

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

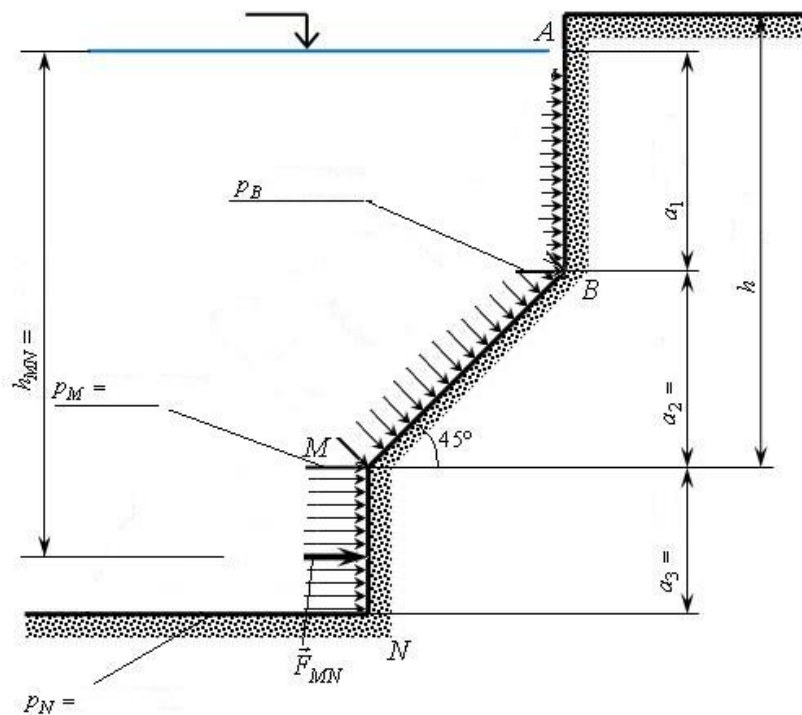


Рис. 1. Построение эпюр гидростатического давления

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.

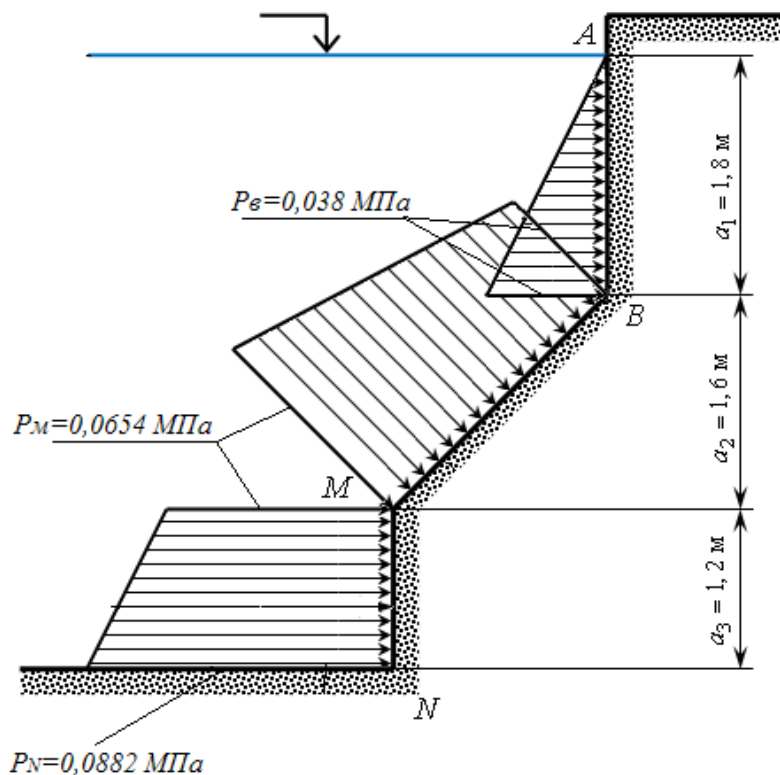


Рис2. Построение эпюр гидростатического давления

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 пропуска 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:

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

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

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

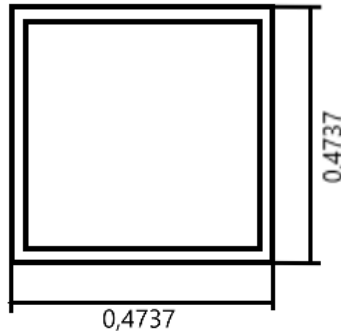


Рис. 3. Запроектированное сечение канала.

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 насадка v_2 .

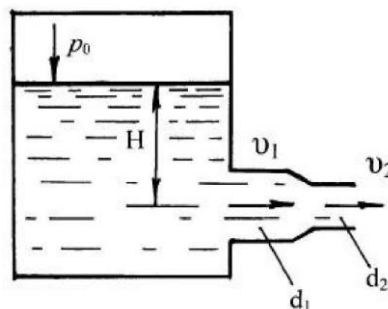


Рис. 4. Иллюстрация к задаче 2 (практическая работа №3)

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.

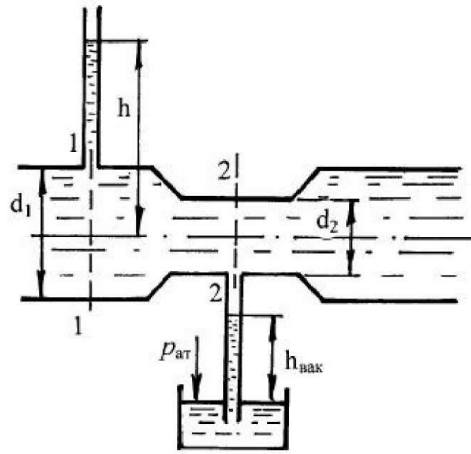


Рис. 5. Иллюстрация к задаче 3 (практическая работа №3).

№ 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.

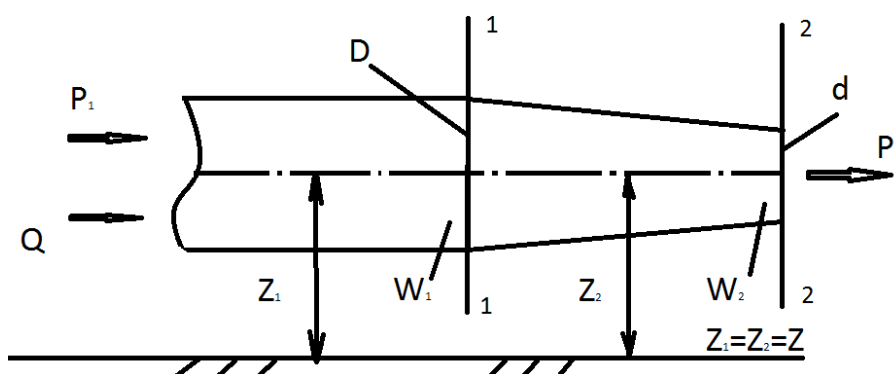


Рис.6 Иллюстрация к задаче 1 (практическая работа №4)

№ 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:

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

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

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

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

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

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

Из уравнения Менделеева – Клапейрона

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

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

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

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

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 $p_{\text{п}} = 30 \text{ мм рт. ст} = 0,04 \text{ бар}$ 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

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho''} = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}}$$

При $t = 40^\circ\text{C}$

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

$$p_{\text{н}} = 0,074 \text{ бар.}$$

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

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

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}} = \frac{0,04}{0,074} = 0,54 = 54\%$$

Влагосодержание в расчете на 1 кг сухого воздуха

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

Энтальпия влажного воздуха на 1 кг сухого воздуха

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

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

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

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

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 $p_{\text{п}} = 30 \text{ мм рт. ст.}$ 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 $H_A = 108 \text{ кДж/кг с. в.}$

