdot 0,195}{0,73 \cdot 276 \cdot 1}}} = 26,2$$

где ε – коэффициент, учитывающий изменение плотности газа при движении через дроссельный орган; зависит от отношения $\Delta P/P_1$ и показателя адиабаты (рис.8);

ΔP – перепад давления на регуляторе, МПа;

P_1, T_1 – давление и температура газа перед регулятором, МПа, К;

ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³

z_1 – коэффициент сжимаемости газа при условиях входа в регулятор давления;

Q – пропускная способность ГРС, м³/ч.

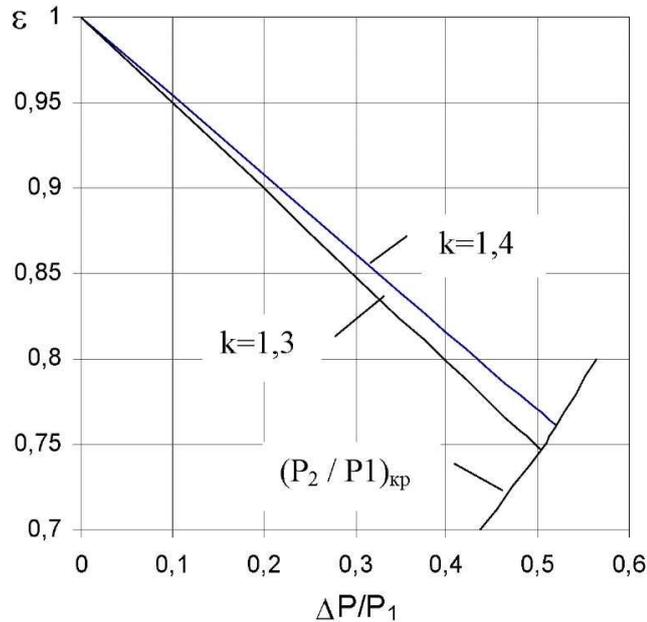


Рис.8. График зависимости коэффициента изменения плотности газа от относительного изменения давления и показателя адиабаты для природного газа.

По таблице 10 подбираем регулятор давления с коэффициентом пропускной способности близким к расчетному $k_V = 26,2$. Для $k_V = 27$ соответствует регулятор давления РДУК 2-50/35.

Определяем запас его пропускной способности

$$Q = 5260 \cdot \varepsilon \cdot k_V \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho \cdot T_1 \cdot z_1}} = 5260 \cdot 0,77 \cdot 27 \cdot \sqrt{\frac{0,088 \cdot 0,195}{0,73 \cdot 276 \cdot 1}} = 1009 \text{ м}^3/\text{ч},$$

т.е. пропускная способность несколько больше необходимой, что удовлетворяет требованиям.

Для очистки газа примем к установке волосяной фильтр с $D = 50$ мм. Его пропускная способность при абсолютном давлении на входе $P_1^T = 0,7$ МПа, перепаде давления $\Delta P^T = 5$ кПа и плотности газа $\rho^T = 0,73$ кг/м³ составит $Q^T = 6000$ м³/ч.

При перепаде давления на фильтре 5000 Па, избыточном давлении перед ним 0,6 МПа и плотности газа 0,73 кг/м³ пропускная способность его в зависимости от диаметра при нормальных условиях составляет:

1) $D_y = 50$ мм $Q = 6000$ м³/ч;

2) $Dy = 100$ мм $Q = 14750$ м³/ч;

3) $Dy = 200$ мм $Q = 38600$ м³/ч;

Таблица

Коэффициент пропускной способности k_V регуляторов давления

| Тип регулятора | Коэффициент k_V | Тип регулятора | Коэффициент k_V |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| РД-20-5 | 0,52 | РД-50М-15 | 5,8 |
| РД-25-6,5 | 0,9 | РД-50М-11 | 3,3 |
| РД-32-5 | 0,52 | РД-50М-8 | 1,7 |
| РД-32-6,5 | 0,9 | РДУК-2-50/35 | 27 |
| РД-32-9,5 | 1,9 | РДУК-2-100/50 | 38 |
| РД-50-13 | 3,7 | РДУК-2-100/70 | 108 |
| РД-50-19 | 7,9 | РДУК-2-200/105 | 200 |
| РД-50-25 | 13,7 | РДУК-2-200/140 | 300 |
| РД-32-М-10 | 1,4 | РД-50-64 | 22 |
| Р-32М-6 | 0,8 | РД-80-64 | 66 |
| РД-32М-4 | 0,52 | РД-100-64 | 110 |
| РД-50М-25 | 11 | РД-150-64 | 314 |
| РД-50М-25 | 9 | РД-200-64 | 424 |

Потери давления на фильтре при заданной пропускной способности ГРП

$$\Delta P_{\phi} = \Delta P^T \cdot \left(\frac{Q}{Q^T}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{\rho^T} \cdot \frac{P_2^T}{P_2} = 5 \cdot \left(\frac{980}{6000}\right)^2 \cdot \frac{0,73}{0,73} \cdot \frac{0,695}{0,195} = 0,475 \text{ кПа,}$$

где $P_2 = 195$ кПа - давление на выходе из фильтра или давление на входе в РД.

Скорость движения газа в линиях редуцирования

а) до регулятора давления

$$w_1 = \frac{4 \cdot Q \cdot P_a}{3600 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_1} = \frac{4 \cdot 980 \cdot 0,1}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,195} = 71 \text{ м/с}$$

б) после регулятора давления

$$w_2 = \frac{4 \cdot Q \cdot P_a}{3600 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_2} = \frac{4 \cdot 980 \cdot 0,1}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,103} = 134 \text{ м/с}$$

где D - внутренний диаметр трубопровода.

Полученные скорости высоки, т.к. при движении газа по трубам они вызывают большой шум, что недопустимо при эксплуатации. Для снижения скорости и уменьшения шума примем диаметры трубопроводов до и после регулятора давления равными 125 мм, тогда скорости составят $w_1 = 11$ м/с и $w_2 = 21,5$ м/с.

Определяем потери давления в кранах, местных сопротивлениях и в клапане ПЗК линии редуцирования.

Принимаем нижеследующие значения коэффициентов местных сопротивлений (табл.).

Таблица

Значения коэффициентов местных сопротивлений

| Сопротивления | До регулятора | После регулятора |
|-----------------------|---------------|------------------|
| Кран ($\epsilon=2$) | 2 | 2 |
| ПЗК ($\epsilon=5$) | 5 | - |

| | | |
|-----------------------|------|------|
| Переход на D = 125 мм | 0,55 | 0,55 |
| Итого | 7,55 | 2,55 |

Гидравлические потери составляют:

а) до регулятора давления

$$\Delta P_{1\text{мс}} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \cdot \frac{P_1}{P_a} = 7,55 \cdot \frac{11^2}{2} \cdot 0,73 \cdot \frac{0,195}{0,1} = 650 \text{ Па};$$

б) после регулятора давления

$$\Delta P_{2\text{мс}} = 2,55 \cdot \frac{21,5}{2} \cdot 0,73 \cdot \frac{0,103}{0,1} = 443 \text{ Па}$$

Суммарные потери давления в линии редуцирования составят:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ф}} + \Delta P_{1\text{мс}} + \Delta P_{2\text{мс}} = 475 + 650 + 443 = 1568 \text{ Па}$$

Эта величина меньше предварительно принятой 4 кПа, что приводит к увеличению запаса пропускной способности регулятора давления.

Практическое занятие № 12

Расчет внутридомового газопровода

Задача 1.

Рассчитать газовую сеть пятиэтажного жилого дома. Квартиры оборудованы четырех- и двухконфорочными плитами и проточными водонагревателями. (Рис. 9)

Удельные расходы газовых приборов:

плита четырехконфорочная (П4) – 1,2 м³/ч;

плита двухконфорочная (П2) – 0,8 м³/ч;

газовый проточный водонагреватель (ГК) - 2,7 м³/ч.

| № зад | Данные | Варианты | | | | | |
|-------|----------|----------|-----|------|-----|------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1-2, м | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,1 | 2,0 | 1,9 |
| | 2-3, м | 0,3 | 0,2 | 0,35 | 0,3 | 0,25 | 0,2 |
| | 3-4, м | 3 | 3,2 | 3,3 | 3 | 3,2 | 3,3 |
| | 7-8, м | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 |
| | 8-9, м | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| | 9-10, м | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| | 10-11, м | 3,5 | 3 | 4 | 4 | 3,5 | 5 |

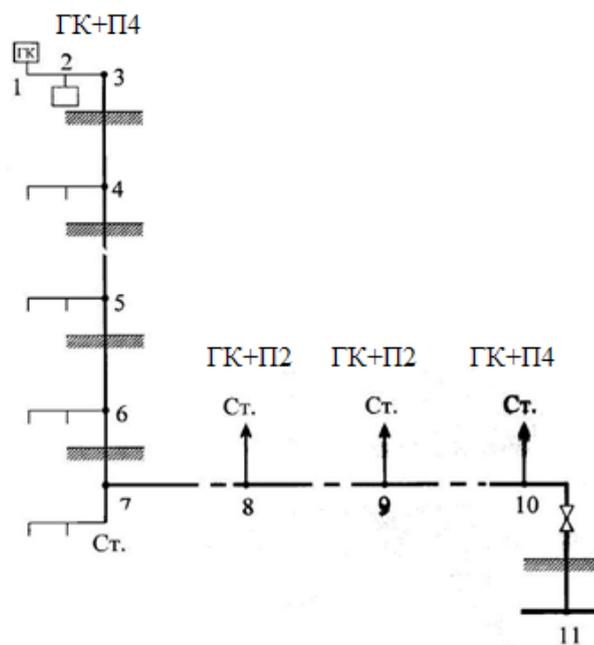


Рис.9. Расчетная схема внутридомовой газовой сети.

