

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ОТОПЛЕНИЕ ГРАЖДАНСКОГО ЗДАНИЯ Примеры расчета

*Методические указания к курсовому
и дипломному проектированию*

Составила О. Е. Коврина



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2014

Волгоград. ВолгГАСУ. 2014

УДК 697.1(076.5)
ББК 38.762.1я73
О-855

О-855 **Отопление** гражданского здания. Примеры расчета : методические указания к курсовому и дипломному проектированию / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т; сост. О. Е. Коврина. — Электронные текстовые и графические данные (390 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

В методических указаниях изложены и на примерах рассмотрены методики гидравлического расчета двухтрубных водяных систем отопления, методика определения остывания воды в подающей магистрали системы отопления и тепловой расчет системы отопления с определением необходимой поверхности нагрева отопительных приборов.

Для студентов направления «Теплогасоснабжение и вентиляция» всех форм обучения.

УДК 697.1(076.5)
ББК 38.762.1я73

План выпуска учеб.-метод. документ. 2014 г., поз 55

Публикуется в авторской редакции

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 25.12.2014.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,3. Объем данных 390 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru

Содержание

Общие сведения.....	4
1. Гидравлический расчет систем водяного отопления.....	4
1.1. Исходные данные для выполнения гидравлического расчета	4
1.2. Основные принципы и последовательность гидравлического расчета вертикальных двухтрубных систем отопления и подбора радиаторных регулирующих клапанов.....	5
2. Примеры гидравлического расчета систем отопления с нижней разводкой магистралей с применением радиаторных регулирующих клапанов.....	7
2.1. Пример расчета вертикальной двухтрубной системы отопления с тупиковым движением воды в магистралях.....	7
2.2. Пример расчета вертикальной двухтрубной системы отопления с попутным движением теплоносителя в магистралях.....	16
3. Расчет охлаждения воды в подающих магистральных теплопроводах	24
3.1. Пример расчета остывания воды в подающем теплопроводе системы отопления.....	25
4. Тепловой расчет отопительных приборов.....	25
4.1. Пример теплового расчета отопительных приборов в двухтрубных системах отопления.....	27
5. Составление спецификации на систему отопления.....	29
Библиографический список.....	30
Приложение 1.....	31
Приложение 2.....	33

Общие сведения

При проектировании систем водяного отопления выполняются гидравлический и тепловой расчеты этой системы.

Гидравлический расчет выполняется после выбора и конструирования системы отопления, произведенных в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1, п.4].

В гражданских малоэтажных зданиях рекомендуется применять двухтрубные системы отопления с использованием в качестве отопительных приборов радиаторов (чугунных, стальных или биметаллических). Поэтому в данных указаниях будут рассмотрены примеры расчета двухтрубных систем отопления.

Целью гидравлического расчета системы отопления являются:

- определение экономичных диаметров участков труб, исходя из обеспечения бесшумности работы системы с учетом заданных расходов теплоносителя;
- определение гидравлических параметров регулирующих и балансовых клапанов и номеров их настроек.

Цель теплового расчета состоит в выборе типа или размера (или количества секций) отопительных приборов при заданных исходных условиях для запроектированной системы отопления.

После выполнения гидравлического и теплового расчета составляется спецификация на систему отопления, включающая все элементы системы отопления: трубопроводы, запорную, спускную и регуливающую арматуру, краны для спуска воздуха, смесительный насос.

1. Гидравлический расчет систем водяного отопления

1.1. Исходные данные для выполнения гидравлического расчета

Исходными данными к гидравлическому расчету являются:

- 1) результаты теплового баланса помещений и здания (из курсовой работы «Определение мощности отопления и производительности вентиляционных систем», выполненной в курсе «Основы обеспечения микроклимата здания»);
- 2) схема присоединения системы отопления к наружным тепловым сетям (по заданию);
- 3) расчетные параметры теплоносителя в тепловой сети T_1 и T_2 , °С; насосное давление, передаваемое в систему отопления P_n , Па (по заданию);
- 4) расчетные параметры теплоносителя в системе отопления t_r и t_o , °С , определяются в зависимости от назначения здания по [2, прил.Д];
- 5) схема системы отопления (по заданию);
- 6) тип принятых к установке отопительных приборов (по заданию).

1.2. Основные принципы и последовательность гидравлического расчета вертикальных двухтрубных систем отопления и подбора радиаторных регулирующих клапанов

Перед началом гидравлического расчета составляют расчетную схему системы отопления в соответствии с рекомендациями [1, п.5.1]. На схеме обозначают расчетную тепловую нагрузку каждого отопительного прибора, равную тепловой расчетной нагрузке помещения $Q_{\text{пом}}$ (из таблицы теплотерь в курсовой работе). При наличии двух и более отопительных приборов в помещении величину тепловой нагрузки $Q_{\text{пом}}$ делят между приборами поровну.

Затем следует выбрать основное расчетное циркуляционное кольцо, в качестве которого в двухтрубных системах отопления выбирают:

- в системах с попутным движением теплоносителя в магистралях – кольцо через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного из средних стояков. После этого выполняют расчет циркуляционных колец через нижний отопительный прибор крайних стояков (ближнего и дальнего) и через верхний прибор одного из ранее рассчитанных стояков;

- в системах с тупиковым движением теплоносителя в магистралях – кольцо через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного из дальних стояков. Затем выполняют расчет остальных циркуляционных колец (в курсовом проекте – через нижний прибор и верхний приборы ближнего стояка).