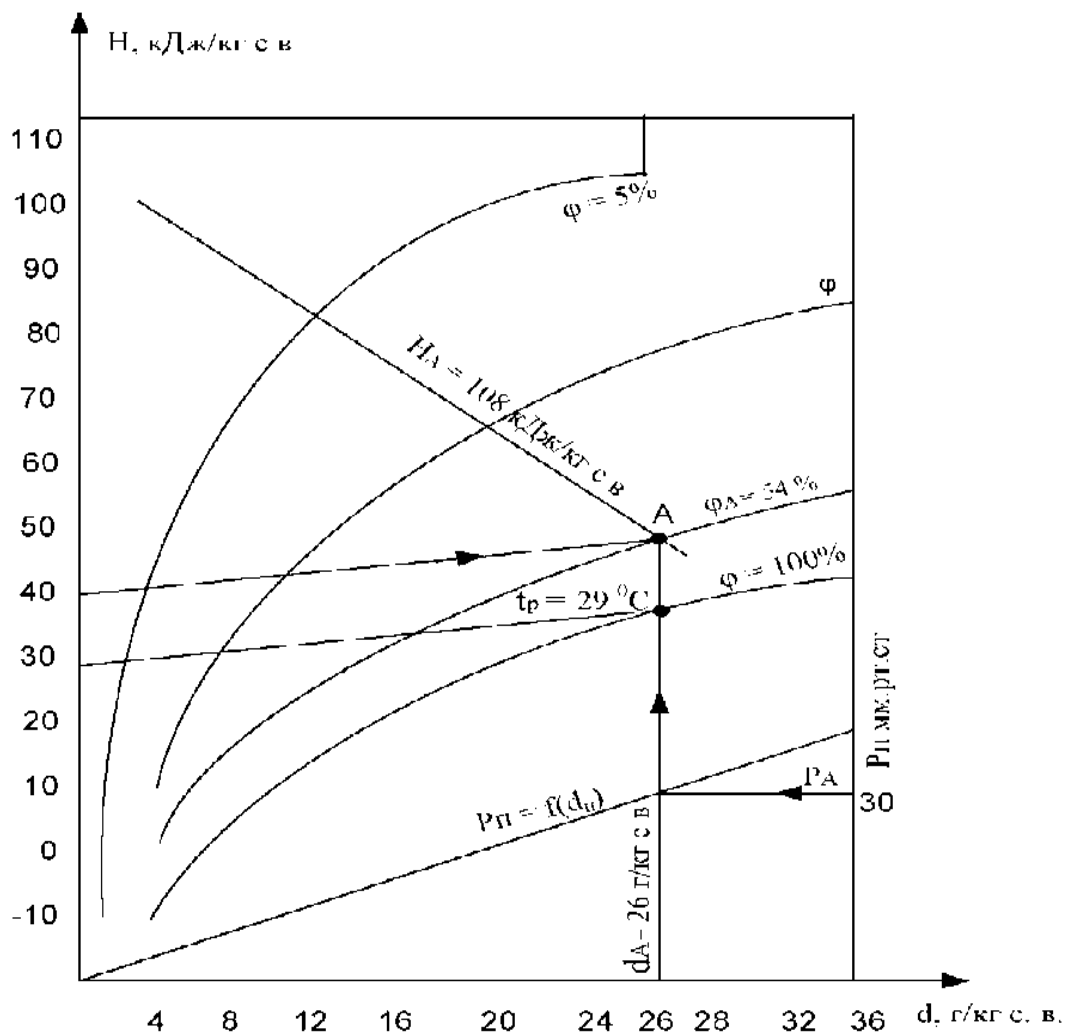


Рис.7. Определение параметров влажного воздуха по H,d- диаграмме

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 $\epsilon=0,78-0,82$.