Контрольные вопросы и задания:

1. Найти в интернете программу для расчета данной задачи и сравнить результаты с полученными вручную.

Методика решения:

Задача 1.

Рассчитать газовую сеть пятиэтажного жилого дома. Квартиры оборудованы четырех- и двухконфорочными плитами и проточными водонагревателями.

Решение.

Внутридомовая газовая сеть (рис. 10) жилого дома состоит из четырех стояков, геометрические размеры которых известны. Ассортимент приборов, установленных в квартирах, условно обозначен: П4 - плита четырехконфорочная; П2 - плита двухконфорочная; ГК - газовый проточный водонагреватель.

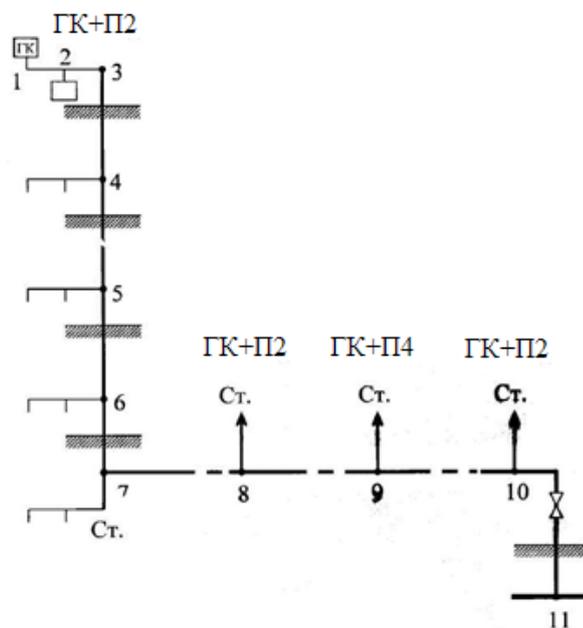


Рис.10. Расчетная схема внутридомовой газовой сети.

Расчет начинаем от самого верхнего и самого дальнего прибора в здании для стояка (Ст.1). На расчетной схеме проставлены номера узловых точек и указаны номера стояков.

Если в квартирах установлены различные приборы, то каждый такой ассортимент указывается отдельно (участки 9-10 и 10-11).

Определяются расчетные расходы газа по участкам внутридомовой сети и заносятся в таблицу «Расчетные расходы газа». Значение коэффициента одновременности K_{sim} определяется в зависимости от ассортимента установленных приборов (табл).

Таблица

Расчетные расходы газа

| Номер участка | Ассортимент приборов | Кол-во квартир, п | Коэффициент одновременности, K_{sim} | Расход газа, м ³ /ч | |
|---------------|----------------------|-------------------|--|--------------------------------|------------------|
| | | | | На все квартиры | Расчетный, Q_p |
| 1-2 | ГК | - | 1 | 2,70 | 2,70 |
| 2-3 | П2+ГК | 1 | 0,750 | 2,62 | 2,62 |
| 3-4 | П2+ГК | 1 | 0,750 | 2,62 | 2,62 |
| 4-5 | П2+ГК | 2 | 0,640 | 4,48 | 4,48 |
| 5-6 | П2+ГК | 3 | 0,520 | 5,46 | 5,46 |
| 6-7 | П2+ГК | 4 | 0,390 | 5,46 | 5,46 |
| 7-8 | П2+ГК | 5 | 0,375 | 6,56 | 6,56 |
| 8-9 | П2+ГК | 10 | 0,315 | 11,02 | 11,02 |
| 9-10 | П2+ГК | 10 | 0,275 | 9,62 | 15,47 |
| | П4+ГК | 5 | | | |
| 10-11 | П2+ГК | 15 | 0,260 | 13,65 | 19,11 |
| | П4+ГК | 5 | | | |

Значение коэффициента одновременности K_{sim} для жилых домов

| Число квартир | Коэффициент одновременности K_{sim} в зависимости от установки в жилых домах газового оборудования | | | |
|---------------|--|---------------------|---|---|
| | Плита 4-конфорочная | Плита 2-конфорочная | Плита 4-конфорочная и газовый проточный водонагреватель | Плита 2-конфорочная и газовый проточный водонагреватель |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 1 | 1 | 0,700 | 0,750 |
| 2 | 0,650 | 0,840 | 0,560 | 0,640 |
| 3 | 0,450 | 0,730 | 0,480 | 0,520 |
| 4 | 0,350 | 0,590 | 0,430 | 0,390 |
| 5 | 0,290 | 0,480 | 0,400 | 0,375 |
| 6 | 0,280 | 0,410 | 0,392 | 0,360 |
| 7 | 0,270 | 0,360 | 0,370 | 0,345 |
| 8 | 0,265 | 0,320 | 0,360 | 0,335 |
| 9 | 0,258 | 0,289 | 0,345 | 0,320 |
| 10 | 0,254 | 0,263 | 0,340 | 0,315 |
| 15 | 0,240 | 0,242 | 0,300 | 0,275 |
| 20 | 0,235 | 0,230 | 0,280 | 0,260 |
| 30 | 0,231 | 0,218 | 0,250 | 0,235 |
| 40 | 0,227 | 0,213 | 0,230 | 0,205 |
| 50 | 0,223 | 0,210 | 0,215 | 0,193 |
| 60 | 0,220 | 0,207 | 0,203 | 0,186 |
| 70 | 0,217 | 0,205 | 0,195 | 0,180 |
| 80 | 0,214 | 0,204 | 0,192 | 0,175 |
| 90 | 0,212 | 0,203 | 0,187 | 0,171 |
| 100 | 0,210 | 0,202 | 0,185 | 0,163 |
| 400 | 0,180 | 0,170 | 0,150 | 0,135 |

Так как участок 9-10 питает 10 квартир с ассортиментом П2 + ГК и 5 квартир с ассортиментом П4 + ГК, коэффициент одновременности принимается для каждой группы квартир отдельно, но по суммарному количеству квартир - по 15 для каждой группы.

Расчетный расход газа на участке 1-2 равен

$$Q_p = q \cdot K_{sim} \cdot 2,7 \cdot 1 \cdot 1 = 2,7 \text{ м}^3/\text{ч},$$

Где $q=2,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ - часовое потребление газа водонагревателем.

Расчетный расход газа на участке 2-3 и 3-4, питающем одну квартиру с ассортиментом П2 + ГК

$$Q_p = (q_n + q_{ГК}) \cdot K_{sim} \cdot n = (0,8 + 2,7) \cdot 0,75 \cdot 1 = 2,62 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Участок 4-5 питает газом две квартиры с ассортиментом П2 + ГК, тогда расчетный расход на участке

$$Q_p = (0,8 + 2,7) \cdot 0,64 \cdot 2 = 4,48 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Аналогично определяются расчетные расходы на участках 5-6, 6-7, 7-8, 8-9 и заносятся в таблицу 12.

Участки 9-10 и 10-11 питают квартиры с приборами двух ассортиментов. Поэтому расход газа для 10 квартир с ассортиментом П2 + ГК

$$Q_{p1} = (0,8 + 2,7) \cdot 0,275 \cdot 10 = 9,62 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для 5 квартир с ассортиментом П4 + ГК

$$Q_{p2} = (1,2 + 2,7) \cdot 0,3 \cdot 5 = 5,85 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где K_{sim} в обоих случаях принят для 15 квартир, но при разном ассортименте приборов в квартирах.

Суммарный расход на участке 9-10 составляет

$$Q_p = 9,62 + 5,85 = 15,47 \text{ м}^3/\text{ч},$$

На участке 10-11 соответственно

$$Q_{p1} = (0,8 + 2,7) \cdot 0,26 \cdot 15 = 13,65 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{p2} = (1,2 + 2,7) \cdot 0,28 \cdot 5 = 5,46 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_p = 13,65 + 5,46 = 19,11 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определив все расчетные расходы по участкам внутридомовой газовой сети, переходим к гидравлическому расчету газопровода (табл.).