После выбора расчетных колец расчетная схема системы отопления делится на участки, нумерация которых начинается от точки, в которой осуществляется подмес обратной воды из системы отопления в подающий теплопровод теплофикационной воды. От каждого участка схемы делается выноска в виде дроби, в числителе которой указывается расчетная тепловая нагрузка, Вт, в знаменателе – длина участка, м.

При заданном насосном циркуляционном давлении для системы отопления ΔP_n , Па, диаметры участков подбираются по ориентировочной величине удельных потерь давления $R_{\text{ср}}$ (методом удельных потерь).

В качестве исходного параметра гидравлического расчета необходимо определить величину располагаемого циркуляционного давления ΔP_p , Па, которое для двухтрубных систем отопления определяется по формуле:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + 0,4\Delta P_e, \quad (1.1)$$

где ΔP_e –естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в отопительных приборах и трубопроводах циркуляционного кольца, Па [3, п.10.7], в насосных системах допустимо не учитывать ΔP_e , если оно составляет менее $0,10 \Delta P_n$.

Суммарные потери давления в системе отопления, $\Delta P_{\text{со}}$, Па, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{со}} = \sum \Delta P_{\text{уч}} + \Delta P_{\text{рег.уч}}, \quad (1.2)$$

где $\Sigma \Delta P_{\text{уч}}$ - сумма потерь давления в последовательных расчетных участках расчетного циркуляционного кольца, Па; $\Delta P_{\text{рег.уч}}$ – потери давления на «регулируемом участке», Па.

«Регулируемым участком» циркуляционного кольца является та часть трубопровода с отопительными приборами и арматурой, на которую оказывает влияние работа балансовых или регулирующих клапанов.

В двухтрубных системах отопления «регулируемым участком» является отопительный прибор с подводками и установленной на них арматурой.

Потери давления на «регулируемом участке» $\Delta P_{\text{рег.уч}}$, Па, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{рег.уч}} = \Delta p_{\text{рег.уч}} + \Delta P_{\text{кл.рег.уч}}, \quad (1.3)$$

где $\Delta p_{\text{рег.уч}}$ - потери давления в трубопроводах «регулируемого участка», Па; $\Delta P_{\text{кл.рег.уч}}$ - расчетные потери давления в термостатическом или балансовом клапане, Па.

Потери давления на всех участках системы отопления, в том числе потери давления в трубопроводах «регулируемого участка», $\Delta P_{\text{уч}}$, Па, вычисляются по формуле :

$$\Delta P_{\text{уч}} = l_{\text{уч}} R + Z, \quad (1.4)$$

где $l_{\text{уч}}$ – длина участка, м; R – удельные потери давления, Па/м; $Z = \sum \xi \cdot P_{\text{дин}}$ - потери давления на местные сопротивления, Па ; $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке .

Методика подбора регулирующих клапанов зависит от функционального назначения клапана и его конструктивных особенностей.

Регулирующую арматуру Danfoss условно можно разделить на две группы

1-я группа – это универсальная арматура, не имеющая гидравлических настроек (радиаторные запорные клапаны типа RLV, обратные клапаны, сетчатые фильтры и т.п.);

2-я группа – это арматура, имеющая в своей конструкции устройства по настройке гидравлического сопротивления на требуемое значение (клапаны терморегулятора RA-N, ручные и автоматические балансировочные клапаны).

Для определения потери давления в клапанах, $\Delta P_{\text{кл}}$, Па, относящихся к 1-ой группе, можно использовать формулу:

$$\Delta P_{\text{кл}} \cong 0,1 \left(\frac{G}{K_v} \right)^2, \quad (1.5)$$

где G – расчетный расход воды на участке, кг/ч; K_v – пропускная способность, м³/ч, определяется по прил.1, табл. 2.

При подборе клапанов, относящихся ко 2-ой группе, и определении гидравлической настройки клапана можно использовать формулу:

$$K_v \cong G / (10 \cdot \Delta P_{\text{кл}})^{0,5}, \quad (1.6)$$

где $\Delta P_{\text{кл}}$ - расчетные требуемые потери давления в клапане, Па.

По полученному значению K_v подбирается настройка клапана любого типа. Для клапанов типа RA-N настройка находится по [4]. Настройки клапанов также могут быть найдены без расчета значения K_v по номограмме (прил.2 рис.1 или рис.2) по значениям G , кг/ч, и $\Delta P_{\text{кл}}$, Па. Номер настройки может находиться в диапазоне от 1 до 7 с интервалом 0,5. В положении N клапан полностью открыт. Если номер необходимой настройки находится между двумя значениями, то выбирается наибольший.

По соображениям бесшумности работы клапанов типа RA-N, рекомендуется задавать значения $\Delta P_{\text{кл}}$ не более 25 кПа. С другой стороны, для эффективного регулирования расходов в параллельных кольцах двухтрубных систем отопления, значение $\Delta P_{\text{кл}}$ не должно быть менее 4...6 кПа.

2. Примеры гидравлического расчета систем отопления с нижней разводкой магистралей с применением радиаторных регулирующих клапанов

2.1. Пример расчета вертикальной двухтрубной системы отопления с тупиковым движением воды в магистральных

При тупиковых схемах горячая и охлажденная вода в магистральных движется в противоположных направлениях. При применении таких схем необходимо стремиться к тому, чтобы тупиковые ветви были как можно короче и включали не более четырех стояков.

Исходные данные. В качестве примера выполнен гидравлический расчет системы отопления двухэтажного административного здания при централизованном теплоснабжении от тепловых сетей по зависимой схеме присоединения системы отопления к ним. В тепловом пункте в качестве смесителя предусмотрен подмешивающий насос, установленный на перемычке между подающим и обратным магистральными теплопроводами.

