

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации
и переподготовки

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ПОСОБИЕ

**по выполнению практических работ
для слушателей специальности переподготовки
9-09-0712-01 «Техническая эксплуатация
теплоэнергетических установок
и систем теплоснабжения»
заочной формы обучения**

Гомель 2024

УДК 658.264(075.8)
ББК 31.386я73
Н23

*Рекомендовано кафедрой «Промышленная теплоэнергетика
и экология» ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 27.11.2024 г.)*

Составитель *В. В. Киселевич*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Т. В. Алфёрова*

Н23 **Наладка** и испытания теплотехнического оборудования : пособие по выполнению практ. работ для слушателей специальности переподготовки 9-09-0712-01 «Техническая эксплуатация теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения» заоч. формы обучения / сост. В. В. Киселевич. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 35 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит материал для закрепления теоретических знаний по основным разделам дисциплины, позволяет приобрести навыки выполнения расчётов, связанных с подбором элеватора и дроссельных диафрагм, определением расхода воды для промывки тепловых сетей, а также подбором клапанов регулирующих устройств.

Для слушателей специальности переподготовки 9-09-0712-01 «Техническая эксплуатация теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения» ИПКиП.

УДК 658.264(075.8)
ББК 31.386я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2024

ЗАДАЧА № 1

РАСЧЁТ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА И ПОДБОР ЭЛЕВАТОРА

Условие

По укрупнённым показателям определить расчётные отопительную и вентиляционную нагрузки девятиэтажного жилого дома объёмом V . Найти расчётные расходы сетевой воды на отопление и вентиляцию для температурного графика t_1/t_2 , если известны: расчётная температура воздуха в помещении $t_{вр}=18^\circ\text{C}$; температуры наружного воздуха для проектирования отопления $t_{но}$ и вентиляции $t_{нв}$; температура смешанной воды t_3 ; температуры воды в подающем $t_{1в}$ и обратном $t_{2в}$ трубопроводах при $t_{нв}$; давления в подающем p_1 и обратном p_2 трубопроводах. Используя полученные результаты, произвести выбор элеватора для присоединения к тепловой сети системы отопления жилого дома, имеющей гидравлическое сопротивление Δh . Рассчитать КПД элеватора.

Исходные данные

$V, \text{ м}^3$	$t_{но}, ^\circ\text{C}$	$t_{нв}, ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_{1в}, ^\circ\text{C}$	$t_{2в}, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{ МПа}$	$p_2, \text{ МПа}$	$\Delta h, \text{ м в.ст.}$
14 000	-25	-14	130	70	90	104	60	0,65	0,25	2,1

Решение

Определяем тепловые нагрузки на отопление

$$Q_{от} = \alpha q_{от} V (t_{вр} - t_{но}) \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал/ч,}$$

и вентиляцию

$$Q_{в} = \alpha q_{в} V (t_{вр} - t_{нв}) \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал/ч,}$$

где α – поправочный коэффициент, учитывающий климатические условия района и применяемый в случаях, когда расчётная температура наружного воздуха отличается от -30°C (определяется по табл. П.1.1 приложения 1); $q_{от}$ и $q_{в}$ – соответственно удельные отопительная и вентиляционная тепловые характеристики здания, $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$, определяемые по табл. П.1.2 приложения 1; V – объём здания по наружному обмеру, м^3 ; $t_{вр}$ – расчётная температура воздуха в помещениях, $^\circ\text{C}$; $t_{но}$ и $t_{нв}$ – расчётные температуры наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции, $^\circ\text{C}$.

В нашем случае

$$Q_{\text{от}} = 1,08 \cdot 0,35 \cdot 14000 \cdot (18 + 25) \cdot 10^{-6} \approx 0,228 \text{ Гкал/ч};$$

$$Q_{\text{в}} = 1,08 \cdot 0,07 \cdot 14000 \cdot (18 + 14) \cdot 10^{-6} \approx 0,034 \text{ Гкал/ч}.$$

Расчётные расходы сетевой воды на отопление и теплообменники приточно-вентиляционных установок находим по формулам:

$$G_{\text{от}} = \frac{Q_{\text{от}}}{t_1 - t_2} \cdot 10^3 = \frac{0,228}{130 - 70} \cdot 10^3 = 3,793 \text{ т/ч};$$

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в}}}{t_{1\text{в}} - t_{2\text{в}}} \cdot 10^3 = \frac{0,034}{104 - 60} \cdot 10^3 = 0,77 \text{ т/ч},$$

где t_1 и t_2 – расчётные температуры воды в подающем и обратном трубопроводах, °С; $t_{1\text{в}}$ и $t_{2\text{в}}$ – температуры воды в подающем и обратном трубопроводах сети по принятому графику при температуре наружного воздуха, равной $t_{\text{нв}}$, °С.

Определяем располагаемый напор в тепловой сети:

$$H_{\text{рас}} = g^{-1} \left(\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} \right) \cdot 10^6 = 9,81^{-1} \left(\frac{0,65}{935,1} - \frac{0,25}{977,8} \right) \cdot 10^6 \approx 44,795 \text{ м вод. ст.},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; p_1 и p_2 – давления в прямом и обратном трубопроводах, МПа; ρ_1 и ρ_2 – плотности воды в прямом и обратном трубопроводах, отыскиваемые по табл. П.1.3 приложения 1, кг/м^3 .

Рассчитываем коэффициент смешения элеватора:

$$u = \frac{t_1 - t_3}{t_3 - t_2} = \frac{130 - 90}{90 - 70} = 2,$$

где t_3 – температура смешанной воды, °С.

Вычисляем минимальное значение располагаемого напора перед элеватором, необходимое для его нормальной работы:

$$H_{\text{рас}}^{\text{min}} = 1,4 \Delta h (1 + u)^2 = 1,4 \cdot 2,1 \cdot (1 + 2)^2 = 26,46 \text{ м вод. ст.},$$

где Δh – потери напора в местной системе отопления, м вод. ст.

Рассчитываем диаметр горловины элеватора:

$$d_r = 8,54 \sqrt{\frac{G_{от}^2 (1+u)^2}{\Delta h}} = 8,54 \sqrt{\frac{3,793^2 (1+2)^2}{2,1}} \approx 23,82 \text{ мм}.$$

В соответствии с табл. П.1.4 приложения 1 выбираем номер элеватора с ближайшим меньшим диаметром горловины: элеватор №2 с $d_r^{ct} = 20 \text{ мм}$.

Находим отношение располагаемых напоров $\gamma = H_{рас} / H_{рас}^{min}$, которое должно удовлетворять условию $\gamma \geq 1$. При выполнении означенного условия возможны два основных случая.

1 случай: $1 \leq \gamma \leq 2$, для которого диаметр сопла и КПД элеватора находят по выражениям:

$$d_c^\phi = 9,64 \sqrt{\frac{G_{от}^2}{H_{рас}}}, \text{ мм}; \quad \eta_{эл} = \frac{u\Delta h}{H_{рас} - \Delta h} \cdot 100\%.$$

2 случай: $\gamma > 2$, предполагающий гашение напора в два этапа: часть располагаемого напора, равная $2H_{рас}^{min}$, гасится соплом элеватора, а остальной напор – дроссельной шайбой, т.е. становятся справедливыми соотношения:

$$d_c^\phi = 9,64 \sqrt{\frac{G_{от}^2}{2H_{рас}^{min}}}, \text{ мм}; \quad d_{отв} = 10,4 \sqrt{\frac{G_{от}^2}{H_{рас} - 2H_{рас}^{min}}}, \text{ мм};$$

$$\eta_{эл} = \frac{u\Delta h}{2H_{рас}^{min} - \Delta h} \cdot 100\%.$$

В рассматриваемом примере $\gamma = H_{рас} / H_{рас}^{min} \approx 1,69 < 2$, следовательно диаметр сопла и КПД элеватора будут соответственно равны:

$$d_c^\phi = 9,64 \sqrt{\frac{3,793^2}{44,795}} \approx 7,23 \text{ мм}; \quad \eta_{эл} = \frac{2 \cdot 2,1}{44,795 - 2,1} \cdot 100\% \approx 9,837\%.$$

Ответ: Элеватор №2 с $d_r^{ct} = 20 \text{ мм}$ и $d_c^\phi = 7,2 \text{ мм}$; $\eta_{эл} \approx 9,837\%$.

ЗАДАЧА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТЕПЛА И ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ. ДРОССЕЛИРОВАНИЕ

Условие

Определить расчётный и среднечасовой расходы тепла на горячее водоснабжение девятиэтажного жилого дома с числом жителей m , а также расчётный расход тепла на ГВС жилого микрорайона, состоящего из n домов. Найти расчётные расходы сетевой воды на ГВС одного дома для параллельной и смешанной схем присоединения подогревателей, если известны: температуры воды в подающем $t_{1и}$ и обратном $t_{2и}$ трубопроводах системы ГВС в точке излома графика; температуры горячей $t_{г}$ и холодной $t_{х}$ воды в месте водоразбора; давления в подающем p_1 и обратном p_2 трубопроводах. Опираясь на полученные результаты, рассчитать диаметр отверстия $d_{отв}$ дроссельной диафрагмы, устанавливаемой на линии, подающей теплоноситель к подогревателю ГВС с гидравлическим сопротивлением Δh .