Таблица

Гидравлический расчет внутридомового газопровода

| № участка | Q_p , $\text{м}^3/\text{ч}$ | L_r , м | α , % | L_p , м | D , мм | $\Delta P/L$, Па/м | ΔP_p , Па | P_Γ , Па | $\Delta P_p + P_\Gamma$, Па |
|-----------|----------------------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1-2 | 2,70 | 1,50 | 450 | 8,25 | 25 | 4,37 | 36,05 | 0 | 36,05 |
| 2-4 | 2,62 | 3,15 | 20 | 3,78 | 25 | 4,00 | 15,12 | -16,29 | -1,17 |
| 4-5 | 4,48 | 3,00 | 20 | 3,60 | 25 | 10,80 | 38,88 | -16,57 | 22,31 |
| 5-6 | 5,46 | 3,00 | 20 | 3,60 | 25 | 17,00 | 61,20 | -16,57 | 44,63 |
| 6-7 | 5,46 | 3,00 | 20 | 3,60 | 25 | 17,00 | 61,20 | -16,57 | 44,63 |
| 7-8 | 6,56 | 12,50 | 25 | 15,62 | 38 | 2,12 | 33,11 | 0 | 33,11 |
| 8-9 | 11,02 | 5,00 | 25 | 6,25 | 38 | 5,58 | 34,87 | 0 | 34,87 |
| 9-10 | 15,47 | 2,00 | 25 | 2,50 | 45 | 4,75 | 11,87 | 0 | 11,87 |
| 10-11 | 19,11 | 8,00 | 25 | 10,00 | 57 | 1,81 | 18,10 | -17,67 | 0,43 |
| Итого | | | | 57,20 | | | 310,4 | -83,67 | 226,73 |

Примечание: колонки D , мм и $\Delta P/L$, Па/м заполняются с помощью номограммы (приложение 4).

На дворовые и внутренние газопроводы расчетные потери давления составляют 600 Па. Примем на внутридомовую сеть 250 Па. Длина участков сети известна, т.к. для этого расчета необходимы чертежи газифицируемого здания. При расчете внутренних газопроводов жилых домов учитываются потери на местные сопротивления (табл.).

Надбавки на местные сопротивления при расчете внутренних газопроводов низкого давления для жилых домов

| № | Тип местного сопротивления | a , % от линейных потерь |
|---|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | На газопроводах от ввода в здание: | |
| | - до стояка - на стояках | 25 20 |
| 2 | На внутриквартирной разводке: | |
| | - при длине разводки 1...2м | 450 |
| | - при длине разводки 3...4м | 300 |
| | - при длине разводки 5...7м | 120 |
| | - при длине разводки 8...12м | 50 |

Например, расчетная длина участка 1-2 равна

$$l_p = l_{\Gamma} \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right) = 1,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) = 8,25 \text{ м,}$$

для участка 2-4

$$l_p = 3,15 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 3,78 \text{ м}$$

и т.д., где a - процентная надбавка на местное сопротивление.

Суммарная расчетная длина от точки питания 11 до самой дальней точки 1 равна 57,2 м.

Среднее удельное падение давления составляет

$$\frac{\sum P}{\sum l_p} = \frac{250}{57,2} = 4,37 \text{ Па/м}$$

Зная расход на участках и среднее удельное падение давления, по номограмме определяем диаметры участков. На участках 1-2 и 2-3 диаметры газопроводов не должны быть меньше присоединительных диаметров и приборов.

На вертикальных участках 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 10-11 внутридомового газопровода определяются гидростатические давления.

На участке 3-4 гидростатическое давление

$$\Delta P_{\Gamma} = z \cdot g \cdot (1,293 - \rho_r) = 2,95 \cdot 9,81 \cdot (1,293 - 0,73) = 16,29 \text{ Па;}$$

на участке 10-11

$$\Delta P_{\Gamma} = 3,2 - 9,81 - (1,293 - 0,73) = 11,67 \text{ Па,}$$

где z - разность абсолютных отметок начальных и конечных точек участка газопровода;

ρ_r - плотность газа.

Для горизонтальных участков $\Delta P_{\Gamma} = 0$.

Суммарная величина падения давления на всех последовательно соединенных участках от точки 11 до точки 1 составляет 226,73 Па, что не превышает предварительно принятого значения.

Практическое занятие № 13
Гидравлический расчет тупиковой сети
(низкого давления)

Задача 1.

Определить расчетные расходы газа и диаметры газопроводов на участках сети, используя исходные данные.

Жилой поселок однородной застройки снабжается природным газом ($\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) в количестве $Q \text{ м}^3/\text{ч}$. Подача газа в распределительную газовую сеть осуществляется из ГРП под давлением 300 даПа, длины участков даны (рис. 11).

| № задания | Данные | Варианты | | | | | |
|-----------|--------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | $Q \text{ м}^3/\text{ч}$ | 500 | 650 | 520 | 600 | 700 | 550 |
| 2 | 1-2, м | 300 | 250 | 320 | 350 | 220 | 270 |
| 3 | 2-3, м | 200 | 250 | 300 | 270 | 200 | 300 |
| 4 | 3-4, м | 220 | 350 | 350 | 300 | 250 | 250 |
| 5 | 2-5, м | 180 | 160 | 160 | 200 | 180 | 200 |
| 6 | 3-6, м | 210 | 270 | 300 | 250 | 300 | 250 |

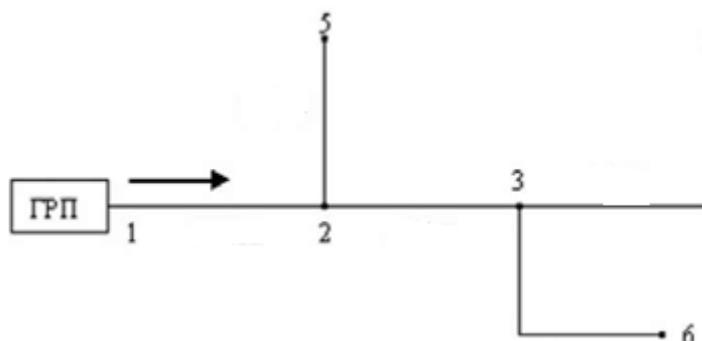


Рис.11. Схема разветвленной тупиковой сети

Методика решения:

Задача 1.

Определить расчетные расходы газа и диаметры газопроводов на участках сети, используя исходные данные.

Жилой поселок однородной застройки снабжается природным газом ($\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) в количестве $750 \text{ м}^3/\text{ч}$. Подача газа в распределительную газовую сеть осуществляется из ГРП под давлением 300 даПа (рис.12).

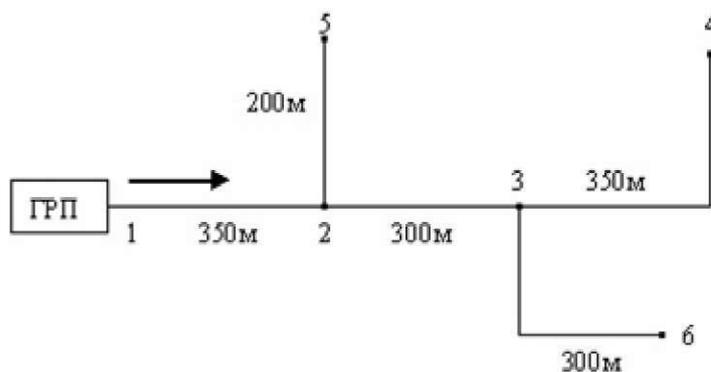


Рис.12. Схема разветвленной тупиковой сети

Решение.

Удельный расход газа в сети

$$V_{удл} = \frac{V_{р.ч}}{\sum l_i} = \frac{750}{350 + 300 + 350 + 200 + 300} = 0,5 \frac{м^3}{ч \cdot м}$$

Путевые расходы газа:

$$V_{п 1-2} = l_{1-2} V_{удл} = 350 \cdot 0,5 = 175 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{п 2-3} = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{п 3-4} = 350 \cdot 0,5 = 175 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{п 3-6} = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{п 2-5} = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Сумма путевых расходов газа составляет 750 м³/ч. Расчетные расходы газа на участках сети:

$$V_{р 3-4} = V_T + 0,5 V_n = 0,5 \cdot 175 = 87,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{р 3-6} = 0,5 \cdot 150 = 75 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{р 2-5} = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$$

На участке 2-3, кроме путевого, имеется транзитный расход:

$$V_{Т 2-3} = V_{п 3-6} + V_{п 3-4} = 175 + 150 = 325 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{р 2-3} = 325 + 0,5 \cdot 150 = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{Т 1-2} = 150 + 175 + 100 + 150 = 575 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$V_{р 1-2} = 575 + 0,5 \cdot 175 = 662,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Результаты вычислений путевых и расчетных расходов сводим в табл.

Таблица

| Расход, м ³ /ч | Путевые и расчетные расходы газа | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----|------|-----|-----|
| | Участки | | | | |
| | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 2-5 | 3-6 |
| Путевой | 175 | 150 | 175 | 100 | 150 |
| Расчетный | 662,5 | 400 | 87,5 | 50 | 75 |

Определяя среднюю удельную потерю давления на основной магистрали сети от ГРП до точки 4 (1-2-3-4), принимаем общее падение давления на этой магистрали $H = 120$ даПа. Отнесем 10% этого падения давления за счет потерь в местных сопротивлениях. Тогда потери давления на трение

$$H_{тр} = 120 - 0,1 \cdot 120 = 108 \text{ даПа}$$

Средняя удельная потеря давления на трение

$$\Delta p_{тр} = H_{тр} / (l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4}) = \frac{108}{350 + 300 + 350} = 0,11 \text{ даПа/м}$$

Далее расчет ведем в табличной форме (табл.).