Расчетные параметры тепловой сети $T_1 = 120^\circ\text{C}$, $T_2 = 70^\circ\text{C}$; насосное давление на входе в систему отопления $P_n = 12$ кПа; расчетные параметры в системе отопления $t_r = 95^\circ\text{C}$, $t_o = 70^\circ\text{C}$. В качестве отопительных приборов приняты стальные панельные радиаторы Prado.

В примере использована тупиковая схема с четырьмя ветвями, благодаря чему количество стояков на ветвях не превышает четырех.

Гидравлический расчет начинается с определения располагаемого циркуляционного давления в системе отопления по формуле (1.1). В двухтрубных системах отопления с нижней разводкой учитывают только естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в отопительных приборах $\Delta P_{e, \text{пр}}$, Па, которое определяют по формуле:

$$\Delta P_{e, \text{пр}} \approx 9,8 \beta h_1 (t_r - t_o), \quad (2.1)$$

где β – среднее приращение плотности при понижении температуры воды на 1°С; при разности температур $t_2-t_0= 95-70^\circ\text{C}$ $\beta = 0,64$ [3, табл. 10.4]; h_1 – вертикальное расстояние между условными центрами охлаждения в отопительном приборе на нижнем этаже и нагревания в системе отопления (в примере – в точке подмеса в тепловом пункт см. [1, рис.1]).

В рассматриваемом примере имеем :

$$\Delta P_{e.пр} = 9,8 \cdot 0,64 \cdot 1,65(95 - 70) = 259 \text{ Па} \quad (2.2)$$

Поскольку $\Delta P_{e.пр}$ составляет менее 10% от $\Delta P_p = 12$ кПа, оно в расчете не учитывается, а идет в запас. В качестве расчетного принимается $\Delta P_p = 12$ кПа.

На рис.1 показан план технического подвала здания с размещением теплового пункта, магистральных теплопроводов и стояков системы отопления при тупиковой разводке. Расчетная схема этой системы отопления изображена на рис. 2. На схеме показаны тепловые нагрузки приборов расчетных стояков, тепловые нагрузки стояков и тепловые нагрузки ветвей системы отопления.

Выбираем основное расчетное циркуляционное кольцо (ОРЦК) через нижний прибор дальнего Ст.14 наиболее нагруженной левой ветви системы отопления. ОРЦК состоит из последовательных участков 1...14, соответственно пронумерованных на схеме с указанием на полках - выносах в числителе - тепловой нагрузки участка в Вт, а в знаменателе – длины участка в м.

Длины горизонтальных участков измеряются по плану технического подполья с точностью до 0,1м. При определении длин вертикальных участков учитывается отметка пола в тепловом пункте, высота этажей в здании и схема подсоединения отопительных приборов к стоякам. В курсовом проекте рекомендуется принять, что магистральные теплопроводы в техническом подполье располагаются на отметке -1,000м, расстояние от пола до нижних подводок к отопительным приборам 0,100м, расстояние между подводками в отопительном приборе 0,5м.

Исходные данные и результаты гидравлического расчета последовательно заносят в табл.1. Графы 1,2,4 заполняются по данным схемы основного расчетного циркуляционного кольца.

Расход воды на участке $G_{yч}$, кг/ч, определяется по формуле:

$$G_{yч} = \frac{0,86 \cdot Q_{yч}}{(t_2 - t_0)} \beta_1 \beta_2, \quad (2.2)$$

где $Q_{yч}$ – тепловая нагрузка участка, Вт; β_1 – коэффициент учета дополнительного теплового потока отопительных приборов за счет округления их площади сверх расчетной величины, для чугунных радиаторов принимается по [3, табл. 9,4], для стальных панельных радиаторов рекомендуется принять $\beta_1 = 1,03$; β_2 – коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами, расположенными у наружных стен [3, табл. 9,5].

Так, например, расход воды на 1-ом участке, кг/ч, равен:

$$G_{1yч} = \frac{0,86 \cdot 32490}{(95 - 70)} 1,03 \cdot 1,04 = 1197$$

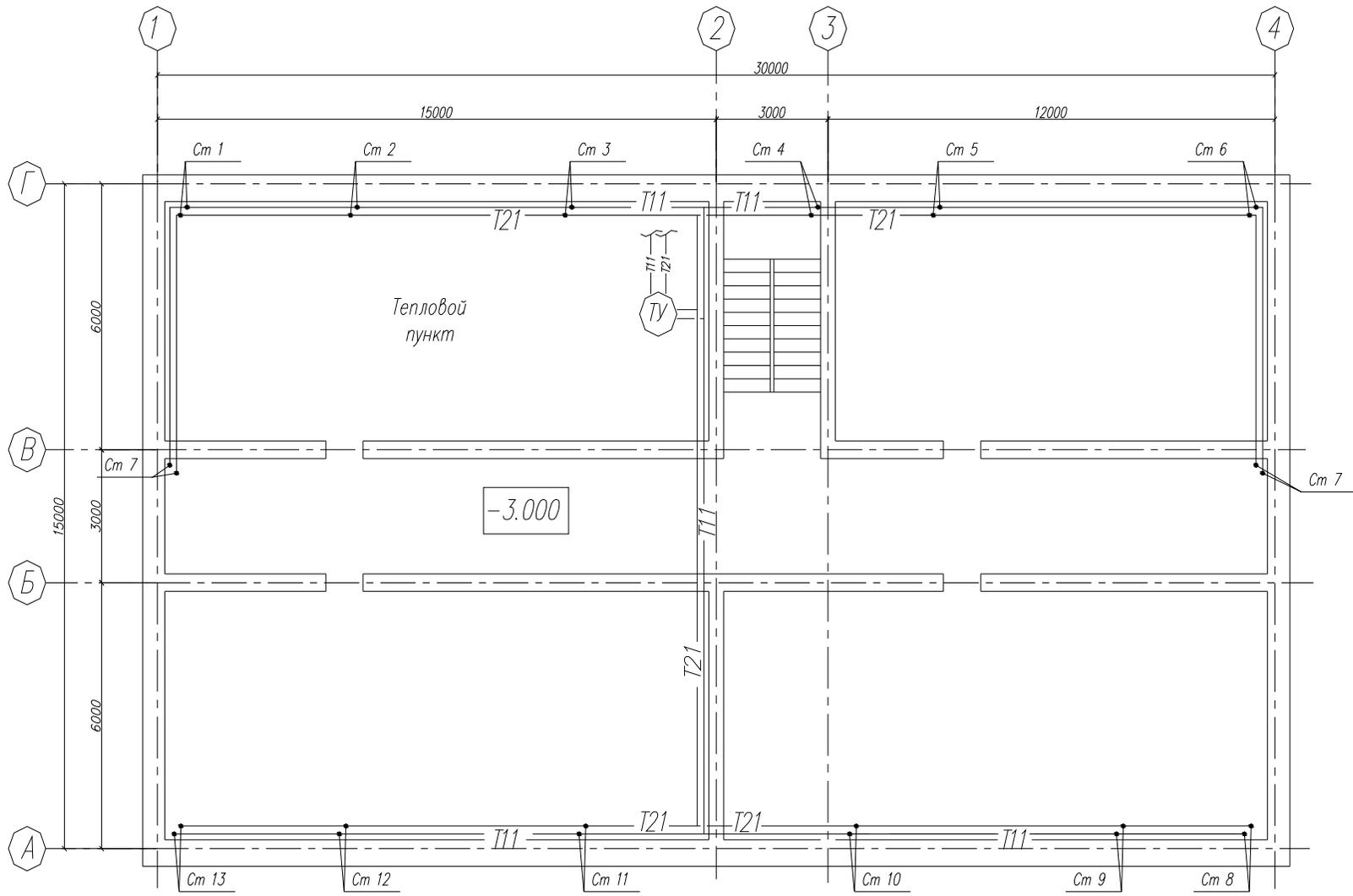


Рис. 1 Размещение магистральных теплопроводов в техническом подвале здания при тупиковом движении теплоносителя в магистралях

Таблица 1.- Гидравлический расчет двухтрубной системы отопления с тупиковым движением теплоносителя

№ участка	Тепловая нагрузка, Q, Вт	Расход теплоносителя, G, кг/ч	Длина участка I, м	Диаметр трубы, d, мм	Скорость v, м/с	Удельные потери давления R, Па/м	Потери давления на трение RI, Па	Число единиц местного сопротивления ζ	Потери давления в местном сопротивлении, Z, Па	Суммарные потери давления на участках, RI+Z, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Основное циркуляционное кольцо через нижний прибор дальнего Ст.14, $\Delta P_p = 12000$ Па, $R_{cp} = 34,9$ Па/м										
1	32490	1197	1,1	32	0,322	50	55	2	102	157
2	17400	641	2,7	32	0,175	15	41	4	60	101
3	8770	323	3	25	0,15	16	48	4	47	95
4	6330	233	6	25	0,108	9	36	1	6	42
5	3830	141	5,8	20	0,106	12	70	1	6	76
6	1700	63	7,6	15	0,086	12	92	4	15	107
7	750	28	2,1	15	0,038	2,4	5	33	25	30
Регулирующий клапан RA-15 N= 2, 5 $\Delta P_{RA-N} = 9000$ Па									9000	9000
Клапан запорный радиаторный RLV-15, $K_v = 2,5$ м ³ /ч, $\Delta P_{RLV} = 13$ Па									13	13
8	1700	63	7,1	15	0,086	12	86	4	15	101
9	3830	141	5,8	20	0,106	12	70	1	6	76
10	6330	233	6,0	25	0,108	9	36	1	6	42
11	8770	323	3,0	25	0,15	16	48	4	47	95
12	17400	641	2,7	32	0,175	15	41	4	60	101
13	32490	1197	1,9	32	0,322	50	95	2	102	197
14	-	598	0,8	25	0,283	54	44	5	196	240
		Σ	55,6							
Клапан обратный пружинный муфтовый $K_v = 10,3$ м ³ /ч, $\Delta P_{об.кл} = 337$ Па									337	337
									Σ	10810
Запас $\Delta_{co} = \frac{12000 - 10810}{12000} \cdot 100 = 9,9\% > 5\%$ и < 10										
Второстепенное циркуляционное кольцо через нижний прибор ближнего Ст.3, $\Delta P_p = 10810 - 1323 = 9487$ Па (без общих участков 1-3, 11 - 14)										
15	2440	90	1,6	15	0,12	24	39	7,5	53	92
16	600	22	2,1	15	0,03	1,9	4	36	16	20
Клапан запорный радиаторный RLV-15, $K_v = 2,5$ м ³ /ч, $\Delta P_{RLV} = 8$ Па									8	8
17	2440	90	1,1	15	0,12	24	171	4,5	32	203
									Σ	323
$\Delta P_{RA-N} = 9487 - 323 = 9164$ Па, принимаем RA-15, N2										

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Второстепенное циркуляционное кольцо через прибор 2-го этажа Ст. 14											
$\Delta P_{p,уч 18} = \Delta P_{7уч} + 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,8 \cdot 3,3(95 - 70) = 9043 + 207 = 9250 \text{ Па}$											
18	950	35	8,7	15	0.047	3	26	38	42	68	
Клапан запорный радиаторный RLV-15 , $K_v = 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta P_{RLV} = 20 \text{ Па}$									20	20	
										Σ	88
$\Delta P_{RA-N} = 9250 - 88 = 9162 \text{ Па}$, принимаем RA-15, N3											

Вычисленные значения расходов теплоносителя $G_{уч}$, кг/ч, заносятся в графу 4 табл.1.