Исходные данные

n	m	$t_{1и}, ^\circ\text{C}$	$t_{2и}, ^\circ\text{C}$	$t_{г}, ^\circ\text{C}$	$t_{х}, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{МПа}$	$p_2, \text{МПа}$	$\Delta h, \text{м в.ст.}$
30	150	75	40	55	5	0,56	0,21	2,3

Решение

Определяем расчётный расход тепла на горячее водоснабжение одного жилого дома:

$$Q_{\text{ГВС(д)}}^{\text{max}} = k_{\text{ч}} \frac{ma(t_{\text{г}} - t_{\text{х}})}{\tau} \cdot 10^{-6} = 3,0 \cdot \frac{150 \cdot 130 \cdot (55 - 5)}{24} \cdot 10^{-6} \approx 0,122 \text{ Гкал/ч,}$$

где $k_{\text{ч}}$ – коэффициент часовой неравномерности расхода тепла за сутки наибольшего водопотребления, определяемый в зависимости от числа жителей по табл. П.1.5 приложения 1; m – число жителей (число единиц водопотребления); $a = 130$ – норма расхода горячей воды на одного жителя, л; $t_{\text{г}} = 55 ^\circ\text{C}$ – расчётная температура горячей воды; $t_{\text{х}} = 5 ^\circ\text{C}$ – температура воды в сети холодного водопровода зимой; $\tau = 24$ ч – число часов работы систем горячего водоснабжения в сутки для жилых домов.

Далее находим среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение жилого дома за сутки наибольшего водопотребления:

$$Q_{\text{ГВС(д)}}^{\text{ср}} = k_c Q_{\text{ГВС(д)}}^{\text{max}} / k_{\text{ч}} = 1,2 \cdot 0,122 / 3,0 = 0,049 \text{ Гкал/ч},$$

где $k_c = 1,2$ – коэффициент суточной неравномерности расхода тепла за неделю.

Вычисляем максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение микрорайона:

$$Q_{\text{ГВС(МК)}}^{\text{max}} = n k'_c Q_{\text{ГВС(д)}}^{\text{ср}} = 30 \cdot 1,7 \cdot 0,049 \approx 2,486 \text{ Гкал/ч},$$

где n – число домов в микрорайоне; $k'_c = 1,7$ – коэффициент часовой неравномерности при определении расхода тепла на горячее водоснабжение микрорайона.

Определяем расчётные расходы сетевой воды на горячее водоснабжение одного дома для параллельной

$$G_{\text{ГВС}}^{\parallel} = \frac{Q_{\text{ГВС(д)}}^{\text{max}}}{t_{1и} - t_{2и}} \cdot 10^3 = \frac{0,122}{75 - 40} \cdot 10^3 \approx 3,482 \text{ т/ч}$$

и смешанной

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{см}} = G_{\text{ГВС}}^{\parallel} \frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{и}}}{t_{\text{Г}} - t_{\text{х}}} = 3,482 \cdot \frac{55 - 30}{55 - 5} \approx 1,741 \text{ т/ч}$$

схем включения подогревателя.

Здесь $t_{1и}$ – температура воды в подающем трубопроводе в точке излома графика, °С; $t_{2и}$ – температура воды после подогревателя горячего водоснабжения в точке излома графика, °С; $t_{и}$ – температура водопроводной воды после подогревателя первой ступени, отыскиваемая по формуле: $t_{и} = t_{2и} - 10 = 40 - 10 = 30^\circ \text{С}$.

Рассчитываем располагаемый напор:

$$H_{\text{рас}} = g^{-1} \left(\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} \right) \cdot 10^6 = 9,81^{-1} \left(\frac{0,56}{974,9} - \frac{0,21}{992,3} \right) \cdot 10^6 \approx 36,981 \text{ м вод. ст.},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; p_1 и p_2 – давления в прямом и обратном трубопроводах, МПа; ρ_1 и ρ_2 – плотности воды в прямом и обратном трубопроводах, определяемые из табл. П.1.3 приложения 1 по соответствующим значениям температур $t_{1и}$ и $t_{2и}$, кг/м³.

Вычисляем напор, гасимый дроссельной диафрагмой:

$$H_{\text{др}} = H_{\text{рас}} - \Delta h = 36,981 - 2,3 = 34,681 \text{ м вод. ст.},$$

где Δh – гидравлическое сопротивление подогревателя, м вод. ст.

Находим диаметры отверстий дроссельных шайб, устанавливаемых на линии, подающей теплоноситель к подогревателям горячего водоснабжения, подключённым по параллельной схеме

$$d_{\text{отв}}^{\parallel} = 10^4 \sqrt{\frac{(G_{\text{ГВС}}^{\parallel})^2}{H_{\text{др}}}} = 10^4 \sqrt{\frac{3,482^2}{34,681}} \approx 7,69 \text{ мм}$$

и смешанной схеме

$$d_{\text{отв}}^{\text{см}} = 10^4 \sqrt{\frac{(G_{\text{ГВС}}^{\text{см}})^2}{H_{\text{др}}}} = 10^4 \sqrt{\frac{1,741^2}{34,681}} \approx 5,44 \text{ мм.}$$

Ответ: $d_{\text{отв}}^{\parallel} = 7,6 \text{ мм}$; $d_{\text{отв}}^{\text{см}} = 5,4 \text{ мм}$.

ЗАДАЧА № 3

РАСЧЁТ ТЕПЛОТДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ. ГАШЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО РАСПОЛАГАЕМОГО НАПОРА

Условие

Определить отопительную тепловую нагрузку десятиэтажного жилого дома с однотрубной системой отопления, оборудованной отопительными приборами типа МС-140 М и присоединённой к тепловой сети по элеваторной схеме. По вычисленному значению тепловой нагрузки найти расчётный расход сетевой воды и определить диаметр дроссельной диафрагмы, которую необходимо установить до элеватора для создания перед ним располагаемого напора $H_{\text{рас}}^{\text{эл}}$, если известны: площадь поверхности нагрева одной секции $F=0,208 \text{ м}^2$ и число секций N отопительных приборов; расчётная температура воздуха в помещении $t_{\text{вр}}=18^\circ\text{C}$; температуры воды в прямом t_1 и обратном t_2 трубопроводах тепловой сети; температура воды после элеватора t_3 ; давления и плотности воды в подающем (p_1 и ρ_1) и обратном (p_2 и ρ_2) трубопроводах. Определить диаметр сопла элеватора до и после установки дроссельной диафрагмы.

Исходные данные

N	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{МПа}$	$p_2, \text{МПа}$	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	$\rho_2, \text{кг/м}^3$	$H_{\text{рас}}^{\text{эл}}, \text{М в.ст.}$
2 400	130	70	90	0,65	0,25	935,1	977,8	12,5

Решение

Находим температурный напор

$$\Delta t = 0,5 \cdot (t_3 + t_2) - t_{\text{вр}}, ^\circ\text{C},$$

и расчётную тепловую нагрузку отопительных приборов конвективно-излучающего действия:

$$Q_{\text{от}} = kFN\Delta t \cdot 10^{-6}, \text{Гкал/ч},$$

где t_3 и t_2 – расчётные температуры греющей воды соответственно на входе в радиатор и выходе из него, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{вр}}$ – расчётная температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$; k – коэффициент теплопередачи отопительного прибора, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$

[$k = 7,0$ при $\Delta t < 60^\circ\text{C}$; $k = 7,5$ при $\Delta t \geq 60^\circ\text{C}$]; F – площадь поверхности нагрева радиатора, м^2 ; N – число секций прибора.

В рассматриваемом примере:

$$\Delta t = 0,5 \cdot (90 + 70) - 18 = 62^\circ \text{C};$$

$$Q_{\text{от}} = 7,5 \cdot 0,208 \cdot 2400 \cdot 62 \cdot 10^{-6} \approx 0,232 \text{ Гкал/ч.}$$

Определяем расчётный расход сетевой воды:

$$G_{\text{от}} = \frac{Q_{\text{от}}}{t_1 - t_2} \cdot 10^3 = \frac{0,232}{130 - 70} \cdot 10^3 = 3,869 \text{ т/ч,}$$

где t_1 – расчётная температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети, $^\circ\text{C}$.

Вычисляем располагаемый напор в тепловой сети:

$$H_{\text{рас}} = g^{-1} \left(\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} \right) \cdot 10^6 = 9,81^{-1} \left(\frac{0,65}{935,1} - \frac{0,25}{977,8} \right) \cdot 10^6 \approx 44,795 \text{ м вод. ст., г}$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; p_1 и p_2 – давления в прямом и обратном трубопроводах, МПа; ρ_1 и ρ_2 – плотности воды в прямом и обратном трубопроводах, отыскиваемые по табл. П.1.3 приложения 1, кг/м^3 .

Рассчитываем диаметр сопла элеватора до установки дроссельной шайбы:

$$d'_c = 9,64 \sqrt{\frac{G_{\text{от}}^2}{H_{\text{рас}}}} = 9,64 \sqrt{\frac{3,869^2}{44,795}} \approx 7,30 \text{ мм.}$$

Вычисляем напор, гасимый дроссельной диафрагмой:

$$H_{\text{др}} = H_{\text{рас}} - H_{\text{рас}}^{\text{эл}} = 44,795 - 12,5 = 32,295 \text{ м вод. ст.,}$$

где $H_{\text{рас}}^{\text{эл}}$ – заданное значение располагаемого напора перед элеватором, м вод. ст.

Находим диаметр отверстия дроссельной шайбы:

$$d_{\text{отв}} = 10,4 \sqrt{\frac{G_{\text{от}}^2}{H_{\text{др}}}} = 10,4 \sqrt{\frac{3,869^2}{32,295}} \approx 8,251 \text{ мм.}$$

Уточняем диаметр сопла элеватора с учётом установки дроссельной диафрагмы:

$$d_c'' = 9,64 \sqrt{\frac{G_{от}^2}{H_{рас}^{эл}}} = 9,64 \sqrt{\frac{3,869^2}{12,5}} \approx 10,04 \text{ мм.}$$

Ответ: $d_c' = 7,3 \text{ мм}$; $d_c'' = 10,0 \text{ мм}$; $d_{отв} = 8,2 \text{ мм}$.