Таблица

Таблица гидравлического расчета

| Участок | Длина участка $l, \text{м}$ | Расчетный расход $V_p, \text{м}^3/\text{ч}$ | Диаметр $d_{у, \text{мм}}$ | Удельные потери давления на участке $h/l, \text{даПа/м}$ | Потери давления на участке $H_{ТР}, \text{даПа}$ |
|---------|-----------------------------|---|----------------------------|--|--|
| 1-2 | 350 | 662,5 | 200 | 0,12 | 42 |
| 2-3 | 300 | 400 | 150 | 0,11 | 33 |
| 3-4 | 350 | 87,5 | 100 | 0,095 | 33,3 |
| | | | | | $\Sigma H_{ТР} = 108,3$ |

Практическое занятие № 14

Расчет вентиляционного канала, решетки

Задача 1.

Расчитать вентиляционные каналы вытяжной и приточной вентиляции кухни, при скорости движения воздуха 1 м/с , размерах помещения $a \cdot b \cdot c \text{ м}^3$, и мощности котла $N \text{ кВт}$.

| № задания | Данные | Вариант | | | | | |
|-----------|--------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | a, м | 3 | 3,5 | 2,5 | 2,8 | 4 | 3,8 |
| 2 | b, м | 3 | 3,1 | 3,2 | 2,8 | 3,5 | 4 |
| 3 | c, м | 2,5 | 3 | 2,9 | 3,2 | 2,8 | 2,6 |
| 4 | N, кВт | 18 | 16 | 12 | 16 | 18 | 24 |

Методика решения:

Задача 1.

Расчитать вентиляционные каналы вытяжной и приточной вентиляции кухни, при скорости движения воздуха 1 м/с , объеме помещения $64,19 \text{ м}^3$, и мощности котла 19 кВт .

Решение:

Расчет сечения вентиляционного канала помещения кухни из условия трехкратного воздухообмена помещения кухни:

$$V = V_{\text{кухни}} \cdot 3 = 64,19 \cdot 3 = 192,57 \text{ м}^3$$

Расчетная площадь вытяжного вентканала:

$F = V / (3600 \cdot v)$, где v – скорость воздуха в вентиляционном канале

$$F = 192,6 : 3600 \cdot 1 = 0,056 \text{ м}^2$$

Согласно проверочного расчета существующие вентиляционные каналы (два канала д.300 мм) обеспечат трехкратный воздухообмен помещения кухни.

Расчет решетки для притока воздуха в помещении кухни:

Площадь сечения решетки для притока воздуха в помещении кухни рассчитываем по формуле:

$F = V / (3600 \cdot v_p)$, где $v_p = 1$ м/с – скорость воздуха в решетке.

Рассчитываем максимальный расход газа:

$$V = \frac{(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_i) \cdot 860}{\frac{Q_H^p \cdot 1000}{4,187} \cdot \eta}$$

где N_1, N_2, N_3, N_i – мощность устанавливаемого прибора (кВт),

860 – переводной коэффициент из кВт в ккал/час,

Q_H^p – удельная теплота сгорания газа в МДж, (метан 35,9 МДж/ м³),

η – ориентировочный КПД газового прибора (около 0,9).

$$V_{\text{газа}} = \frac{16 \cdot 2 \cdot 860}{35,9 \cdot 1000} \cdot 0,92 = \frac{27520}{7888} = 3,5 \text{ м}^3/\text{час}$$

Объем воздуха, необходимый для горения газа равен:

$$V_{\text{воздуха}} = 3,5 \cdot 9,5 \cdot 1,2 = 39,9 \text{ м}^3$$

Объем воздуха, поступающего в кухню:

$$V = 192,57 + 39,9 = 232,5 \text{ м}^3$$

Площадь сечения приточной решетки кухни будет равна:

$$F = \frac{232,5}{(3600 \cdot 1)} = 0,064 \text{ м}^2$$

Так как $F = \frac{\pi d^2}{4}$, то $d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,064}{3,14}} = 0,29$ (м), т.е. диаметр решетки 30 см

Или $F = a^2$, следовательно $a = \sqrt{F} = \sqrt{0,064} = 0,25$ (м), т.е. решетка со сторонами 25x25 см.

Относительная молекулярная масса и плотность некоторых газов при нормальных физических условиях

| Наименование газа | Химическая формула | Относительная молекулярная масса μ , кг/кмоль | | Плотность ρ_n , кг/м ³ |
|-------------------|--|---|----------------------|--|
| | | точное значение | округленное значение | |
| Водород | H ₂ | 2,01594 | 2 | 0,0899 |
| Метан | CH ₄ | 16,04318 | 16 | 0,7168 |
| Аммиак | NH ₃ | 17,03061 | 17 | 0,6614 |
| Азот | N ₂ | 28,0134 | 28 | 1,2505 |
| Воздух | 21% O ₂ +79% N ₂ | 28,96 | 29 | 1,2928 |
| Кислород | O ₂ | 31,9988 | 32 | 1,4290 |
| Углекислый газ | CO ₂ | 44,0079 | 44 | 1,9770 |
| Окись углерода | CO | 28,01055 | 28 | 1,2500 |
| Сернистый газ | SO ₂ | 64,0628 | 64 | 2,9263 |
| Гелий | He | 4,003 | 4 | 0,179 |
| Аргон | Ar | 39,94 | 40 | 1,784 |

Удельные газовые постоянные некоторых газов и водяного пара

| Наименование газа | Химическая формула | Удельная газовая постоянная R_0 , Дж/(кг/К) |
|-------------------|--|---|
| Водород | H ₂ | 4124,30 |
| Метан | CH ₄ | 518,25 |
| Аммиак | NH ₃ | 488,20 |
| Азот | N ₂ | 296,80 |
| Воздух | 21% O ₂ +79% N ₂ | 287,10 |
| Кислород | O ₂ | 259,80 |
| Углекислый газ | CO ₂ | 188,90 |
| Окись углерода | CO | 296,80 |
| Сернистый газ | SO ₂ | 129,8 |
| Водяной пар | H ₂ O | 461,50 |

Таблицы истинных удельных теплоемкостей некоторых газов и водяного пара

Истинные удельные теплоемкости воздуха и азота

| Воздух ($M_r = 28,970$) | | | | Азот (N_2) ($M_r = 28,013$) | | | |
|---------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| $t, ^\circ C$ | $c_p,$ кДж/(кг·К) | $c_v,$ кДж/(кг·К) | $k = c_p / c_v$ | $t, ^\circ C$ | $c_p,$ кДж/(кг·К) | $c_v,$ кДж/(кг·К) | $k = c_p / c_v$ |
| -50 | 1,019 | 0,7147 | 1,402 | -50 | 1,0387 | 0,7419 | 1,400 |
| 0 | 1,0032 | 0,4159 | 1,401 | 0 | 1,0387 | 0,7419 | 1,400 |
| 50 | 1,0057 | 0,7184 | 1,399 | 50 | 1,0400 | 0,7432 | 1,399 |
| 100 | 1,0098 | 0,7226 | 1,397 | 100 | 1,0421 | 0,7444 | 1,399 |
| 200 | 1,0241 | 0,7369 | 1,389 | 200 | 1,0517 | 0,7549 | 1,393 |
| 300 | 1,0446 | 0,7574 | 1,379 | 300 | 1,0693 | 0,7725 | 1,384 |
| 400 | 1,0680 | 0,7808 | 1,368 | 400 | 1,0911 | 0,7942 | 1,374 |
| 500 | 1,0919 | 0,8047 | 1,357 | 500 | 1,1158 | 0,8189 | 1,362 |
| 600 | 1,1149 | 0,8277 | 1,347 | 600 | 1,1396 | 0,8428 | 1,352 |
| 700 | 1,1355 | 0,8487 | 1,338 | 700 | 1,1618 | 0,8633 | 1,344 |
| 800 | 1,1547 | 0,8675 | 1,331 | 800 | 1,1824 | 0,8855 | 1,335 |
| 900 | 1,1706 | 0,8834 | 1,325 | 900 | 1,1999 | 0,9031 | 1,329 |
| 1000 | 1,1844 | 0,8972 | 1,320 | 1000 | 1,2154 | 0,9186 | 1,323 |
| 1100 | 1,1970 | 0,9098 | 1,315 | 1100 | 1,2292 | 0,9324 | 1,318 |
| 1200 | 1,2079 | 0,9207 | 1,312 | 1200 | 1,2414 | 0,9445 | 1,314 |
| 1300 | 1,2179 | 0,9307 | 1,308 | 1300 | 1,2518 | 0,9550 | 1,311 |
| 1400 | 1,2267 | 0,9295 | 1,305 | 1400 | 1,2615 | 0,9646 | 1,303 |
| 1500 | 1,3317 | 0,9475 | 1,303 | 1500 | 1,2634 | 0,9726 | 1,306 |