После этого определяют потери давления в регулируемом клапане RA-N и запорном клапане RLV на регулируемом участке 7. Исходя из рекомендаций в п. 1.2 потери в клапане RA-N принимаем равными $\Delta P_{RA-N} = 9000 \text{ Па}$. По номограмме (прил. 2, рис.1- точка 1) определяем, что на участке 7 расходу $G_{уч} = 28 \text{ кг/ч}$ и $\Delta P_{RA-N} = 9000 \text{ Па}$ соответствует настройка клапана $N=2,5$. Потери в клапане RLV определяем по формуле (1.5):

$$\Delta P_{RLV} = 0,1(28/2,5)^2 \cong 13 \text{ Па}$$

Значения $\Delta P_{RA-N} = 9000 \text{ Па}$ и $\Delta P_{RLV} = 13 \text{ Па}$ заносят в табл.1 на участок 7.

Далее, просуммировав длины последовательных участков ОРЦК ($\sum l = 55,6 \text{ м}$), определяют среднее значение удельной потери давления на трение в кольце по формуле:

$$R_{cp} = 0,65 \frac{\Delta P_p - \Delta P_{RLV} - \Delta P_{RA-N}}{\sum l} \quad (2.3)$$

В нашем примере имеем

$$R_{cp} = 0,65 \frac{12000 - 13 - 9000}{55,6} = 34,9 \text{ Па/м}$$

Ориентируясь на величины R_{cp} , Па/м, и расчётные расходы воды на участках G_n , кг/ч, назначают диаметры труб на участках D_n , мм. Обычно в гражданских зданиях при открытой прокладке труб используют легкие тонкостенные стальные водогазопроводные трубы (ГОСТ 3262-75*). Условный диаметр стальных водогазопроводных труб выбирают по [3, табл. П.1] и заносят его в гр.5 таблицы 1. При выборе диаметра необходимо следить, чтобы изменение расхода на последовательно соединённых участках ОРЦК происходило (во избежание возможных гидравлических ударов) в точном соответствии со стандартным изменением шага сортамента труб. При использовании в проекте труб из другого материала (медь, пластик, металлопластик) для гидравлического расчёта необходимо использовать их сортамент и гидравлические характеристики по соответствующим данным фирм- производителей этих труб.

Далее для выбранных диаметров труб D_n , мм, при фактических расходах воды на каждом участке G_n , кг/ч, по этой же таблице методом интерполяции находят действительные значения скоростей движения воды w_n , м/с, и

удельных потерь давления на трение R_n , Па/м. Эти величины заносят соответственно в гр. 6 и 7 расчётной таблицы 1. Необходимо строго контролировать соответствие скорости воды на участке требованиям п. 3.25 [2] или [3, табл. 10.5]. При скорости, превышающей допустимую величину, диаметр трубы на участке следует увеличить. Потери давления на трение по всей длине участка $R_n I_n$, Па, заносятся в гр.8 таблицы 1.

Параллельно с табл.1 заполняется табл. 2, в которой для каждого участка ОРЦК составляется перечень имеющихся в нём местных гидравлических сопротивлений. Местное сопротивление на границе двух участков (тройник, крестовина) относят к участку с меньшим расходом воды.

Значения КМС отопительных приборов, запорной арматуры и других деталей системы определяются по прил.1 табл.1. Потери давления в обратном клапане на участке 14 определяют по формуле (1.5) при пропускной способности клапана $K_v = 10,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ (см. прил.1, табл.2):

$$\Delta P_{обр.кл} = 0,1(548/10,3)^2 \cong 337 \text{ Па}$$

Гидравлический расчёт системы отопления заключается в выборе диаметров труб участков системы, определении фактических потерь давления в ОРЦК $\Delta P_{орцк}$ и их сравнении с расчётным давлением ΔP_p . При этом должно быть соблюдено условие: $\Delta P_{орцк} = 0,9 \dots 0,95 \Delta P_p$, т.е. должен быть некоторый запас давления на всякого рода неучтённые потери. Суммарные потери давления в ОРЦК составляют $\Delta P_{ОРЦК} = 10843 \text{ Па}$. Запас давления на неучтенные потери равен:

$$\Delta_{co} = \frac{\Delta P_p - \Delta P_{ОРЦК}}{\Delta P_p} 100\% = \frac{12000 - 10810}{12000} 100 = 9,9\%$$

Расчет считается законченным, т.к. запас давления в системе отопления составляет не менее 5% и не более 10%.