ЗАДАЧА № 4 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Условие

У двухтрубного стального водяного теплопровода, проложенного на открытом воздухе, на значительной длине обратного трубопровода была полностью разрушена тепловая изоляция. Определить, через какое время начнётся образование льда в указанном участке после аварийного выключения циркуляции воды, если известны: температура наружного воздуха t_n ; температура воды в обратном трубопроводе t' до прекращения её циркуляции; среднее значение плотности воды $\rho_{\text{ср}}$; наружный диаметр d_n и толщина стенки δ трубопровода; коэффициенты теплоотдачи от внутренней α_v и наружной α_n стенок трубопровода; коэффициент теплопроводности стали трубопровода $\lambda_{\text{тр}}$. Теплоёмкость воды принять равной 4187 Дж/(кг·К).

Исходные данные

d_n , мм	δ , мм	α_v , Вт/(м ² ·К)	α_n , Вт/(м ² ·К)	$\lambda_{\text{тр}}$, Вт/(м·К)	t_n , °С	t' , °С
89	4,0	188	17,2	56,1	-20	65

Решение

Находим внутренний диаметр трубопровода:

$$d_v = d_n - 2\delta = 89 - 2 \cdot 4 = 81 \text{ мм} = 0,081 \text{ м},$$

где d_n и δ – соответственно наружный диаметр и толщина стенки трубопровода, мм.

Определяем термическое сопротивление трубопровода:

$$R = \frac{1}{\pi d_v \alpha_v} + \frac{1}{2\pi \lambda_{\text{тр}}} \ln\left(\frac{d_n}{d_v}\right) + \frac{1}{\pi d_n \alpha_n}, \text{ (м·К)/Вт},$$

где α_v и α_n – коэффициенты теплоотдачи от внутренней и наружной стенок трубопровода, Вт/(м²·К); $\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м·К).

В нашем случае

$$R = \frac{1}{3,14 \cdot 0,081 \cdot 188} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 56,1} \ln\left(\frac{0,089}{0,081}\right) +$$

$$+ \frac{1}{3,14 \cdot 0,089 \cdot 17,2} \approx 0,229 \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Вычисляем среднее значение температуры воды в трубопроводе:

$$t_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (t' + t'') = 0,5 \cdot (65 + 0) = 32,5^\circ \text{C},$$

t' и t'' – начальная и конечная температуры воды в трубопроводе, $^\circ\text{C}$.

Определяем массу воды в трубопроводе длиной l :

$$m = \frac{\pi d_{\text{в}}^2 \rho_{\text{ср}} l}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,081^2 \cdot 994,9}{4} l \approx 5,124l \text{ (кг)},$$

где $\rho_{\text{ср}}$ – плотность воды, определяемая по температуре $t_{\text{ср}}$ из табл. П.1.3 приложения 1, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рассчитываем время начала образования льда в проложенном на открытом воздухе водяном трубопроводе после прекращения в нём циркуляции воды:

$$\tau = \frac{m R c_p}{3600l} \ln \left(\frac{t' - t_{\text{н}}}{t'' - t_{\text{н}}} \right) = \frac{5,124l \cdot 0,229 \cdot 4187}{3600l} \ln \left(\frac{65 + 20}{0 + 20} \right) \approx 1,977 \text{ ч},$$

где c_p – изобарная теплоёмкость воды, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Ответ: $\tau \approx 1,977 \text{ ч}$.

ЗАДАЧА № 5

ПОДБОР КЛАПАНОВ РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Условие

Выбрать регулирующий клапан, устанавливаемый на прямом трубопроводе тепловой сети, если известны: температура t и избыточное давление p воды перед клапаном; давление насыщенных водяных паров $p_{\text{нас}}$; предварительно заданный перепад давления на регулирующем клапане $\Delta p'_{\text{кл}}$; расчётный расход теплоносителя G_p .

Исходные данные

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{бар}$	$p_{\text{нас}}, \text{бар}$	$\Delta p'_{\text{кл}}, \text{бар}$	$G_p, \text{м}^3/\text{ч}$
149	7,9	4,635	2,48	35

Решение

Рассчитываем требуемую пропускную способность клапана:

$$K'_v = \frac{1,2G_p}{\sqrt{\Delta p'_{\text{кл}}}} = \frac{1,2 \cdot 35}{\sqrt{2,48}} \approx 26,67 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где G_p – расчётный расход теплоносителя через клапан, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\Delta p'_{\text{кл}}$ – предварительно заданный перепад давления на регулирующем клапане, бар.

Из табл. П.2.1 приложения 2 предварительно выбираем регулирующий клапан с $D_v 50$, $K'_{vs} = 32 \text{ м}^3/\text{ч}$ и коэффициентом начала кавитации $z = 0,5$.

Определяем предельно допустимый перепад давлений на регулирующем клапане:

$$\Delta p_{\text{кл}}^{\text{пред}} = z(p - p_{\text{нас}}) = 0,5 \cdot (7,9 - 4,635) \approx 1,633 \text{ бар},$$

где p – избыточное давление теплоносителя перед регулирующим клапаном, бар; $p_{\text{нас}}$ – давление насыщения при температуре воды t , бар.

Далее проводят проверку регулирующего клапана на соответствие условию бескавитационной работы: $\Delta p'_{\text{кл}} \leq \Delta p_{\text{кл}}^{\text{пред}}$. При выполнении данного условия расчёт считают окончанным, в противном случае пересчитывают требуемую пропускную способность клапана по формуле:

$$K_v'' = \frac{1,2G_p}{\sqrt{\Delta p_{\text{кл}}^{\text{пред}}}}.$$

Так как в нашем случае первоначально принятый перепад давлений на клапане оказался больше предельно допустимого перепада

$$\Delta p'_{\text{кл}} > \Delta p_{\text{кл}}^{\text{пред}} \quad (2,48 \text{ бар} > 1,633 \text{ бар}),$$

выполняем пересчёт требуемой пропускной способности клапана:

$$K_v'' = \frac{1,2G_p}{\sqrt{\Delta p_{\text{кл}}^{\text{пред}}}} = \frac{1,2 \cdot 35}{\sqrt{1,633}} \approx 32,872 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По скорректированному значению K_v'' из табл. П.2.1 приложения 2 выбираем регулирующий клапан с $D_y 65$, $K''_{vs} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $z = 0,5$.

Ответ: Регулирующий клапан с $D_y 65$, $K''_{vs} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $z = 0,5$.

ЗАДАЧА № 6

ПРОМЫВКА ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Условие

Определить порядок промывки трубопроводов внутриквартальной тепловой сети, представленной на рис. 6.1. Произвести расчёт необходимых для промывки расходов воздуха L и воды G_{Σ} , а также определить начальное давление водовоздушной смеси p_0^{CM} и расчётную производительность компрессора L_k , если известны: диаметры D_i и длины l_i трубопроводов ($i=1, 2, 3$ либо 4 – номер промываемого участка); длина дренажных трубопроводов $l_{др}$; коэффициент эквивалентной шероховатости трубопроводов k_3 ; коэффициент промывки m ; скорость движения водовоздушной смеси v ; разность высот в точках ввода и сброса воды на промываемых участках z .

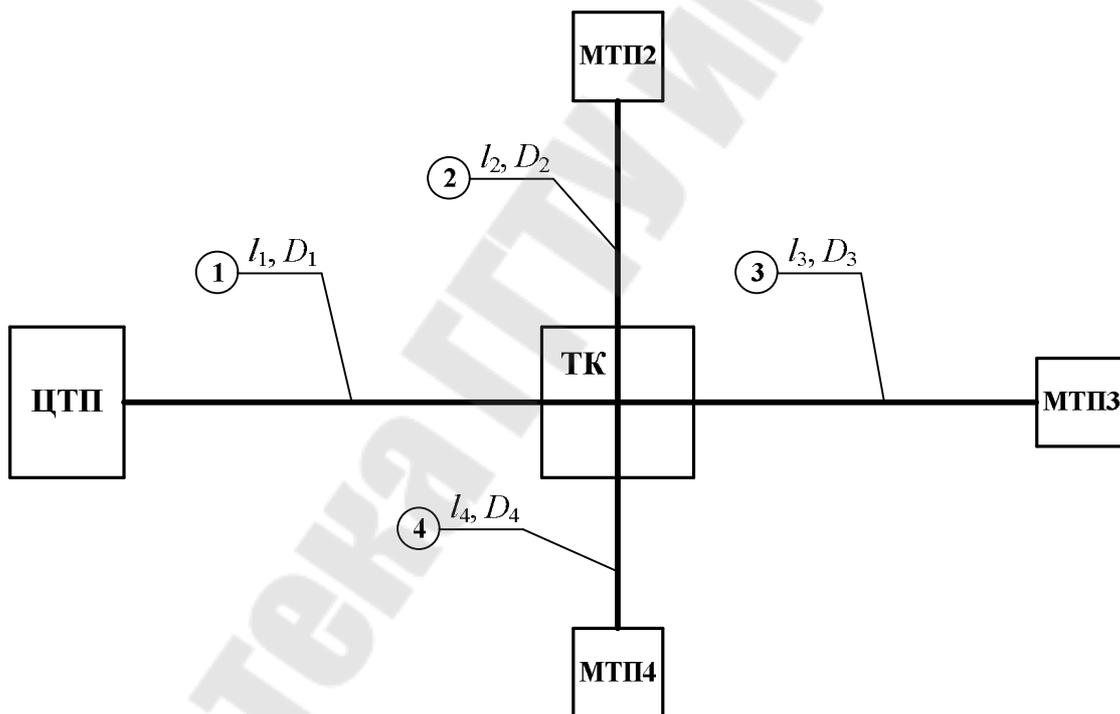


Рисунок 6.1. – Схема промывки внутриквартальной тепловой сети:
ЦТП и МТП – центральный и местный тепловые пункты; ТК – тепловая камера

Исходные данные

$D_1, \text{мм}$	$D_2, \text{мм}$	$D_3, \text{мм}$	$D_4, \text{мм}$	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$l_3, \text{м}$	$l_4, \text{м}$	$l_{др}, \text{м}$	m	$v, \text{м/с}$	z	k_3
300	150	100	80	75	50	70	40	15	2	2,5	-1	0,7

Решение

Принимаем очередность промывки, в соответствии с которой промываются подающий и обратный трубопроводы:

- по трассе участков 1 и 2 (участки 3 и 4 отключены);
- по трассе участков 1 и 3 (участки 2 и 4 отключены);
- по трассе участков 1 и 4 (участки 2 и 3 отключены).