№ 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 м^2 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 $t_1^0\text{C}$ и температуре воды $t_2^0\text{C}$, 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 $t_1^0\text{C}$ снаружи $t_2^0\text{C}$. 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

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

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

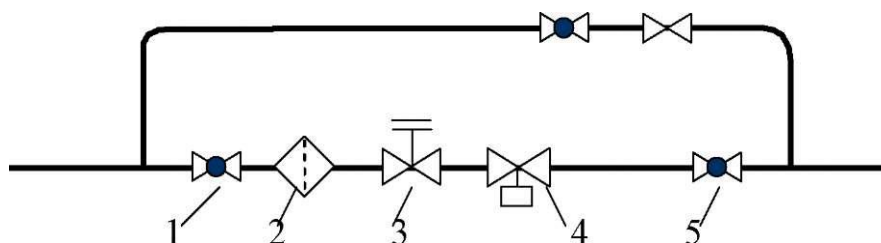


Рис.8. Расчетная схема ГРП:

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.

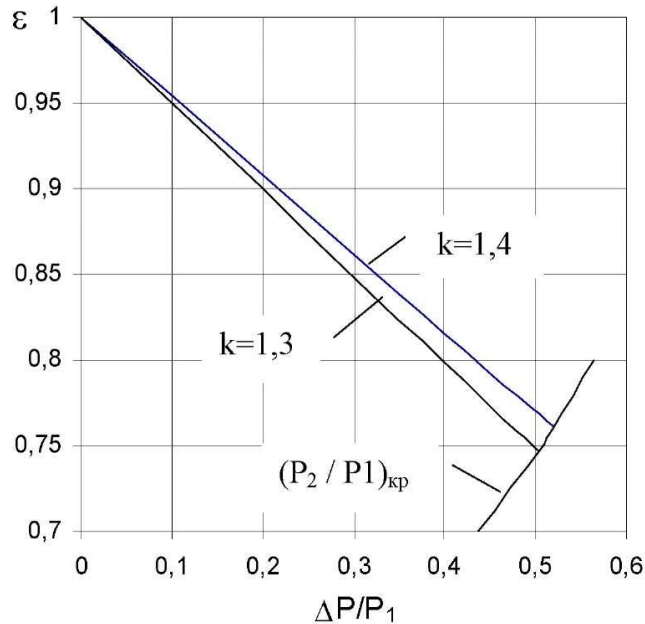


Рис.8. График зависимости коэффициента изменения плотности газа от относительного изменения давления и показателя адиабаты для природного газа.

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

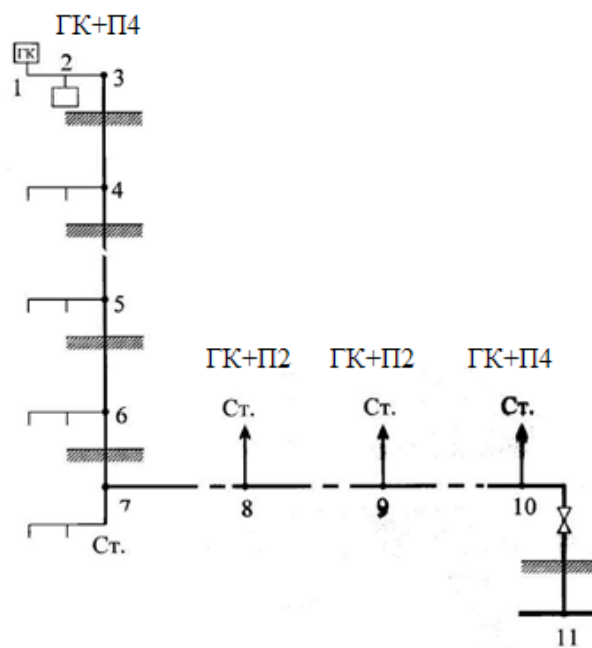


Рис.9. Расчетная схема внутридомовой газовой сети.

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.