Далее следует рассчитать второстепенное циркуляционное кольцо через прибор 1-го этажа ближнего Ст.3 – это участки 1,2,3,15,16,17,11...14. Для основной части участков (1,2,3,11...14), являющихся общими с ОРЦК, уже были определены диаметры труб и потери давления в них. Необходимо определить потери давления только цепи из участков 15, 16, 17, для которых располагаемое давление, Па, будет равно потерям в параллельных участках 4...10:

$$\Delta P_{p,уч.15...17} = \Delta P_{ОРЦК} - \sum_{уч.1,2,3,11...14} (Rl + Z)$$

$$\Delta P_{p,уч.15...17} = 10810 - (157 + 101 + 95 + 95 + 101 + 197 + 240 + 337) = 9487 \text{ Па}$$

После этого рассчитываем потери давления на участках 15... 17 и потери в запорном клапане RLV на участке 16 и суммируем их.

Требуемое сопротивление регулируемого клапана RA-N ΔP_{RA-N} , Па, определяем по выражению :

$$\Delta P_{RA-N} = \Delta P_{p,уч.15...17} - \sum_{уч.15...17} (Rl + Z) - \Delta P_{RLV}$$

$$\Delta P_{RA-N} = 9487 - 323 = 9164 \text{ Па}$$

Таблица 2 – Ведомость местных сопротивлений системы отопления с тупиковым движением теплоносителя

№ участка	Условный проход, мм	Местное сопротивление	Значение ξ	Кол-во, шт	Число единиц местного сопротивления ξ
1	2	3	4	5	6
1	32	отвод	1	1	1
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 2
2	32	тройник на противотоке	3,0	1	3
		кран шаровый	1	1	1
					Σ4
3	25	тройник на противотоке	3,0	1	3
		кран шаровый	1	1	1
					Σ4
4	25	тройник проходной	1	1	Σ1
5	20	тройник проходной	1	1	Σ1
6	15	тройник проходной	1	1	1
		отвод	1,5	2	3
					Σ 4
7	15	тройник поворотный	1,5	2	3
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30
					Σ 33,0
8	15	отвод	1,5	2	3
		тройник проходной	1	1	1
					Σ 4
9	20	тройник проходной	1	1	Σ1
10	25	тройник проходной	1	1	Σ1
11	25	тройник на противотоке	3	1	Σ 3
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 4
12	32	тройник на противотоке	3	1	Σ 3
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 4
13	32	отвод	1	1	1
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 2
14	25	тройник поворотный	1,5	2	3
		кран шаровый	1	2	2
					Σ 5
15	15	тройник поворотный	1,5	1	1,5
		отвод	1,5	2	3

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6
		скоба	3,0	1	3,0
16	15	крестовина поворотная	3,0	2	6,0
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30,0
					Σ 36,0
17	15	отвод	1,5	2	3
		тройник поворотный	1,5	1	1,5
					Σ 4,5
18	15	тройник проходной	1,0	2	2,0
		отвод	1,5	2	3,0
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30,0
		скоба	3,0	1	3,0
					Σ 38,0

Требуемое значение настройки клапана RA-N на участке 16 определяем по номограмме (прил.2, рис.1 – точка 2) по расходу воды на участке $G_{уч.16} = 22$ кг/ч и $\Delta P_{RA-N} = 9164$ Па. Этим значениям соответствует настройка N2.

Далее рассчитывают второстепенное циркуляционное кольцо через прибор 2-го этажа дальнего Ст.14. Для основной части участков (1...6,8...14), являющихся общими с ОРЦК, уже были определены диаметры труб и потери давления в них. Поэтому необходимо определить потери давления только на участке 18. Располагаемое давление на этом участке будет равно потерям в параллельном участке 7 с учетом дополнительного влияния естественного давления $\Delta P_{е.пр}$. Тогда, с учетом формул (1.1) и (2.1), располагаемое давление для участка 18 при высоте этажа $h = 3,3$ м составит:

$$\Delta P_{p,уч.18} = \Delta P_{уч.7} + 0,4 \cdot 9,8 \cdot 0,64 \cdot 3,3(95 - 70) = 9043 + 207 = 9250 \text{ Па}$$

После этого рассчитываются потери давления на трение и местные сопротивления на участке 18 и суммируются с потерями давления в запорном клапане RLV.

Требуемое сопротивление регулируемого клапана RA-N ΔP_{RA-N} , Па, определяем по выражению :

$$\Delta P_{RA-N} = \Delta P_{p,уч.18} - \sum (Rl + Z)_{уч.7} - \Delta P_{RLV}$$

$$\Delta P_{RA-N} = 9250 - 88 = 9162 \text{ Па}$$

Требуемое значение настройки клапана RA-N на участке 18 определяют по номограмме (прил.2, рис.1) по расходу воды на участке $G_{уч.16} = 35$ кг/ч и $\Delta P_{RA-N} = 9162$ Па. Этим значениям соответствует настройка N3.

На этом в курсовом проекте считается законченным гидравлический расчет системы отопления с тупиковым движением воды.

2.2. Пример расчета вертикальной двухтрубной системы отопления с попутным движением воды в магистралях

В системах с попутным движением направления потоков движения воды в подающей и обратной магистралях совпадают. Такие схемы рекомендуется применять при большом количестве стояков. Отличительной особенностью этих схем является то, что параллельные кольца системы имеют одинаковую протяженность, что облегчает гидравлическую увязку этих колец и упрощает балансировку системы.

Все исходные данные, включая располагаемое циркуляционное давление в системе отопления $\Delta P_p = 12$ кПа, принимаем такими же, как в вышеизложенном примере с тупиковым движением воды в магистралях в п.2.1.

В примере использована схема с попутным движением воды в магистралях с двумя ветвями.