Истинные удельные теплоемкости кислорода и двуокиси углерода

| Кислород (O_2) ($M_r = 31,996$) | | | | Двуокись углерода (CO_2) ($M_r = 44,0079$) | | | |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|--|----------------------|----------------------|-----------------|
| $t, ^\circ C$ | $c_p,$ кДж/(кг·К) | $c_v,$ кДж/(кг·К) | $k = c_p / c_v$ | $t, ^\circ C$ | $c_p,$ кДж/(кг·К) | $c_v,$ кДж/(кг·К) | $k = c_p / c_v$ |
| -50 | 0,9102 | 0,6502 | 1,400 | -50 | 0,7612 | 0,5723 | 1,330 |
| 0 | 0,9136 | 0,6536 | 1,398 | 0 | 0,8173 | 0,6284 | 1,301 |
| 50 | 0,9215 | 0,6615 | 1,393 | 50 | 0,8688 | 1,6799 | 1,278 |
| 100 | 0,9328 | 0,6728 | 1,386 | 100 | 0,9156 | 0,7268 | 1,260 |
| 200 | 0,9630 | 0,7030 | 1,370 | 200 | 0,9948 | 0,8060 | 1,235 |
| 300 | 0,9948 | 0,7348 | 1,354 | 300 | 1,0601 | 0,8713 | 1,217 |
| 400 | 1,0237 | 0,7637 | 1,340 | 400 | 1,1137 | 0,9249 | 1,204 |
| 500 | 1,0480 | 0,7880 | 1,330 | 500 | 1,1585 | 0,9697 | 1,194 |
| 600 | 1,0689 | 0,8089 | 1,321 | 600 | 1,1962 | 1,0073 | 1,188 |
| 700 | 1,0860 | 0,8260 | 1,314 | 700 | 1,2276 | 1,0387 | 1,182 |
| 800 | 1,0999 | 0,8399 | 1,309 | 800 | 1,2544 | 1,0655 | 1,177 |
| 900 | 1,1120 | 0,8520 | 1,304 | 900 | 1,2766 | 1,0877 | 1,174 |
| 1000 | 1,1225 | 1,8625 | 1,303 | 1000 | 1,2958 | 1,1070 | 1,171 |
| 1100 | 1,1317 | 0,8717 | 1,298 | 1100 | 1,3126 | 1,1237 | 1,168 |
| 1200 | 1,1401 | 0,8801 | 1,295 | 1200 | 1,3264 | 1,1376 | 1,166 |
| 1300 | 1,1476 | 0,8876 | 1,293 | 1300 | 1,3389 | 1,1501 | 1,164 |
| 1400 | 1,1551 | 0,8951 | 1,290 | 1400 | 1,3494 | 1,1606 | 1,163 |
| 1500 | 1,1627 | 0,9027 | 1,288 | 1500 | 1,3590 | 1,1702 | 1,161 |

Истинные удельные теплоемкости водорода и водяного пара

| Водород (H ₂) (M _r = 2,0159) | | | | Водяной пар (H ₂ O) (M _r = 18,014) | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| t, °C | c _b , кДж/(кг·К) | c _v , кДж/(кг·К) | k = c _p /c _v | t, °C | c _b , кДж/(кг·К) | c _v , кДж/(кг·К) | k = c _p /c _v |
| -50 | 13,808 | 9,684 | 1,425 | | | | |
| 0 | 14,189 | 10,065 | 1,410 | 0 | 1,8606 | 1,3992 | 1,330 |
| 50 | 14,365 | 10,241 | 1,403 | 50 | 1,8711 | 1,4097 | 1,327 |
| 100 | 14,436 | 10,312 | 1,400 | 100 | 1,8899 | 1,4285 | 1,323 |
| 200 | 14,499 | 10,375 | 1,398 | 200 | 1,9393 | 1,4779 | 1,312 |
| 300 | 14,532 | 10,408 | 1,396 | 300 | 2,0000 | 1,5386 | 1,300 |
| 400 | 14,578 | 10,454 | 1,394 | 400 | 2,0649 | 1,6035 | 1,287 |
| 500 | 14,658 | 10,534 | 1,392 | 500 | 2,1328 | 1,6714 | 1,276 |
| 600 | 14,779 | 10,655 | 1,387 | 600 | 2,2027 | 1,7413 | 1,265 |
| 700 | 14,938 | 10,814 | 1,381 | 700 | 2,2734 | 1,8120 | 1,255 |
| 800 | 15,118 | 10,994 | 1,375 | 800 | 2,3442 | 1,8828 | 1,245 |
| 900 | 15,320 | 11,196 | 1,369 | 900 | 2,4133 | 1,9519 | 1,236 |
| 1000 | 15,525 | 11,401 | 1,362 | 1000 | 2,4794 | 2,0180 | 1,229 |
| 1100 | 15,734 | 11,610 | 1,355 | 1100 | 2,5418 | 2,0804 | 1,222 |
| 1200 | 15,952 | 11,828 | 1,349 | 1200 | 2,6000 | 2,1386 | 1,216 |
| 1300 | 16,165 | 12,041 | 1,342 | 1300 | 2,6540 | 2,1926 | 1,211 |
| 1400 | 16,374 | 12,250 | 1,337 | 1400 | 2,7038 | 2,2424 | 1,206 |
| 1500 | 16,580 | 12,456 | 1,331 | 1500 | 2,7495 | 2,2881 | 1,202 |

Степень черноты различных материалов

| Материалы | t, °C | a |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Кирпич: | | |
| красный | 25—300 | 0,9 |
| огнеупорный | 1000 | 0,75—0,85 |
| Фарфор глазурованный | 20 | 0,9—0,32 |
| Штукатурка известковая | 20—100 | 0,9 |
| Гипс | 20 | 0,9 |
| Асбест | 20—300 | 0,9—0,95 |
| Дерево | 20—70 | 0,9 |
| Бумага тонкая | 20—100 | 0,9 |
| Толь кровельный | 20 | 0,9 |
| Стекло | 20—100 | 0,9—0,92 |
| Краски масляные разных цветов | 20—100 | 0,86—0,92 |
| Лак: | | |
| белый | 20—100 | 0,8—0,9 |
| черный | 20—100 | 0,9—0,95 |
| Алюминий шероховатый | 26 | 0,055 |
| Сталь окисленная: | | |
| гладкая | 25—523 | 0,78—0,92 |
| оцинкованная | 25 | 0,25—0,30 |
| Медь: | | |
| полированная | 80—115 | >0,018—0,023 |
| окисленная при 600 °C | 200—600 | 0,6—0,8 |

Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по температуре)