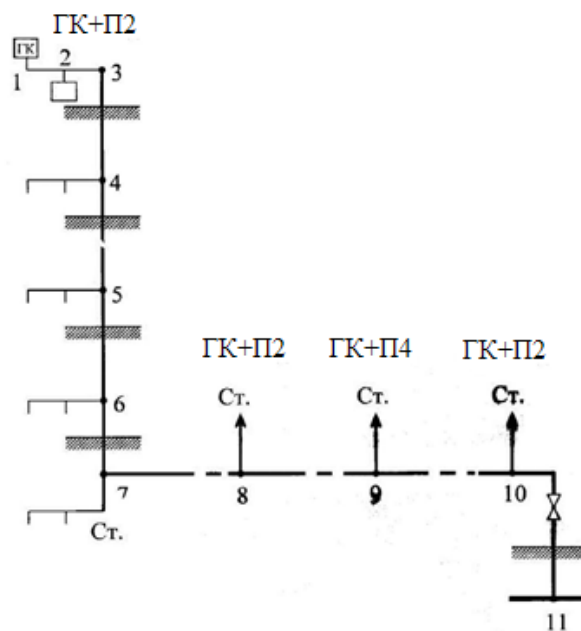


Рис.10. Расчетная схема внутридомовой газовой сети.

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_{sin}	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	0,300	5,85	
10-11	П2+ГК	15	0,260	13,65	19,11
	П4+ГК	5	0,280	5,46	

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

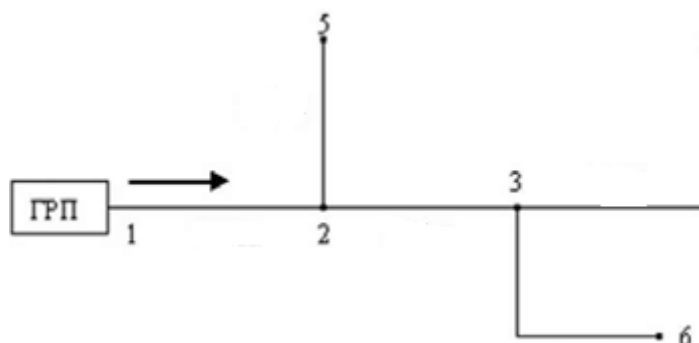


Рис.11. Схема разветвленной тупиковой сети

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).

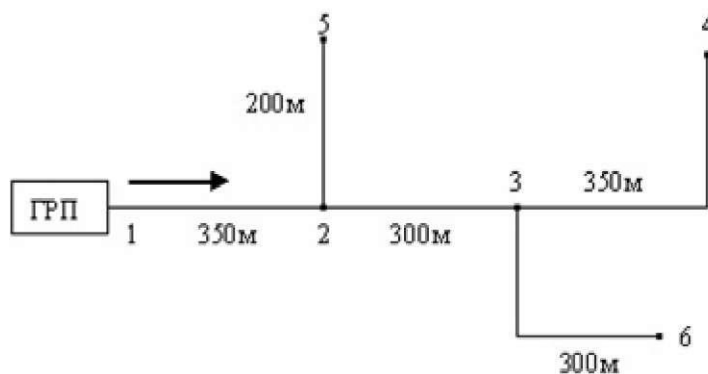


Рис.12. Схема разветвленной тупиковой сети

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:

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

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

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

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

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).

$$V_{\text{газа}} = \frac{16 \cdot 2 \cdot 860}{\frac{35,9 \cdot 1000}{4,187}} \cdot 0,92 = \frac{27520}{7888} = 3,5 \text{ м}^3/\text{час}$$

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''	g	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