Для заданных скорости движения водовоздушной смеси $\vartheta = 2,5$ м/с и коэффициента промывки $m = 2$ по номограммам, представленным на рис. П.3.1–П.3.3 приложения 3, определяем значения расхода воды G_i и удельных потерь напора Δh_i на i -м участке ($i = 1, 2, 3$ либо 4) с диаметром D_i :

$$G_i = f(\vartheta, m, D_i), \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta h_i = g\Delta h_i^{\text{HM}}, \text{ Па/м},$$

где $\Delta h_i^{\text{HM}} = f(\vartheta, m, D_i)$ – удельные потери напора, мм вод. ст., определяемые по номограммам рис. П.3.1–П.3.3 приложения 3.

$$G_1 = 201 \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta h_1 = 9,81 \cdot 88 \approx 863 \text{ Па/м};$$

$$G_2 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta h_2 = 9,81 \cdot 232 \approx 2276 \text{ Па/м};$$

$$G_3 = 21,5 \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta h_3 = 9,81 \cdot 384 \approx 3767 \text{ Па/м};$$

$$G_4 = 11,6 \text{ м}^3/\text{ч}; \Delta h_4 = 9,81 \cdot 474 \approx 4650 \text{ Па/м}.$$

Здесь $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – коэффициент пересчёта потерь напора из мм вод. ст. в Па/м при плотности воды, равной 1000 кг/м^3 .

Определяем суммарный расход воды на участках 2–4:

$$G_{2-4} = G_2 + G_3 + G_4 = 50 + 21,5 + 11,6 = 83,1 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Далее выполняют проверку возможности промывки первого участка водой с расходом G_{2-4} , который заведомо меньше расхода G_1 . Для этого на номограмме, соответствующей диаметру D_1 первого участка (см. рис. П.3.1–П.3.3 приложения 3), откладывают значение расхода G_{2-4} и определяют скорость промывки ϑ_{2-4} , отвечающую данному расходу. При соответствии найденной скорости оптимальным условиям промывки ($1,5 \div 3,0$ м/с) суммарный расход воды для промывки подающих и обратных трубопроводов тепловой сети определяют по формуле: $G_{\Sigma} = 2G_{2-4}$. В противном случае суммарный расход находят по выражению: $G_{\Sigma} = 2G_1$.

В нашем случае данное условие не выполняется, поскольку при расходе воды на первом участке $G_{2-4} = 83,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ скорость промывки $q_{2-4} \approx 1,05 < 1,5 \text{ м/с}$. В связи с этим суммарный расход воды, необходимой для промывки подающих и обратных трубопроводов тепловой сети, определяем из соотношения:

$$G_{\Sigma} = 2 \cdot G_1 = 2 \cdot 201 = 402 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Находим расход воздуха, требуемый для промывки тепловой сети:

$$L = m \cdot G_{\Sigma} = 2 \cdot 402 = 804 \text{ м}^3/\text{ч},$$

по значению которого определяем расчётную производительность компрессора:

$$L_k = L/60 = 804/60 = 13,4 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Определяем суммарное значение номинальных производительностей компрессоров, принимаемых для гидропневматической промывки:

$$L_k^{\text{ном}} = 12 + 1,5 = 13,5 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

По табл. П.2.2 приложения 2 определяем диаметры дренажных трубопроводов: $D_1^{\text{дп}} = 200 \text{ мм}$; $D_2^{\text{дп}} = 70 \text{ мм}$; $D_3^{\text{дп}} = 70 \text{ мм}$; $D_4^{\text{дп}} = 40 \text{ мм}$.

Рассчитываем удельные потери напора в дренажных трубопроводах:

$$\Delta h_i^{\text{дп}} = 9,81 r_i G_i^2, \text{ Па/м},$$

где r_i – удельное сопротивление дренажного трубопровода, $\text{мм} \cdot \text{ч}^2/(\text{м}^6 \cdot \text{м})$, определяемое из табл. П.2.2 приложения 2.

$$\Delta h_1^{\text{дп}} = 9,81 \cdot 3,89 \cdot 10^{-4} \cdot 201^2 \approx 154 \text{ Па/м}^*);$$

$$\Delta h_2^{\text{дп}} = 9,81 \cdot 9,7 \cdot 10^{-2} \cdot 50^2 \approx 2379 \text{ Па/м};$$

$$\Delta h_3^{\text{дп}} = 9,81 \cdot 9,7 \cdot 10^{-2} \cdot 21,5^2 \approx 440 \text{ Па/м};$$

$$\Delta h_4^{\text{дп}} = 9,81 \cdot 2,3 \cdot 11,6^2 \approx 3036 \text{ Па/м}.$$

*) В случае обеспечения условий оптимальной промывки удельные потери напора в дренажном трубопроводе 1-го участка принимаются равными нулю.

Находим линейные потери давления в дренажных трубопроводах:

$$\Delta p_i^{\text{др}} = c k_i^n \Delta h_i^{\text{др}} l_{\text{др}} \cdot 10^{-6}, \text{ МПа},$$

где c – поправочный множитель ($c = 4,35$ при $m = 1$; $c = 6,21$ при $m = 2$); k_i^n – поправочный коэффициент, учитывающий изменение потерь напора в трубопроводах с эквивалентной шероховатостью, отличной от $k_s = 0,5$ мм и определяемый из табл. П.2.3 приложения 2; $l_{\text{др}}$ – длина дренажного трубопровода, м.

$$\Delta p_1^{\text{др}} = 6,21 \cdot 1,1 \cdot 154 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \approx 0,016 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_2^{\text{др}} = 6,21 \cdot 1,12 \cdot 2379 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \approx 0,248 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_3^{\text{др}} = 6,21 \cdot 1,12 \cdot 440 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \approx 0,046 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_4^{\text{др}} = 6,21 \cdot 1,13 \cdot 3036 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \approx 0,320 \text{ МПа}.$$

Рассчитываем линейные потери напора на участках тепловой сети:

$$\Delta p_i^{\text{см}} = 1,5 k_i^n \Delta h_i l_i \cdot 10^{-6}, \text{ МПа},$$

где l_i – длина i -го участка тепловой сети.

$$\Delta p_1^{\text{см}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 863 \cdot 75 \cdot 10^{-6} \approx 0,107 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_2^{\text{см}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 2276 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \approx 0,188 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_3^{\text{см}} = 1,5 \cdot 1,11 \cdot 3767 \cdot 70 \cdot 10^{-6} \approx 0,439 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_4^{\text{см}} = 1,5 \cdot 1,11 \cdot 4650 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \approx 0,310 \text{ МПа}.$$

Определяем потребное начальное давление водовоздушной смеси для осуществления промывки по j -му направлению ($j = 2, 3$ либо 4):

$$\Delta p_{0(1-j)}^{\text{см}} = \Delta p_1^{\text{см}} + \Delta p_1^{\text{др}} + \Delta p_j^{\text{см}} + \Delta p_j^{\text{др}} + \frac{z}{100} + 0,05, \text{ МПа},$$

где z – разность высот в точках ввода и сброса воды на промываемом участке. Если точка сброса расположена выше точки ввода, то z принимают со знаком "+", если ниже – со знаком "-".

$$\Delta p_{0(1-2)}^{\text{см}} = 0,107 + 0,016 + 0,188 + 0,248 - \frac{1}{100} + 0,05 = 0,599 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_{0(1-3)}^{\text{см}} = 0,107 + 0,016 + 0,439 + 0,046 - \frac{1}{100} + 0,05 = 0,648 \text{ МПа} ;$$

$$\Delta p_{0(1-4)}^{\text{см}} = 0,107 + 0,016 + 0,310 + 0,320 - \frac{1}{100} + 0,05 = 0,792 \text{ МПа} .$$

За начальное давление принимаем наибольшее из рассчитанных давлений $\Delta p_{0(1-j)}^{\text{см}}$. В нашем случае $p_0^{\text{см}} = \Delta p_{0(1-4)}^{\text{см}} = 0,792 \text{ МПа}$.

Ответ: $G_{\Sigma} = 402 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L = 804 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{\text{к}} = 13,4 \text{ м}^3/\text{мин}$;
 $L_{\text{к}}^{\text{ном}} = 13,5 \text{ м}^3/\text{мин}$; $p_0^{\text{см}} = 0,792 \text{ МПа}$.

ЗАДАЧА № 7 ОЧИСТКА ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ОТ НАКИПИ

Условие

Определить концентрацию раствора C_{sol} и расход G_{HCl} соляной кислоты для удаления накипи с трубок подогревателя.

Исходные данные

Толщина накипи на стенках трубок подогревателя $\delta = 2$ мм; плотность накипи $\rho = 2000$ кг/м³; площадь поверхности нагрева водонагревателя $F = 60,9$ м²; концентрация неразбавленной соляной кислоты $C_{\text{HCl}} = 20\%$; объём воды для приготовления раствора соляной кислоты $V = 3$ м³.

Решение

Определяем массу накипи на трубках подогревателя:

$$m = 0,001\delta F\rho = 0,001 \cdot 2 \cdot 60,9 \cdot 2000 = 243,6 \text{ кг},$$

где δ – толщина накипи на стенках трубок подогревателя, мм; F – площадь поверхности нагрева водонагревателя, м²; ρ – плотность накипи, кг/м³.

Рассчитываем концентрацию раствора соляной кислоты, обеспечивающую растворение отложений накипи:

$$C_{\text{sol}} = \frac{0,73m}{10V} = \frac{0,73 \cdot 243,6}{10 \cdot 3} \approx 5,928\%,$$

где 0,73 кг – масса соляной кислоты с концентрацией 100%, необходимой для растворения 1 кг накипи; V – объём воды для приготовления раствора соляной кислоты.