| t_s | P_s | v' | v'' | h' | h'' | r | s' | s'' |
|-------|----------|--------------------|--------------------|----------|--------|--------|------------|------------|
| °C | бар | м ³ /кг | м ³ /кг | кДж/кг | кДж/кг | кДж/кг | кДж/(кг·К) | кДж/(кг·К) |
| 0 | 0,006108 | 0,0010002 | 206,32 | -0,04 | 2501,0 | 2501,0 | -0,0002 | 9,1565 |
| 0,01 | 0,006112 | 0,0010002 | 206,20 | 0,000614 | 2501,0 | 2501,0 | 0,0000 | 9,1560 |
| 1 | 0,006566 | 0,0010002 | 192,61 | 4,17 | 2502,8 | 2498,6 | 0,0152 | 9,1298 |
| 2 | 0,007054 | 0,0010001 | 179,94 | 8,39 | 2504,7 | 2496,3 | 0,0306 | 9,1035 |
| 3 | 0,007575 | 0,0010001 | 168,17 | 12,60 | 2506,5 | 2493,9 | 0,0459 | 9,0773 |
| 4 | 0,008129 | 0,0010000 | 157,27 | 16,80 | 2508,3 | 2491,5 | 0,0611 | 9,0514 |
| 5 | 0,008718 | 0,0010000 | 147,17 | 21,01 | 2510,2 | 2489,2 | 0,0762 | 9,0258 |
| 6 | 0,009346 | 0,0010000 | 137,768 | 25,21 | 2512,0 | 2486,8 | 0,0913 | 9,0003 |
| 7 | 0,010012 | 0,0010001 | 129,061 | 29,41 | 2513,9 | 2484,5 | 0,1063 | 8,9751 |
| 8 | 0,010721 | 0,0010001 | 120,952 | 33,60 | 2515,7 | 2482,1 | 0,1213 | 8,9501 |
| 9 | 0,011473 | 0,0010002 | 113,423 | 37,80 | 2517,5 | 2479,7 | 0,1362 | 8,9254 |
| 10 | 0,012271 | 0,0010003 | 106,419 | 41,99 | 2519,4 | 2477,4 | 0,1510 | 8,9009 |
| 11 | 0,013118 | 0,0010003 | 99,896 | 46,19 | 2521,2 | 2475,0 | 0,1658 | 8,8766 |
| 12 | 0,014015 | 0,0010004 | 93,828 | 50,38 | 2523,0 | 2472,6 | 0,1805 | 8,8525 |
| 13 | 0,014967 | 0,0010006 | 88,165 | 54,57 | 2524,9 | 2470,2 | 0,1952 | 8,8286 |
| 14 | 0,015974 | 0,0010007 | 82,893 | 58,75 | 2526,7 | 2467,9 | 0,2098 | 8,8050 |
| 15 | 0,017041 | 0,0010008 | 77,970 | 62,94 | 2528,6 | 2465,7 | 0,2243 | 8,7815 |
| 16 | 0,018170 | 0,0010010 | 73,376 | 67,13 | 2530,4 | 2463,3 | 0,2388 | 8,7583 |
| 17 | 0,019364 | 0,0010012 | 69,087 | 71,31 | 2532,2 | 2460,9 | 0,2533 | 8,7353 |
| 18 | 0,020626 | 0,0010013 | 65,080 | 75,50 | 2534,0 | 2458,5 | 0,2677 | 8,7125 |
| 19 | 0,021960 | 0,0010015 | 61,334 | 79,68 | 2535,9 | 2456,2 | 0,2820 | 8,6898 |
| 20 | 0,023368 | 0,0010017 | 57,833 | 83,86 | 2537,7 | 2453,8 | 0,2963 | 8,6674 |
| 21 | 0,024855 | 0,0010019 | 54,556 | 88,04 | 2539,5 | 2451,5 | 0,3105 | 8,6452 |
| 22 | 0,026424 | 0,0010022 | 51,488 | 92,22 | 2541,4 | 2449,2 | 0,3247 | 8,6232 |
| 23 | 0,028079 | 0,0010024 | 48,615 | 96,41 | 2543,2 | 2446,8 | 0,3389 | 8,6014 |
| 24 | 0,029824 | 0,0010026 | 45,923 | 100,59 | 2545,0 | 2444,4 | 0,3530 | 8,5797 |
| 25 | 0,031663 | 0,0010030 | 43,399 | 104,77 | 2546,8 | 2442,0 | 0,3670 | 8,5583 |
| 26 | 0,033600 | 0,0010032 | 41,031 | 108,95 | 2548,6 | 2439,6 | 0,3810 | 8,5370 |
| 27 | 0,035639 | 0,0010034 | 38,811 | 113,13 | 2550,4 | 2437,3 | 0,3949 | 8,5159 |
| 28 | 0,037785 | 0,0010037 | 36,726 | 117,31 | 2552,3 | 2435,0 | 0,4088 | 8,4950 |
| 29 | 0,040043 | 0,0010040 | 34,768 | 121,48 | 2554,1 | 2432,6 | 0,4227 | 8,4743 |
| 30 | 0,042417 | 0,0010043 | 32,929 | 125,66 | 2555,9 | 2430,2 | 0,4365 | 8,4537 |
| 31 | 0,044913 | 0,0010046 | 31,199 | 129,84 | 2557,7 | 2427,9 | 0,4503 | 8,4334 |
| 32 | 0,047536 | 0,0010049 | 29,572 | 134,02 | 2559,5 | 2425,5 | 0,4640 | 8,4132 |
| 33 | 0,050290 | 0,0010053 | 28,042 | 138,20 | 2561,4 | 2423,2 | 0,4777 | 8,3932 |
| 34 | 0,053182 | 0,0010056 | 26,602 | 142,38 | 2563,2 | 2420,8 | 0,4913 | 8,3733 |
| 35 | 0,056217 | 0,001060 | 25,246 | 146,56 | 2565,0 | 2418,4 | 0,5049 | 8,3536 |
| 36 | 0,059401 | 0,0010063 | 23,968 | 150,74 | 2566,8 | 2416,1 | 0,5184 | 8,3341 |
| 37 | 0,062740 | 0,0010067 | 22,764 | 154,92 | 2568,6 | 2413,7 | 0,5319 | 8,3147 |
| 38 | 0,066240 | 0,0010070 | 21,629 | 159,09 | 2570,4 | 2411,3 | 0,5453 | 8,2955 |
| 39 | 0,069907 | 0,0010074 | 20,558 | 163,27 | 2572,2 | 2408,9 | 0,5588 | 8,2765 |
| 40 | 0,073749 | 0,0010078 | 19,548 | 167,45 | 2404,2 | 2406,5 | 0,5721 | 8,2389 |

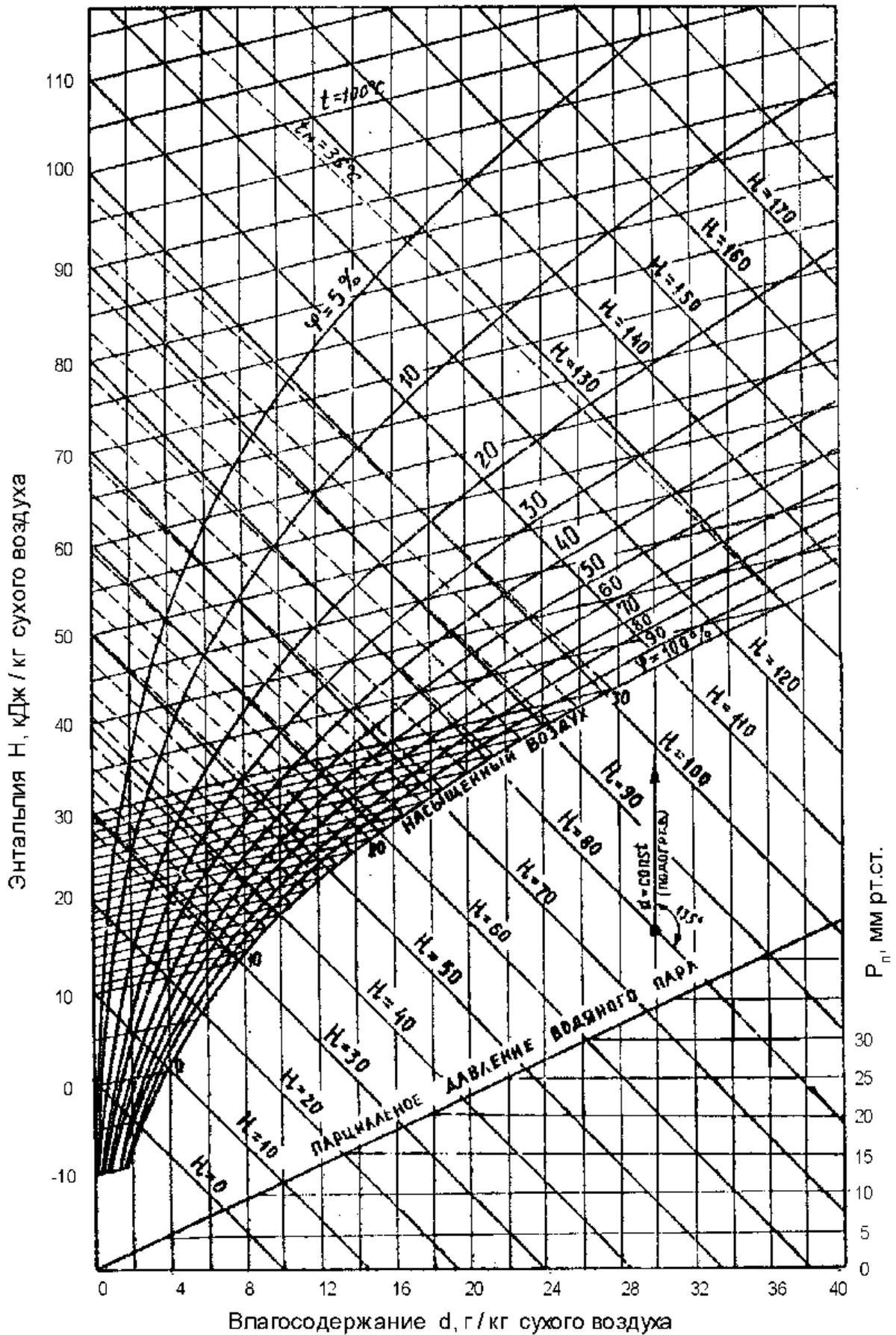
Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по давлению)