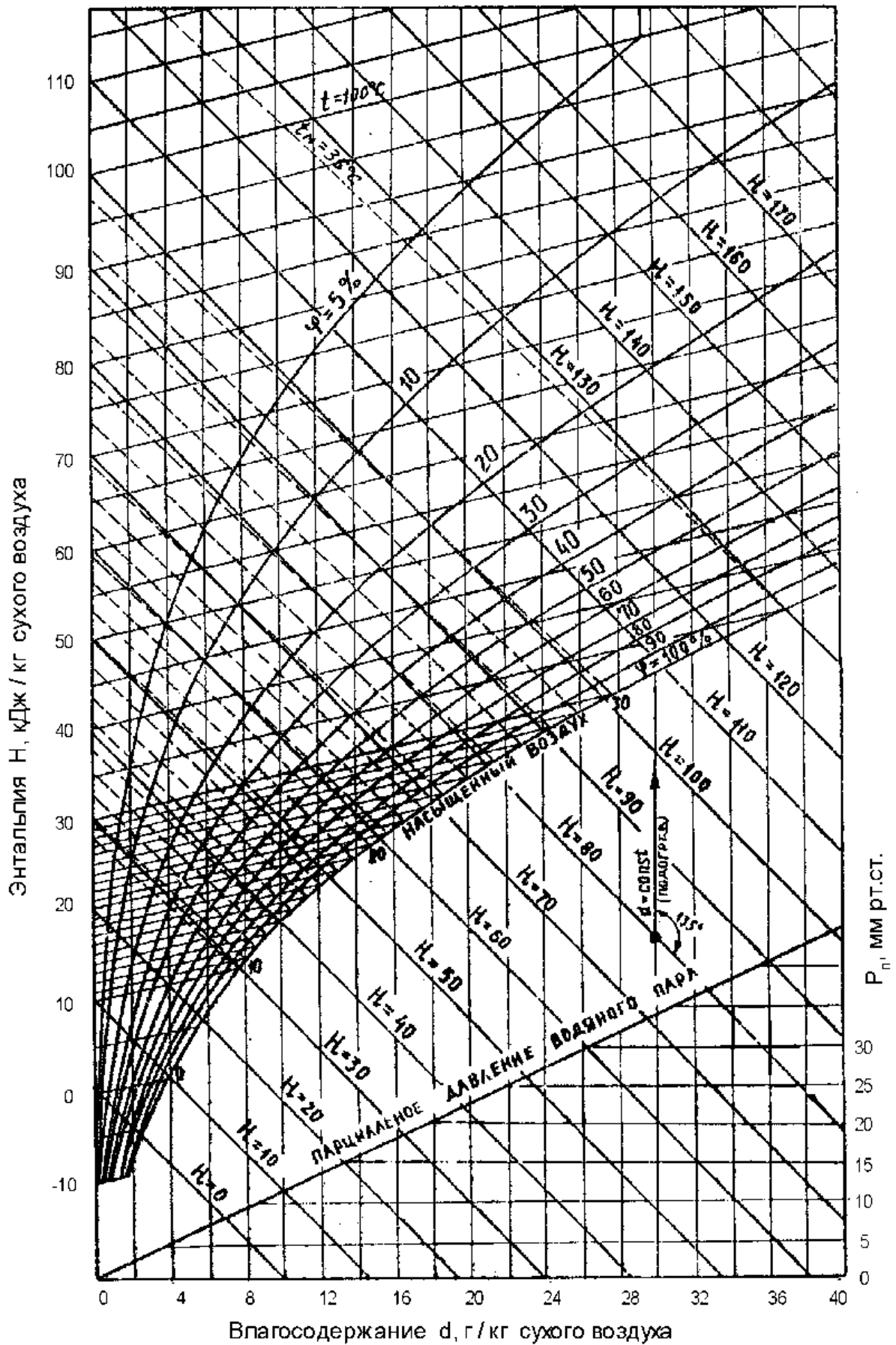
Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по давлению)

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	2582,6	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