Находим расход соляной кислоты, требуемый для очистки подогревателей от накипи:

$$G_{\text{HCl}} = \frac{VC_{\text{sol}}}{C_{\text{HCl}}} = \frac{3 \cdot 5,928}{20} \approx 0,889 \text{ т},$$

где C_{HCl} – концентрация неразбавленной соляной кислоты.

Ответ: $C_{\text{sol}} \approx 5,928\%$; $G_{\text{HCl}} \approx 0,889$ т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наладка и испытание систем и установок теплоснабжения: практическое руководство к выполнению контрольной работы по одноименному курсу для студентов спец. 43 01 05 "Промышленная теплоэнергетика" (Т.01.02.00 "Теплоэнергетика") заочной формы обучения / Д. А. Дробышевский, В. С. Малишевский, И. Р. Погарцев. – Гомель: ГГТУ, 2005. – 36 с.
2. Сафонов, А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям / А. П. Сафонов. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
3. Витальев, В. П. Эксплуатация тепловых пунктов и систем теплоснабжения: справочник / В. П. Витальев, В. Б. Николаев, Н. Н. Сельдин. – Москва: Стройиздат, 1988. – 623 с.
4. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж [и др.]. – 4-е изд. – Москва: Либроком, 2009. – 432 с.
5. Мадорский, Б. М. Эксплуатация центральных тепловых пунктов, систем отопления и горячего водоснабжения / Б. М. Мадорский, В. А. Шмидт. – Москва: Стройиздат, 1971. – 168 с.
6. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения зданий / В. В. Невский, К. Ф. Волыхин, А. М. Малахов [и др.]. – Москва: ЗАО «Данфосс», 2005. – 80 с.
7. Пырков, В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В. В. Пырков. – Киев: П ДП «Такі справи», 2007. – 252 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1.1

Поправочный коэффициент α

$t_{\text{но}}, ^\circ\text{C}$	α	$t_{\text{но}}, ^\circ\text{C}$	α
0	2,05	-25	1,08
-5	1,67	-30	1,0
-10	1,45	-35	0,95
-15	1,29	-40	0,90
-20	1,17	-45	0,85

Таблица П.1.2

Удельные тепловые характеристики

$V, \text{м}^3$	$q_{\text{от}}$	$q_{\text{в}}$
	ккал/($\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$)	
0 – 5 000	0,43	0,09
5 001 – 10 000	0,38	0,08
10 001 – 15 000	0,35	0,07
15 001 – ∞	0,32	0,18

Таблица П.1.3

Плотность воды

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$						
0	999.9	40	992.3	80	971.9	120	943.4
5	999.9	45	990.3	85	968.8	125	939.3
10	999.7	50	988.1	90	965.5	130	935.1
15	999.1	55	985.7	95	962	135	930.8
20	998.3	60	983.1	100	958.5	140	926.4
25	997.1	65	980.6	105	955	145	921.8
30	995.7	70	977.8	110	951.3	150	917.2
35	994.1	75	974.9	115	947.4	155	912.4

Таблица П.1.4

Диаметр горловины элеватора

Номер элеватора	1	2	3	4	5	6	7
$d_{\text{г}}, \text{мм}$	15	20	25	30	35	47	59

Таблица П.1.5

Коэффициент часовой неравномерности

Число жителей	50	100	150	200	250	300	500	1000	3000	6000
$k_{\text{ч}}$	4,5	3,5	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0

Приложение 2

Таблица П.2.1

Технические характеристики регулирующих клапанов

K_{vs} , м ³ /ч	4	6,3	8	16	20	32	50	80	125	160	280	320	400
D_y , мм	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250
z	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,2	0,2

Таблица П.2.2

Диаметры и удельные сопротивления дренажных трубопроводов

Характеристика	Диаметр промываемого трубопровода D_i , мм			
	50–80	100–150	200–250	300–400
$D_i^{ДР}$, мм	40	70	150	200
r_i , мм·ч ² /(м ⁶ ·м)	2,3	$9,7 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3,89 \cdot 10^{-4}$

Таблица П.2.3

Поправочные коэффициенты к значениям потерь напора

Диаметр трубопровода, мм	Поправочный коэффициент $k_i^П$									
	Коэффициент эквивалентной шероховатости k_s									
	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
40	1,13	1,19	1,24	1,30	1,35	1,40	1,44	1,49	1,54	1,58
50	1,12	1,18	1,23	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,51	1,55
70	1,12	1,17	1,22	1,26	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,51
80	1,11	1,17	1,21	1,26	1,30	1,34	1,38	1,42	1,46	1,50
100	1,11	1,16	1,21	1,25	1,29	1,33	1,37	1,40	1,44	1,47
125	1,10	1,15	1,20	1,24	1,28	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45
150	1,10	1,15	1,19	1,23	1,27	1,31	1,34	1,37	1,41	1,44
200	1,10	1,14	1,18	1,22	1,26	1,30	1,32	1,36	1,38	1,42
250	1,10	1,14	1,18	1,22	1,25	1,29	1,31	1,35	1,37	1,40
300	1,10	1,13	1,18	1,21	1,24	1,27	1,30	1,33	1,36	1,39
350	1,09	1,13	1,17	1,20	1,23	1,27	1,30	1,32	1,35	1,38
400	1,09	1,13	1,17	1,20	1,23	1,27	1,29	1,32	1,34	1,37

Приложение 3

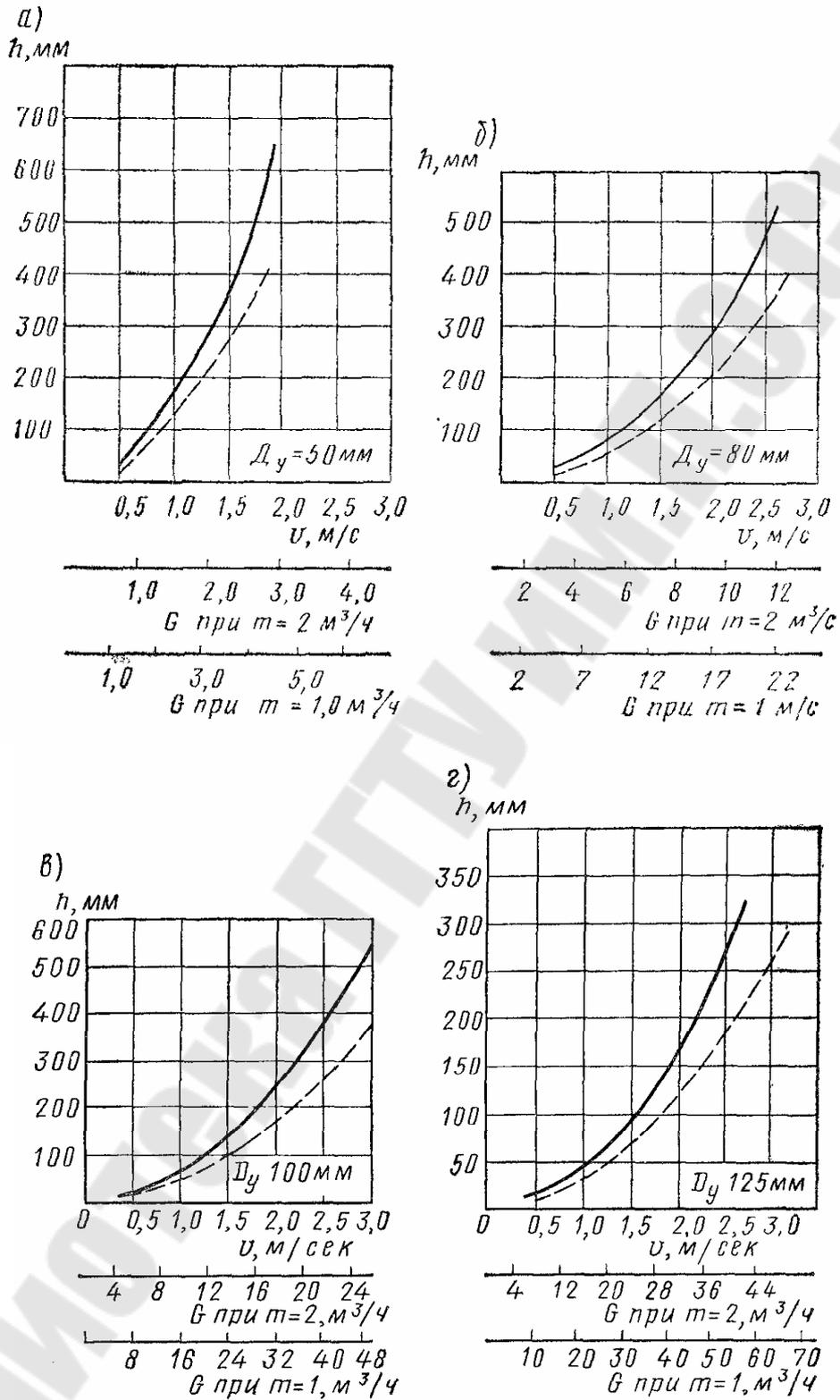


Рисунок П.3.1. – Номограммы для определения потерь напора в трубопроводах с диаметром условного прохода от 50 до 125 мм: пунктирная линия для $m=1$; сплошная линия для $m=2$