| P_s | t_s | v' | v'' | h' | h'' | g | s' | s'' |
|-------|--------|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|------------|------------|
| бар | °C | м ³ /кг | м ³ /кг | кДж/кг | кДж/кг | кДж/кг | кДж/(кг·К) | кДж/(кг·К) |
| 0,010 | 13,034 | 0,0010006 | 87,982 | 54,71 | 2525,0 | 2470,3 | 0,1956 | 8,8278 |
| 0,015 | 17,511 | 0,0010012 | 67,006 | 73,45 | 2533,2 | 2459,8 | 0,2606 | 8,7236 |
| 0,020 | 19,029 | 0,0010015 | 61,229 | 79,80 | 2535,9 | 2456,1 | 0,2824 | 8,6892 |
| 0,025 | 21,735 | 0,0010021 | 52,282 | 91,12 | 2540,9 | 2449,8 | 0,3210 | 8,6290 |
| 0,030 | 25,178 | 0,0010029 | 42,967 | 105,51 | 2547,2 | 2441,7 | 0,3695 | 8,5545 |
| 0,035 | 27,172 | 0,0010035 | 38,443 | 113,84 | 2550,8 | 2437,0 | 0,3973 | 8,5123 |
| 0,040 | 29,828 | 0,0010043 | 33,237 | 124,94 | 2555,6 | 2430,7 | 0,4341 | 8,4573 |
| 0,045 | 31,420 | 0,0010048 | 30,503 | 131,60 | 2558,5 | 2426,9 | 0,4560 | 8,4249 |
| 0,050 | 33,60 | 0,0010055 | 27,172 | 140,70 | 2562,4 | 2421,7 | 0,4858 | 8,3813 |
| 0,055 | 34,93 | 0,0010059 | 25,338 | 146,27 | 2564,8 | 2418,5 | 0,5039 | 8,3550 |
| 0,060 | 36,78 | 0,0010066 | 23,020 | 154,01 | 2568,2 | 2414,2 | 0,5290 | 8,3189 |
| 0,065 | 37,93 | 0,0010070 | 21,703 | 158,81 | 2570,3 | 2411,5 | 0,5444 | 8,2968 |
| 0,070 | 38,49 | 0,0010072 | 21,101 | 161,12 | 2571,3 | 2410,2 | 0,5519 | 8,2863 |
| 0,075 | 39,02 | 0,0010074 | 20,532 | 163,38 | 2572,2 | 2408,8 | 0,5591 | 8,2760 |
| 0,080 | 40,32 | 0,0010079 | 19,241 | 168,77 | 2574,5 | 2405,7 | 0,5763 | 8,2517 |
| 0,085 | 41,53 | 0,0010084 | 18,106 | 173,87 | 2576,7 | 2402,8 | 0,5926 | 8,2289 |
| 0,090 | 42,69 | 0,0010089 | 17,102 | 178,69 | 2578,8 | 2400,1 | 0,6079 | 8,2076 |
| 0,095 | 43,79 | 0,0010094 | 16,206 | 183,28 | 2580,8 | 2397,5 | 0,6224 | 8,1875 |
| 0,100 | 44,83 | 0,0010098 | 15,402 | 187,66 | 25&2,6 | 2394,9 | 0,6361 | 8,1685 |
| 0,150 | 52,58 | 0,0010133 | 10,696 | 220,03 | 2596,4 | 2376,4 | 0,7367 | 8,0330 |
| 0,200 | 58,98 | 0,0010166 | 8,0288 | 246,83 | 2607,7 | 2360,9 | 0,8182 | 7,9269 |
| 0,250 | 64,08 | 0,0010194 | 6,4483 | 268,18 | 2616,6 | 2348,4 | 0,8820 | 7,8462 |
| 0,300 | 68,35 | 0,0010219 | 5,3998 | 286,05 | 2624,0 | 2337,9 | 0,9346 | 7,7811 |
| 0,400 | 75,89 | 0,0010265 | 3,9949 | 317,65 | 2636,8 | 2319,2 | 1,0261 | 7,6711 |
| 0,500 | 81,35 | 0,0010301 | 3,2415 | 340,57 | 2646,0 | 2305,4 | 1,0912 | 7,5951 |
| 0,550 | 83,74 | 0,0010317 | 2,9648 | 350,61 | 2650,0 | 2299,4 | 1,1194 | 7,5627 |
| 0,600 | 85,95 | 0,0010333 | 2,7329 | 359,93 | 2653,6 | 2293,7 | 1,1454 | 7,5332 |
| 0,650 | 88,02 | 0,0010347 | 2,5357 | 368,62 | 2657,0 | 2288,4 | 1,1696 | 7,5061 |
| 0,700 | 89,96 | 0,0010361 | 2,3658 | 376,77 | 2660,2 | 2283,4 | 1,1921 | 7,4811 |
| 0,750 | 91,78 | 0,0010375 | 2,2179 | 384,45 | 2663,2 | 2278,8 | 1,2132 | 7,4577 |
| 0,800 | 93,51 | 0,0010387 | 2,0879 | 391,72 | 2666,0 | 2274,3 | 1,2330 | 7,4360 |
| 0,850 | 95,14 | 0,0010400 | 1,9728 | 398,63 | 2668,6 | 2270,0 | 1,2518 | 7,4155 |
| 0,900 | 96,71 | 0,0010412 | 1,8701 | 405,21 | 2671,1 | 2265,9 | 1,2696 | 7,3963 |
| 0,950 | 98,20 | 0,0010423 | 1,7779 | 411,49 | 2673,5 | 2262,0 | 1,2865 | 7,3781 |
| 1,000 | 99,63 | 0,0010434 | 1,6946 | 417,51 | 2675,7 | 2258,2 | 1,3027 | 7,3608 |
| 1,50 | 111,37 | 0,0010530 | 1,1597 | 467,13 | 2693,9 | 2226,8 | 1,4336 | 7,2248 |
| 2,00 | 120,23 | 0,0010608 | 0,88592 | 504,7 | 2706,9 | 2202,2 | 1,5301 | 7,1286 |
| 2,50 | 127,43 | 0,0010675 | 0,71881 | 535,4 | 2717,2 | 2181,8 | 1,6072 | 7,0540 |
| 3,00 | 133,54 | 0,0010735 | 0,60586 | 561,4 | 2725,5 | 2164,1 | 1,6717 | 6,9930 |
| 3,50 | 138,88 | 0,0010789 | 0,52425 | 584,3 | 2632,5 | 2148,2 | 1,7273 | 6,6412 |
| 4,00 | 143,62 | 0,0010839 | 0,4624 | 604,7 | 2738,5 | 2133,8 | 1,7764 | 6,8966 |

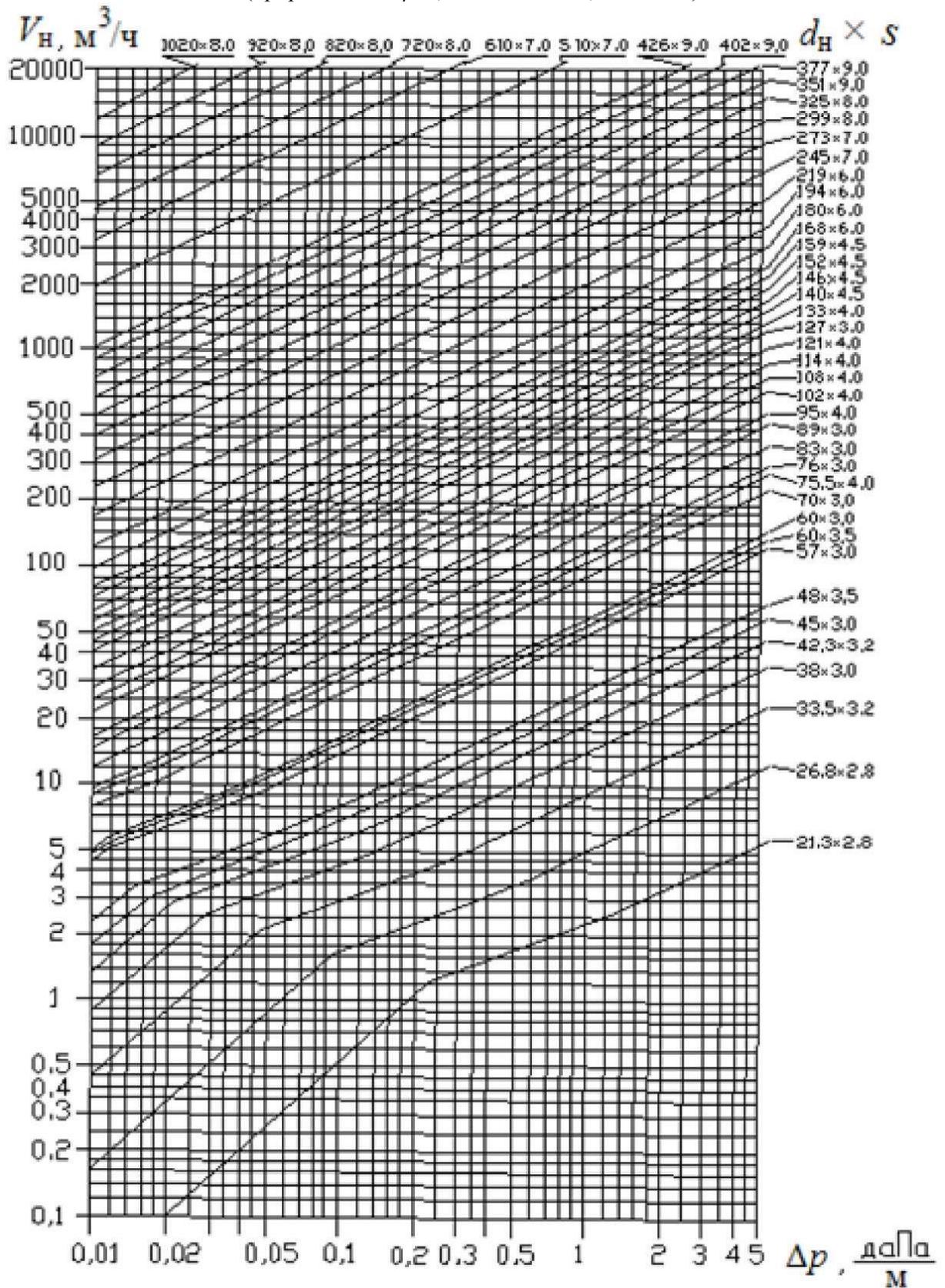
Термодинамические свойства воды и перегретого пара