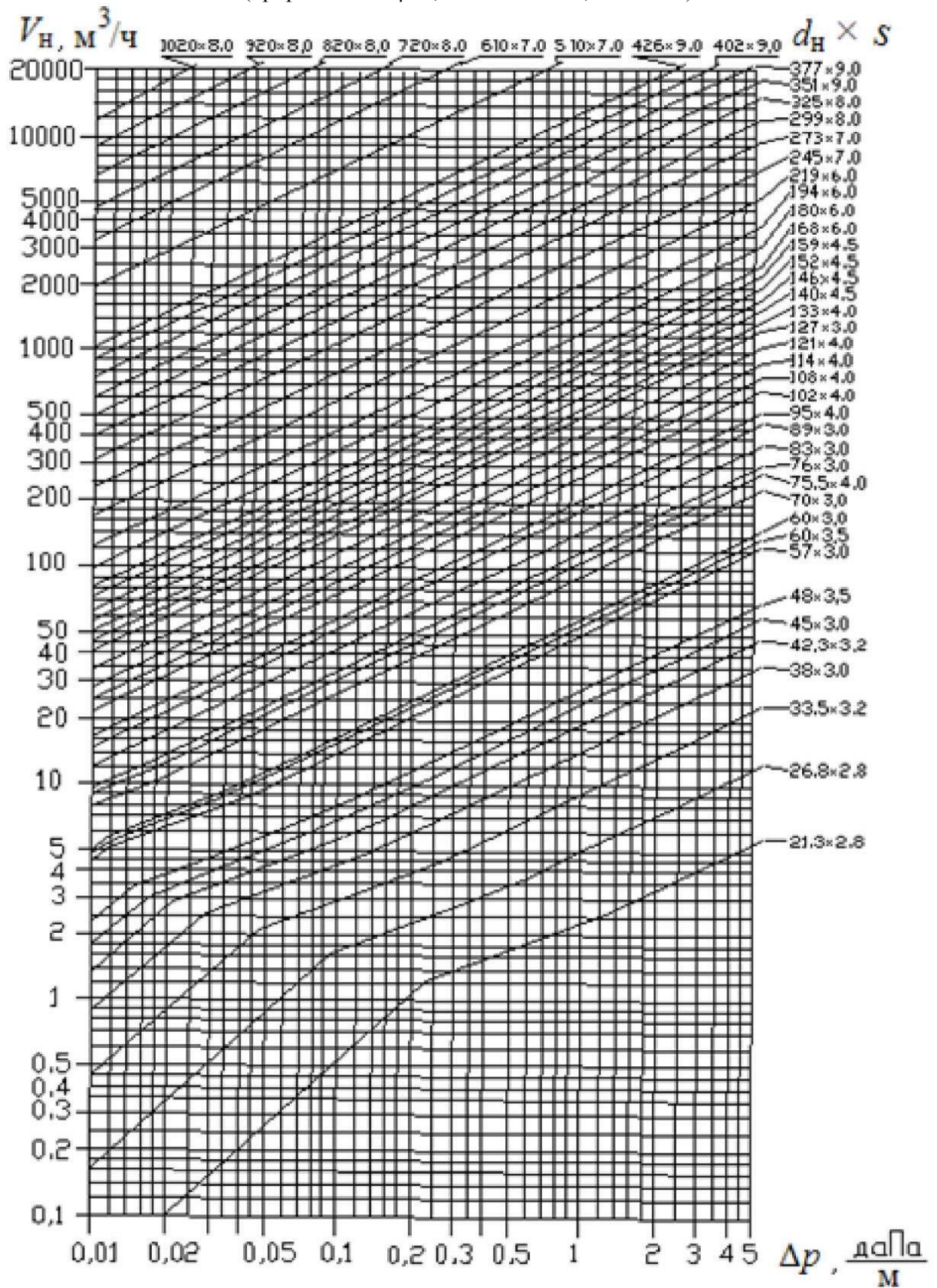
Термодинамические свойства воды и перегретого пара

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)	м3/кг	кДж/кг	кДж/(кг · К)	м3/кг	кДж/кг	кДж/(кг · К)	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	0,00102	42,0	0,1510	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.