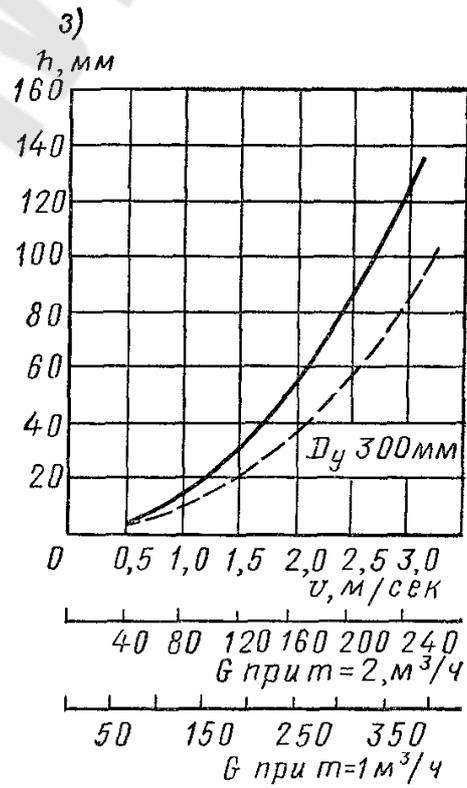
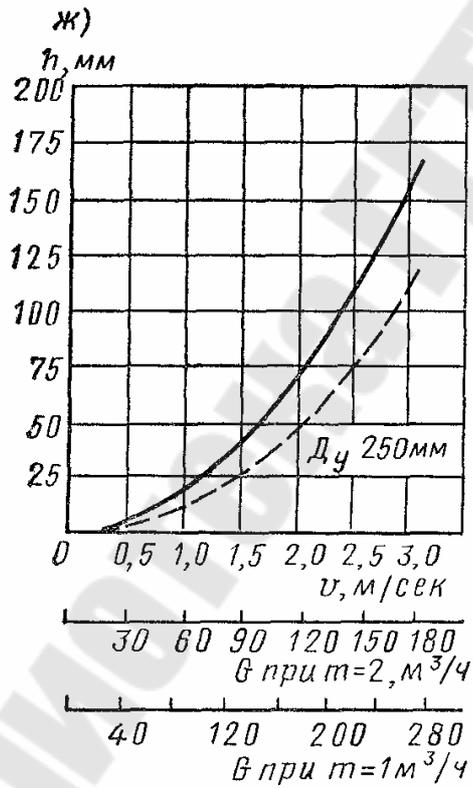
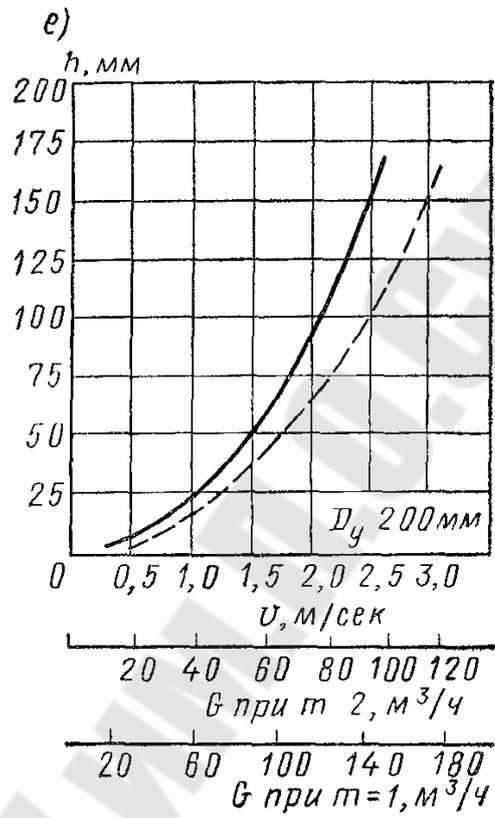
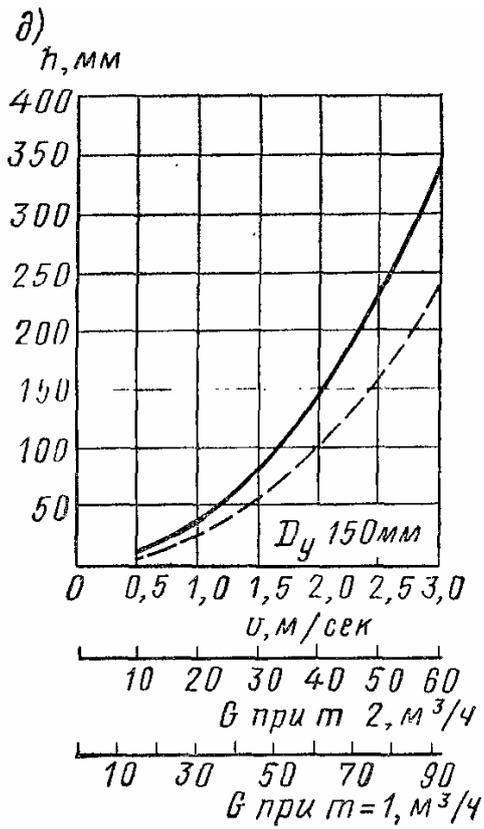


Рисунок П.3.2. – Номограммы для определения потерь напора в трубопроводах с диаметром условного прохода от 150 до 300 мм: пунктирная линия для $m=1$; сплошная линия для $m=2$

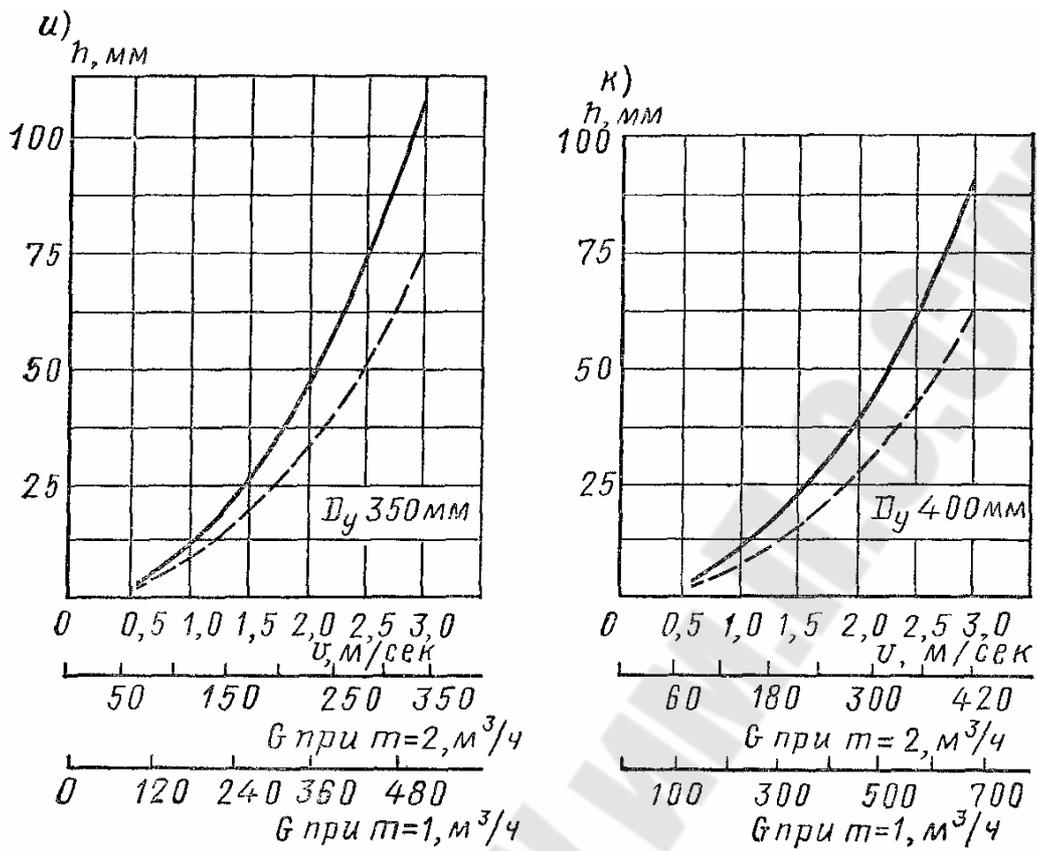


Рисунок П.3.3. – Номограммы для определения потерь напора в трубопроводах с диаметром условного прохода от 350 до 400 мм: пунктирная линия для $m=1$; сплошная линия для $m=2$

Приложение 4

Условия и варианты исходных данных к задачам для контрольных работ по дисциплине

Задача № 1. По укрупнённым показателям определить расчётные отопительную и вентиляционную нагрузки девятиэтажного жилого дома объёмом V . Найти расчётные расходы сетевой воды на отопление и вентиляцию для температурного графика t_1/t_2 , если известны: расчётная температура воздуха в помещении $t_{вп}=18^\circ\text{C}$; температуры наружного воздуха для проектирования отопления $t_{но}$ и вентиляции $t_{нв}$; температура смешанной воды t_3 ; температуры воды в подающем $t_{1в}$ и обратном $t_{2в}$ трубопроводах при $t_{нв}$; давления в подающем p_1 и обратном p_2 трубопроводах. Произвести подбор элеватора для присоединения к тепловой сети системы отопления жилого дома, имеющей гидравлическое сопротивление Δh . Рассчитать КПД элеватора.