| t | P = 0,01 бар | | | P = 0,02 бар | | | P = 0,03 бар | | | P = 0,04 бар | | |
|-----|--------------|--------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------|--------------|
| | v | h | s | v | h | s | v | h | s | v | h | s |
| °C | м3/кг | кДж/кг | кДж/(кг · К) |
| 0 | 0,00102 | 0,0 | -0,001 | 0,001 | 0,0 | -0,0010 | 0,001 | 0,0 | -0,0001 | 0,0010 | 0,0 | -0,0001 |
| 10 | 130,60 | 2519,5 | 8,995 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 |
| 20 | 135,23 | 2538,1 | 9,060 | 67,58 | 2537,8 | 8,7396 | 0,00100 | 83,9 | 0,2963 | 0,00100 | 83,9 | 0,2963 |
| 40 | 144,47 | 2575,5 | 9,1837 | 72,21 | 2575,3 | 8,8632 | 48,13 | 2575,0 | 8,6755 | 36,08 | 2574,8 | 8,5421 |
| 80 | 162,95 | 2650,6 | 9,4093 | 81,46 | 2650,4 | 9,0891 | 54,30 | 2650,3 | 8,9016 | 40,72 | 2650,2 | 8,7685 |
| 120 | 181,42 | 2726,2 | 9,6122 | 90,70 | 2726,1 | 9,2921 | 60,46 | 2726,0 | 9,1048 | 45,34 | 2726,0 | 8,9718 |
| 160 | 199,89 | 2802,6 | 9,7971 | 99,94 | 2802,5 | 9,4771 | 66,62 | 2802,4 | 9,2898 | 49,96 | 2802,4 | 9,1570 |
| 200 | 218,3 | 2879,7 | 9,9674 | 109,17 | 2879,7 | 9,6475 | 72,78 | 2879,6 | 9,4603 | 54,58 | 2879,6 | 9,3274 |
| 240 | 236,8 | 2957,7 | 10,1257 | 118,40 | 2957,7 | 9,8058 | 78,93 | 2957,7 | 9,6186 | 59,20 | 2957,6 | 9,4858 |
| 280 | 255,3 | 3036,7 | 10,2739 | 127,64 | 3036,7 | 9,9539 | 85,09 | 3036,6 | 9,7668 | 63,81 | 3036,6 | 9,6340 |
| 320 | 273,7 | 3116,6 | 10,4134 | 136,87 | 3116,6 | 10,0934 | 91,24 | 3116,6 | 9,9063 | 68,43 | 3116,6 | 9,7735 |
| 360 | 292,2 | 3197,5 | 10,5454 | 146,10 | 3197,5 | 10,2255 | 97,40 | 3197,5 | 10,0383 | 73,05 | 3197,5 | 9,9055 |
| 400 | 310,7 | 3279,5 | 10,6709 | 155,33 | 3279,5 | 10,351 | 103,55 | 3279,5 | 10,164 | 77,66 | 3279,5 | 10,001 |
| 440 | 329,1 | 3362,4 | 10,790 | 164,56 | 3362,4 | 10,470 | 109,70 | 3362,4 | 10,283 | 82,28 | 3362,4 | 10,150 |
| 480 | 347,6 | 3446,5 | 10,905 | 173,8 | 3446,5 | 10,585 | 115,86 | 3446,5 | 10,398 | 86,89 | 3446,5 | 10,265 |
| 520 | 366,0 | 3531,7 | 11,015 | 183,0 | 3531,7 | 10,695 | 122,01 | 3531,6 | 10,508 | 91,51 | 3531,6 | 10,375 |
| 560 | 384,50 | 3618,0 | 11,121 | 192,2 | 3617,9 | 10,802 | 128,17 | 3617,9 | 10,614 | 96,12 | 3617,9 | 10,482 |
| 600 | 402,96 | 3705,3 | 11,224 | 201,5 | 3705,3 | 10,904 | 134,32 | 3705,3 | 10,717 | 100,74 | 3705,3 | 10,584 |
| | P = 0,05 бар | | | P = 0,06 бар | | | P = 0,07 бар | | | P = 0,08 бар | | |
| 0 | 0,00100 | 0,0 | -0,0001 | 0,00100 | 0,0 | -0,0001 | 0,00100 | 0,0 | -0,0001 | 0,00100 | 0,0 | -0,0001 |
| 10 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 | 0,00100 | 42,0 | 0,1510 |
| 20 | 0,00100 | 83,9 | 0,2963 | 0,00100 | 83,9 | 0,2963 | 0,00100 | 83,9 | 0,2963 | 0,00100 | 83,9 | 0,2963 |
| 30 | 0,00100 | 126,7 | 0,4365 | 0,00100 | 125,7 | 0,4365 | 0,00100 | 125,7 | 0,4365 | 0,00100 | 125,7 | 0,4365 |
| 40 | 28,86 | 2574,6 | 8,4385 | 24,04 | 2574,3 | 8,3537 | 20,60 | 2574,1 | 8,2819 | 0,00100 | 167,4 | 0,5721 |
| 80 | 32,57 | 2650,0 | 8,6652 | 27,13 | 2649,9 | 8,5808 | 23,25 | 2649,7 | 8,5093 | 20,34 | 2649,6 | 8,4474 |
| 120 | 36,27 | 2725,9 | 8,8687 | 30,22 | 2725,8 | 8,7843 | 25,90 | 2725,7 | 8,7130 | 22,66 | 2725,6 | 8,6512 |
| 160 | 39,97 | 2802,3 | 9,0539 | 33,30 | 2802,3 | 8,9696 | 28,54 | 2802,2 | 8,8984 | 24,97 | 2802,1 | 8,8366 |
| 200 | 43,66 | 2879,5 | 9,2244 | 36,38 | 2879,5 | 9,1402 | 31,18 | 2879,5 | 9,0689 | 27,28 | 2879,4 | 9,0072 |
| 240 | 47,36 | 2957,6 | 9,3828 | 39,46 | 2957,6 | 9,2986 | 33,82 | 2957,5 | 9,2274 | 29,59 | 2957,5 | 9,1657 |
| 280 | 51,05 | 3036,6 | 9,5310 | 42,54 | 3036,6 | 9,4468 | 36,46 | 3036,5 | 9,3756 | 31,90 | 3036,5 | 9,3139 |
| 320 | 54,74 | 3116,5 | 9,6705 | 45,62 | 3116,5 | 9,5863 | 39,10 | 3116,5 | 9,5151 | 34,21 | 3116,5 | 9,4535 |
| 360 | 58,44 | 3197,5 | 9,8025 | 48,70 | 3197,4 | 9,7184 | 41,74 | 3197,4 | 9,6472 | 36,52 | 3197,4 | 9,5855 |
| 400 | 62,13 | 3279,4 | 9,9280 | 51,77 | 3279,4 | 9,8439 | 44,38 | 3279,4 | 9,7727 | 38,83 | 3279,4 | 9,7111 |
| 440 | 65,82 | 3362,4 | 10,048 | 54,85 | 3362,4 | 9,9637 | 47,01 | 3362,4 | 9,8925 | 41,14 | 3362,4 | 9,8309 |
| 480 | 69,51 | 3446,5 | 10,162 | 57,93 | 3446,5 | 10,078 | 49,65 | 3446,5 | 10,007 | 43,44 | 3446,5 | 9,9456 |
| 520 | 73,21 | 3531,7 | 10,273 | 61,00 | 3531,7 | 10,188 | 52,29 | 3531,6 | 10,117 | 45,75 | 3531,6 | 10,056 |
| 560 | 76,90 | 3617,9 | 10,379 | 64,08 | 3617,9 | 10,295 | 54,93 | 3617,9 | 10,223 | 48,06 | 3617,9 | 10,162 |
| 600 | 80,59 | 3705,3 | 10,481 | 67,16 | 3705,3 | 10,397 | 57,56 | 3705,3 | 10,326 | 50,37 | 3705,2 | 10,264 |

Н, d - диаграммы влажного атмосферного воздуха при $P=745$ мм рт.ст.



Номограмма для расчета стальных газопроводов низкого давления
 (природный газ $\rho=0,73 \text{ кг/м}^3$ и $\nu=14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$)



Литература

1. СНиП 42-01-2002 Газораспределительные системы.
2. СНиП 2.04.08-87* Газоснабжение.
3. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М., 1999.
4. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М., 2010.
5. Белицкий В.Д. Газовые сети и газохранилища. – Омск, 2010.
6. Брюханов О.Н., Жила В.А. Природные и искусственные газы. – М., 2004.
7. Брюханов О.Н., Коробко В.И., Мелик-Аракелян А.Т. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. – М., 2015.
8. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М., 1972.
9. Вербицкий В.И. Методические указания по решению задач контрольной работы по учебной дисциплине «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики». – Бахчисарай, 2014.
10. Ерохин В.Г., Маханько М.Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники. – М., 1979.
11. Комина, Г.П., Прошутинский А.О. Гидравлический расчет и проектирование газопроводов. – СПб., 2010.
12. Мякишев Г.Я. Физика. 10 класс. – М., 2014.
13. Ухин Б.В., Гусев А.А. Гидравлика. – М., 2016.