На рис.3 показан план технического подвала здания с размещением теплового пункта, магистральных теплопроводов и стояков системы отопления при схеме с попутным движением воды в магистралях. Расчетная схема этой системы отопления изображена на рис. 4. На схеме показаны тепловые нагрузки приборов расчетных стояков, тепловые нагрузки стояков и тепловые нагрузки ветвей системы отопления.

Выбираем основное расчетное циркуляционное кольцо (ОРЦК) через нижний прибор наиболее нагруженного среднего Ст.13 наиболее нагруженной левой ветви системы отопления. ОРЦК состоит из последовательных участков 1...14, соответственно пронумерованных на схеме с указанием на полках-выносках в числителе - тепловой нагрузки участка в Вт, а в знаменателе - длины участка в м.

Длины всех участков определяются в соответствии с указаниями, приведенными в вышеизложенном примере в п.2.1.

Исходные данные и результаты гидравлического расчета последовательно заносят в табл.3. Графы 1,2,4 заполняются по данным схемы основного расчетного циркуляционного кольца.

Расход воды на участке $G_{yч}$, кг/ч, определяется по формуле (2.2).

Так, например, расход воды на 2-ом участке, кг/ч, равен:

$$G_{1yч} = \frac{0,86 \cdot 16370}{(95 - 70)} 1,03 \cdot 1,04 = 603$$

Вычисленные значения расходов теплоносителя $G_{yч}$, кг/ч, заносятся в графу 4 табл.3.

После этого определяют потери давления в регулируемом клапане RA-N и запорном клапане RLV на регулируемом участке 8. Исходя из рекомендаций в п. 1.2 потери в клапане RA-N принимаем равными $\Delta P_{RA-N} = 8000$ Па. По номограмме (прил.2, рис.2 – точка 1) определяем, что на участке 7 расходу $G_{yч} = 33$ кг/ч и $\Delta P_{RA-N} = 8000$ Па, соответствует настройка клапана N=3. Потери в клапане RLV, Па, определяем по формуле (1.5):

$$\Delta P_{RLV} = 0,1(233/2,5)^2 \cong 17 \quad \text{Па}$$

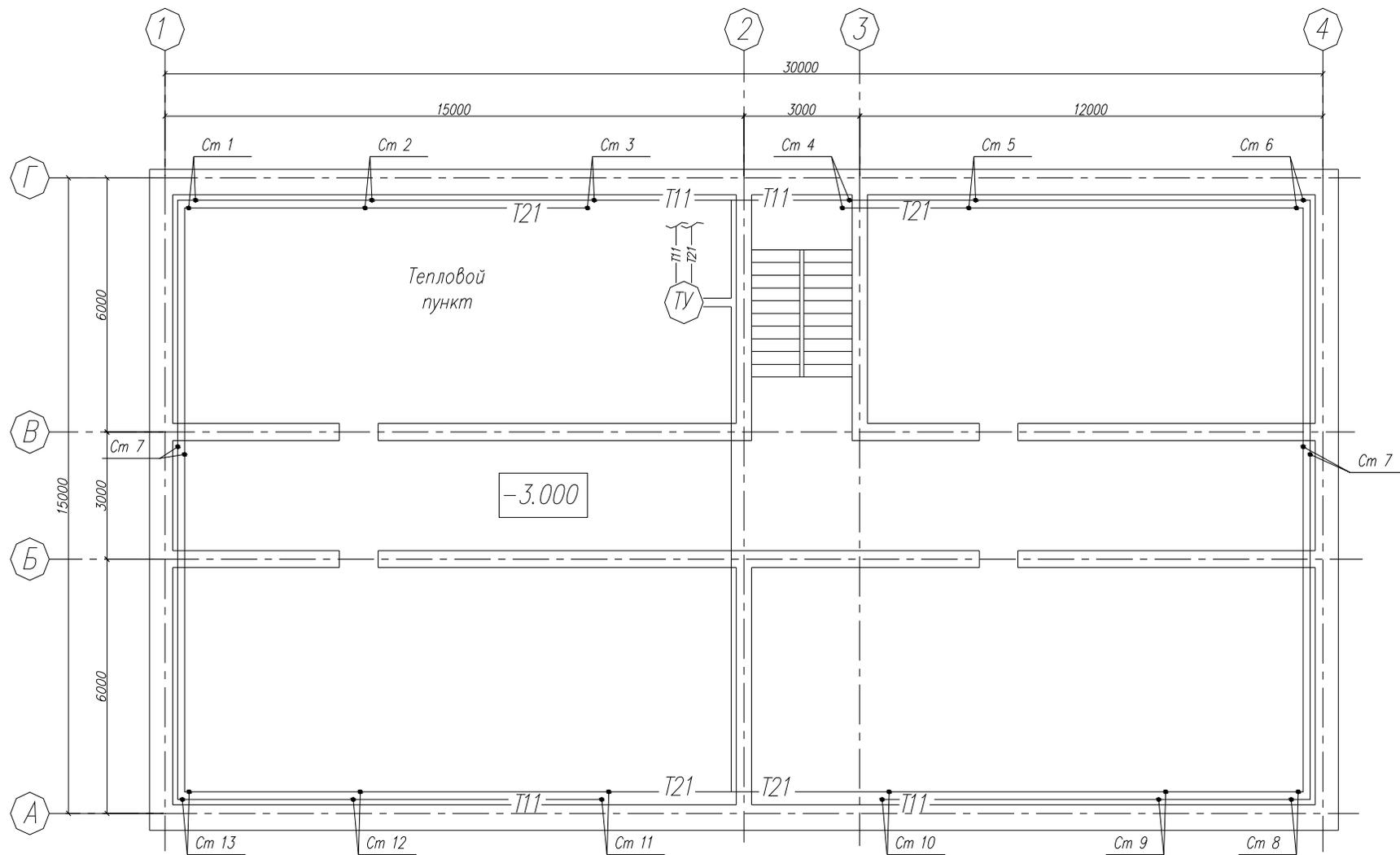


Рис. 3 Размещение магистральных теплопроводов в техническом подвале здания при полупутном движении теплоносителя в магистралях