Варианты исходных данных

№	$V, \text{ м}^3$	$t_{но}, ^\circ\text{C}$	$t_{нв}, ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_{1в}, ^\circ\text{C}$	$t_{2в}, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{ МПа}$	$p_2, \text{ МПа}$	$\Delta h, \text{ м в.ст.}$
1	7 000	-30	-18	150	70	95	120	60	0,60	0,20	2,0
2	14 000	-25	-14	130	70	90	104	60	0,65	0,25	2,1
3	21 000	-20	-11	120	70	85	98	60	0,70	0,30	2,2
4	7 000	-15	-4	110	70	80	83	56	0,75	0,20	2,3
5	14 000	-30	-17	150	70	95	117	59	0,80	0,25	2,4
6	21 000	-25	-13	130	70	90	102	59	0,85	0,30	2,5
7	7 000	-20	-10	120	70	85	96	59	0,60	0,20	2,6
8	14 000	-15	-3	110	70	80	80	55	0,85	0,25	2,7
9	21 000	-30	-16	150	70	95	115	58	0,70	0,30	2,8
10	7 000	-25	-12	130	70	90	99	58	0,75	0,20	2,9
11	14 000	-20	-9	120	70	85	93	58	0,80	0,25	3,0
12	21 000	-15	-2	110	70	80	77	53	0,85	0,20	2,5
13	7 000	-30	-18	150	70	95	120	60	0,65	0,20	2,6
14	14 000	-25	-14	130	70	90	104	60	0,70	0,25	2,7
15	21 000	-20	-11	120	70	85	98	60	0,85	0,30	2,8
16	7 000	-15	-4	110	70	80	83	56	0,75	0,20	2,0
17	14 000	-30	-17	150	70	95	117	59	0,60	0,25	2,1
18	21 000	-25	-13	130	70	90	102	59	0,75	0,30	2,2
19	7 000	-20	-10	120	70	85	96	59	0,60	0,20	2,3
20	14 000	-15	-3	110	70	80	80	55	0,75	0,25	2,4
21	21 000	-30	-16	150	70	95	115	58	0,70	0,30	2,5
22	7 000	-25	-12	130	70	90	99	58	0,75	0,20	2,6
23	14 000	-20	-9	120	70	85	93	58	0,80	0,25	2,7
24	21 000	-15	-2	110	70	80	77	53	0,85	0,20	2,8
25	7 000	-30	-18	150	70	95	120	60	0,60	0,20	2,0
26	14 000	-25	-14	130	70	90	104	60	0,65	0,25	2,1
27	21 000	-20	-11	120	70	85	98	60	0,75	0,20	2,2
28	7 000	-15	-4	110	70	80	83	56	0,75	0,20	2,0
29	14 000	-30	-17	150	70	95	117	59	0,80	0,30	2,1
30	21 000	-25	-13	130	70	90	102	59	0,75	0,30	2,2

Задача №2. Определить расчётный и среднечасовой расходы тепла на горячее водоснабжение девятиэтажного жилого дома с числом жителей m , а также расчётный расход тепла на ГВС жилого микрорайона, состоящего из n домов. Найти расчётные расходы сетевой воды на ГВС одного дома для параллельной (нечётный вариант) либо смешанной (чётный вариант) схем присоединения подогревателей, если известны: температуры воды в подающем $t_{1н}$ и обратном $t_{2н}$ трубопроводах системы ГВС в точке излома графика; температуры горячей t_r и холодной t_x воды в месте водоразбора; давления в подающем p_1 и обратном p_2 трубопроводах. Опираясь на полученные результаты, рассчитать диаметр отверстия $d_{отв}$ дроссельной диафрагмы, устанавливаемой на линии, подающей теплоноситель к подогревателю ГВС с гидравлическим сопротивлением Δh .

Варианты исходных данных

№	n	m	$t_{1н}, ^\circ\text{C}$	$t_{2н}, ^\circ\text{C}$	$t_r, ^\circ\text{C}$	$t_x, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{МПа}$	$p_2, \text{МПа}$	$\Delta h,$ м в.ст.
1	25	100	70	35	50	5	0,55	0,20	2,0
2	30	150	75	40	55	5	0,56	0,21	2,3
3	35	200	70	35	60	5	0,57	0,22	2,6
4	40	250	75	40	65	5	0,58	0,23	2,9
5	45	300	70	35	50	5	0,59	0,24	3,2
6	50	100	75	40	55	5	0,60	0,25	3,5
7	55	150	70	35	60	5	0,61	0,26	3,8
8	60	200	75	40	65	5	0,62	0,27	4,1
9	65	250	70	35	50	5	0,63	0,28	4,4
10	70	300	75	40	55	5	0,64	0,29	4,7
11	25	100	70	35	60	5	0,65	0,30	5,0
12	30	150	75	40	65	5	0,66	0,31	5,3
13	35	200	70	35	50	5	0,67	0,32	5,6
14	40	250	75	40	55	5	0,68	0,20	5,9
15	45	300	70	35	60	5	0,69	0,21	6,2
16	50	100	75	40	65	5	0,70	0,22	6,5
17	55	150	70	35	50	5	0,71	0,23	6,8
18	60	200	75	40	55	5	0,72	0,24	7,1
19	65	250	70	35	60	5	0,73	0,25	7,4
20	70	300	75	40	65	5	0,74	0,26	7,7
21	25	100	70	35	50	5	0,75	0,27	8,0
22	30	150	75	40	55	5	0,76	0,28	8,3
23	35	200	70	35	60	5	0,77	0,29	8,6
24	40	250	75	40	65	5	0,78	0,30	8,9
25	45	300	70	35	50	5	0,79	0,31	9,2
26	50	100	75	40	55	5	0,80	0,32	9,5
27	55	150	70	35	60	5	0,81	0,20	9,8
28	60	200	75	40	65	5	0,82	0,21	10,1
29	65	250	70	35	50	5	0,83	0,22	10,4
30	70	300	75	40	55	5	0,84	0,23	10,7

Задача №3. Определить отопительную тепловую нагрузку десятиэтажного жилого дома с однетрубной системой отопления, оборудованной отопительными приборами типа МС-140 М и присоединённой к тепловой сети по элеваторной схеме. По вычисленному значению тепловой нагрузки найти расчётный расход сетевой воды и определить диаметр дроссельной диафрагмы, которую необходимо установить до элеватора для создания перед ним располагаемого напора $H_{\text{рас}}^{\text{эл}}$, если известны: площадь поверхности нагрева одной секции $F=0,208 \text{ м}^2$ и число секций N отопительных приборов; расчётная температура воздуха в помещении $t_{\text{вр}}=18^\circ\text{C}$; температуры воды в прямом t_1 и обратном t_2 трубопроводах тепловой сети; температура воды после элеватора t_3 ; давления и плотности воды в подающем (p_1 и ρ_1) и обратном (p_2 и ρ_2) трубопроводах. Определить диаметр сопла элеватора до и после установки дроссельной диафрагмы.

Варианты исходных данных

№	N	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$p_1, \text{МПа}$	$p_2, \text{МПа}$	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	$\rho_2, \text{кг/м}^3$	$H_{\text{рас}}^{\text{эл}}, \text{М в.ст.}$
1	1 200	150	70	95	0,60	0,20	917,2	977,8	12,0
2	2 400	130	70	90	0,65	0,25	935,1	977,8	12,5
3	3 600	120	70	85	0,70	0,30	943,4	977,8	13,0
4	4 800	110	70	80	0,75	0,20	951,3	977,8	13,5
5	6 000	150	70	95	0,80	0,25	917,2	977,8	14,0
6	1 200	130	70	90	0,85	0,30	935,1	977,8	14,5
7	2 400	120	70	85	0,60	0,20	943,4	977,8	15,0
8	3 600	110	70	80	0,85	0,25	951,3	977,8	15,5
9	4 800	150	70	95	0,70	0,30	917,2	977,8	16,0
10	6 000	130	70	90	0,75	0,20	935,1	977,8	16,5
11	1 200	120	70	85	0,80	0,25	943,4	977,8	12,0
12	2 400	110	70	80	0,85	0,20	951,3	977,8	12,5
13	3 600	150	70	95	0,65	0,20	917,2	977,8	13,0
14	4 800	130	70	90	0,70	0,25	935,1	977,8	13,5
15	6 000	120	70	85	0,85	0,30	943,4	977,8	14,0
16	1 200	110	70	80	0,75	0,20	951,3	977,8	14,5
17	2 400	150	70	95	0,60	0,25	917,2	977,8	15,0
18	3 600	130	70	90	0,75	0,30	935,1	977,8	15,5
19	4 800	120	70	85	0,60	0,20	943,4	977,8	16,0
20	6 000	110	70	80	0,75	0,25	951,3	977,8	16,5
21	1 200	150	70	95	0,70	0,30	917,2	977,8	12,0
22	2 400	130	70	90	0,75	0,20	935,1	977,8	12,5
23	3 600	120	70	85	0,80	0,25	943,4	977,8	13,0
24	4 800	110	70	80	0,85	0,20	951,3	977,8	13,5
25	6 000	150	70	95	0,60	0,20	917,2	977,8	14,0
26	1 200	130	70	90	0,65	0,25	935,1	977,8	14,5
27	2 400	120	70	85	0,75	0,20	943,4	977,8	15,0
28	3 600	110	70	80	0,75	0,20	951,3	977,8	15,5
29	4 800	150	70	95	0,80	0,30	917,2	977,8	16,0
30	6 000	130	70	90	0,75	0,30	935,1	977,8	16,5

Задача №4. У двухтрубного стального водяного теплопровода, проложенного на открытом воздухе, на значительной длине обратного трубопровода была полностью разрушена тепловая изоляция. Определить, через какое время начнётся образование льда в указанном участке после аварийного выключения циркуляции воды, если известны: температура наружного воздуха t_n ; температура воды в обратном трубопроводе t' до прекращения её циркуляции; среднее значение плотности воды ρ_{cp} ; наружный диаметр d_n и толщина стенки δ трубопровода; коэффициенты теплоотдачи от внутренней α_v и наружной α_n стенок трубопровода; коэффициент теплопроводности стали трубопровода $\lambda_{тр}$. Теплоёмкость воды принять равной 4187 Дж/(кг·град).

Варианты исходных данных

№	d_n , мм	δ , мм	α_v , Вт/(м ² ·°C)	α_n , Вт/(м ² ·°C)	$\lambda_{тр}$, Вт/(м·°C)	t_n , °C	t' , °C	ρ_{cp} , кг/м ³
1	76	3,0	187	17,0	56,0	-25	70	994,1
2	89	4,0	188	17,2	56,1	-20	65	994,9
3	108	4,0	189	17,4	56,2	-15	60	995,7
4	133	4,0	190	17,6	56,3	-10	55	996,4
5	159	4,5	191	17,8	56,4	-5	50	997,1
6	194	5,0	192	18,0	56,5	-25	70	994,1
7	219	6,0	193	18,2	56,6	-20	65	994,9
8	273	7,0	194	18,4	56,7	-15	60	995,7
9	325	8,0	195	18,6	56,8	-10	55	996,4
10	377	9,0	196	18,8	56,9	-5	50	997,1
11	76	3,0	197	19,0	57,0	-25	70	994,1
12	89	4,0	198	19,2	57,1	-20	65	994,9
13	108	4,0	199	19,4	57,2	-15	60	995,7
14	133	4,0	200	19,6	57,3	-10	55	996,4
15	159	4,5	201	19,8	57,4	-5	50	997,1
16	194	5,0	202	20,0	57,5	-25	70	994,1
17	219	6,0	203	20,2	57,6	-20	65	994,9
18	273	7,0	204	20,4	57,7	-15	60	995,7
19	325	8,0	205	20,6	57,8	-10	55	996,4
20	377	9,0	206	20,8	57,9	-5	50	997,1
21	76	3,0	207	21,0	58,0	-25	70	994,1
22	89	4,0	208	21,2	58,1	-20	65	994,9
23	108	4,0	209	21,4	58,2	-15	60	995,7
24	133	4,0	210	21,6	58,3	-10	55	996,4
25	159	4,5	211	21,8	58,4	-5	50	997,1
26	194	5,0	212	22,0	58,5	-25	70	994,1
27	219	6,0	213	22,2	58,6	-20	65	994,9
28	273	7,0	214	22,4	58,7	-15	60	995,7
29	325	8,0	215	22,6	58,8	-10	55	996,4
30	377	9,0	216	22,8	58,9	-5	50	997,1

Задача №5. Выбрать регулирующий клапан, устанавливаемый на прямом трубопроводе тепловой сети, если известны: температура t и избыточное давление p воды перед клапаном; давление насыщенных водяных паров $p_{\text{нас}}$; предварительно заданный перепад давления на регулирующем клапане $\Delta p_{\text{кл}}'$; расчётный расход теплоносителя G_p .

Варианты исходных данных

№	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{бар}$	$p_{\text{нас}}, \text{бар}$	$\Delta p_{\text{кл}}', \text{бар}$	$G_p, \text{м}^3/\text{ч}$
1	150	8,0	4,761	2,50	30
2	149	7,9	4,635	2,48	35
3	148	7,8	4,511	2,46	40
4	147	7,7	4,390	2,44	45
5	146	7,6	4,272	2,42	50
6	145	7,5	4,156	2,40	55
7	144	7,4	4,043	2,38	60
8	143	7,3	3,932	2,36	65
9	142	7,2	3,824	2,34	70
10	141	7,1	3,718	2,32	75
11	140	7,0	3,615	2,30	80
12	139	6,9	3,514	2,28	85
13	138	6,8	3,415	2,26	90
14	137	6,7	3,319	2,24	95
15	136	6,6	3,224	2,22	100
16	135	8,0	3,132	1,80	105
17	134	7,9	3,042	1,78	110
18	133	7,8	2,954	1,76	115
19	132	7,7	2,868	1,74	120
20	131	7,6	2,784	1,72	125
21	130	7,5	2,703	1,70	130
22	129	7,4	2,623	1,68	135
23	128	7,3	2,545	1,66	140
24	127	7,2	2,469	1,64	145
25	126	7,1	2,395	1,62	150
26	125	7,0	2,322	1,60	155
27	124	6,9	2,252	1,58	160
28	123	6,8	2,183	1,56	165
29	122	7,5	2,116	1,54	170
30	121	7,4	2,050	1,52	175

Задача №6. Определить порядок промывки трубопроводов внутриквартальной тепловой сети, представленной на рис. 6.1. Произвести расчёт необходимых для промывки расходов воздуха L и воды G_{Σ} , а также определить начальное давление водовоздушной смеси $p_0^{\text{см}}$ и расчётную производительность компрессора L_k , если известны: диаметры D_i и длины l_i трубопроводов ($i=1, 2, 3$ либо 4 – номер промываемого участка); длина дренажных трубопроводов $l_{\text{др}}$; коэффициент эквивалентной шероховатости трубопроводов k_3 ; коэффициент промывки m ; скорость движения водовоздушной смеси v ; разность высот в точках ввода и сброса воды на промываемых участках z .

Варианты исходных данных

№	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	D_4 , мм	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	$l_{\text{др}}$, м	m	v , м/с	z	k_3
1	200	100	80	50	80	40	75	35	15	1	1,5	1,0	0,7
2	250	125	100	80	85	45	80	40	16	2	2,0	1,1	0,8
3	300	150	125	100	80	55	75	50	17	1	3,0	1,2	0,9
4	350	200	100	80	75	55	75	50	18	2	1,5	1,3	1,0
5	400	200	150	100	70	50	65	45	19	1	2,0	1,4	1,1
6	350	150	125	100	65	60	55	50	20	2	2,5	1,5	1,2
7	300	125	100	80	60	55	50	45	21	1	2,0	1,6	1,3
8	250	100	80	50	55	50	45	40	22	2	1,5	1,7	1,4
9	300	125	100	100	50	45	40	35	23	1	2,5	1,8	1,5
10	400	150	125	100	45	40	35	30	24	2	2,0	1,9	1,6
11	350	200	100	100	50	45	50	45	25	1	3,0	2,0	1,5
12	300	150	125	125	55	50	55	50	24	2	2,5	-1,0	1,4
13	250	125	125	100	60	55	60	55	23	1	3,0	-1,1	1,3
14	200	80	100	80	65	60	65	60	22	2	2,0	-1,2	1,2
15	400	250	150	125	70	60	50	40	21	1	1,5	-1,3	1,1
16	200	50	100	80	75	70	65	60	20	2	1,5	-1,4	0,7
17	250	100	125	100	70	65	60	55	19	1	2,5	-1,5	0,8
18	300	100	150	125	65	60	55	50	18	2	2,0	-1,6	0,9
19	350	80	200	100	60	55	50	45	17	1	1,5	-1,7	1,0
20	400	100	200	150	55	50	45	40	16	2	2,5	-1,8	1,1
21	350	100	150	125	50	45	40	35	15	1	2,5	-1,9	1,2
22	300	80	125	100	55	45	50	40	14	2	2,0	-2,0	1,3
23	250	50	100	80	60	50	55	45	13	1	1,5	1,0	1,4
24	300	100	125	100	65	55	60	50	14	2	2,0	1,1	1,5
25	400	100	150	125	70	60	65	55	15	1	2,5	1,2	1,6
26	350	100	200	100	75	65	70	60	16	2	2,0	1,3	1,5
27	300	125	150	125	80	70	75	65	17	1	2,5	1,4	1,4
28	250	100	125	125	75	65	55	45	18	2	2,0	1,5	1,3
29	200	80	80	100	70	60	50	40	19	1	1,5	1,6	1,2
30	400	125	250	150	60	50	40	30	20	2	2,0	1,7	1,1

Задача №7. Определить концентрацию раствора C_{sol} и расход G_{HCl} соляной кислоты для удаления накипи с трубок подогревателя, если известны: толщина δ накипи на стенках трубок подогревателя; плотность ρ накипи; площадь F поверхности нагрева водонагревателя; концентрация неразбавленной соляной кислоты C_{HCl} ; объём V воды для приготовления раствора соляной кислоты.

Варианты исходных данных

№	δ , мм	ρ , кг/м ³	F , м ²	V , м ³	C_{HCl} , %
1	2,2	1 800	40,0	2,0	17,0
2	2,4	1 820	41,5	2,3	17,2
3	2,6	1 840	43,0	2,6	17,4
4	2,8	1 860	44,5	2,9	17,6
5	3,0	1 880	46,0	3,2	17,8
6	3,2	1 900	47,5	3,5	18,0
7	3,4	1 920	49,0	3,8	18,2
8	3,6	1 940	50,5	4,1	18,4
9	3,8	1 960	52,0	4,4	18,6
10	4,0	1 980	53,5	4,7	18,8
11	4,2	2 000	55,0	5,0	19,0
12	4,4	2 020	56,5	5,3	19,2
13	4,6	2 040	58,0	5,6	19,4
14	4,8	2 060	59,5	5,9	19,6
15	5,0	2 080	61,0	6,2	19,8
16	4,9	2 100	62,5	6,5	20,0
17	4,8	2 120	64,0	6,8	20,2
18	4,7	2 140	65,5	7,1	20,4
19	4,6	2 160	67,0	7,4	20,6
20	4,5	2 180	68,5	7,7	20,8
21	4,4	2 200	70,0	8,0	21,0
22	4,3	2 220	71,5	8,3	21,2
23	4,2	2 240	73,0	8,6	21,4
24	4,1	2 260	74,5	8,9	21,6
25	4,0	2 280	76,0	9,2	21,8
26	3,9	2 300	77,5	9,5	22,0
27	3,8	2 320	79,0	9,8	22,2
28	3,7	2 340	80,5	10,1	22,4
29	3,6	2 360	82,0	10,4	22,6
30	3,5	2 380	83,5	10,7	22,8

СОДЕРЖАНИЕ

Задача №1. Расчёт теплопотребления жилого дома и подбор элеватора.....	3
Задача №2. Определение расходов тепла и теплоносителя на горячее водоснабжение. Дросселирование.....	6
Задача №3. Расчёт теплоотдачи отопительных приборов. Гашение избыточного располагаемого напора.....	9
Задача №4. Эксплуатация тепловых сетей.....	12
Задача №5. Подбор клапанов регулирующих устройств.....	14
Задача №6. Промывка трубопроводов тепловой сети.....	16
Задача №7. Очистка водонагревателей от накипи.....	21
Литература	22
Приложения	23

НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ПОСОБИЕ

**по выполнению практических работ
для слушателей специальности переподготовки
9-09-0712-01 «Техническая эксплуатация
теплоэнергетических установок
и систем теплоснабжения»
заочной формы обучения**

Составитель **Киселевич** Валентин Владимирович

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 12.12.24.

Рег. № 52Е.

<http://www.gstu.by>