Таблица 3- Гидравлический расчёт системы отопления с попутным движением теплоносителя в магистралях

№ участка	Тепловая нагрузка, Q, Вт	Расход теплоносителя, G, кг/ч	Длина участка I, м	Диаметр трубы, d, мм	Скорость v, м/с	Удельные потери давления R, Па/м	Потери давления на трение RI, Па	Число единиц местного сопротивления ξ	Потери давления в местном сопротивлении, Z, Па	Суммарные потери давления на участках, RI+Z, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Основное циркуляционное кольцо через нижний прибор среднего Ст.13, $\Delta P_p = 12000$ Па, $R_{cp} = 39,5$ Па/м										
1	32490	1197	3,8	32	0,322	50	190	2	102	292
2	16370	603	3,0	32	0,161	13	39	4	52	91
3	13930	513	6,0	25	0,238	38	228	1	28	256
4	11430	421	5,8	25	0,195	27	157	1	19	176
5	9300	343	6,0	25	0,128	18	108	2	16	124
6	7600	280	8,0	25	0,13	12,5	112	2	16	128
7	1980	73	1,6	15	0,100	16	26	3,5	18	44
8	900	33	2,1	15	0,045	2,8	6,0	33	33	39
Регулирующий клапан RA-15, N3, $\Delta P_{RA-N} = 8000$ Па									8000	8000
Клапан запорный радиаторный RLV-15, $K_v = 2,5$ м ³ /ч, $\Delta P_{RLV} = 17$ Па									17	17
9	1980	73	1,1	15	0,100	16	18	3,5	18	36
10	10950	404	5,7	25	0,19	25	142	1	18	160
11	13600	501	6,0	25	0,23	36,5	219	1	26	245
12	16370	603	3,0	32	0,161	13	39	4	52	91
13	32490	1197	12,6	32	0,322	50	630	2	102	732
14	-	598	0,8	25	0,28	54	44	5	196	240
		Σ	65,5							
Клапан обратный пружинный муфтовый $K_v = 10,3$ м ³ /ч $\Delta P_{об.кл} = 337$ Па									337	337
									Σ	11008
Запас $\Delta_{co} = \frac{12000 - 11008}{12000} \cdot 100 = 8,3\% > 5\%$ и $< 10\%$										
Второстепенное циркуляционное кольцо через нижний прибор ближнего Ст.3, $\Delta P_p = 11008 - 2188 = 8820$ Па (без общих участков 1, 2, 10 - 14)										
15	2440	90	1,6	15	0,12	24	39	7,5	53	92
16	600	22	2,1	15	0,03	1,9	4	36	16	20
Клапан запорный радиаторный RLV-15, $K_v = 2,5$ м ³ /ч, $\Delta P_{RLV} = 8$ Па									8	8

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	2440	90	7,1	15	0,12	24	171	5,5	39	210
18	4940	182	5,8	20	0,138	19	110	1	9	119
19	7070	260	6,0	20	0,198	38	228	2,5	48	276
20	8770	323	8,0	20	0,245	58	464	2,5	73	537
									Σ	1262
$\Delta P_{\text{кп}} = 8820 - 1262 = 7558 \text{ Па}$, принимаем RA-15, N2										
Второстепенное циркуляционное кольцо через нижний прибор дальнего Ст.11 $\Delta P_p = 11008 - 2467 = 8541 \text{ Па}$ (без общих участков 1- 6 и 12 -14)										
21	5620	203	5,8	20	0,155	24	139	1	12	151
22	2770	102	7,6	15	0,14	30	228	8,5	82	310
23	820	30	2.1	15	0,041	2,6	6	36	28	34
Клапан запорный радиаторный RLV-15, $K_v = 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta P_{\text{RLV}} = 15 \text{ Па}$									15	15
24	2770	102	1.1	15	0,14	30	33	4	38	71
									Σ	581
$\Delta P_{\text{RA-N}} = 8541 - 581 = 7960 \text{ Па}$, принимаем RA-15, N3										
Второстепенное циркуляционное кольцо через верхний прибор Ст. 13 $\Delta P_p = \Delta P_{\text{гвч}} + 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,8 \cdot 3,3(95 - 70) = 8056 + 207 = 8263 \text{ Па}$										
25	1080	40	8,7	15	0,055	3,5	31	38	56	86
$\Delta P_{\text{RA-N}} = 8263 - 86 = 8177 \text{ Па}$, принимаем RA-15, N3,5										

Значения $\Delta P_{\text{RA-N}} = 8000 \text{ Па}$ и $\Delta P_{\text{RLV}} = 17 \text{ Па}$ заносят в табл.3 на участок 8.

Далее, просуммировав длины последовательных участков ОРЦК ($\Sigma l = 65,5 \text{ м}$), определяют среднее значение удельной потери давления, Па/м, в кольце по формуле (2.3):

$$R_{cp} = 0,65 \frac{12000 - 17 - 8000}{65,5} = 39,5.$$

Ориентируясь на величины R_{cp} , Па/м, и расчётные расходы воды на участках G_n , кг/ч, по [3, табл.П.1] назначают диаметры труб на участках D_n , мм (используются легкие тонкостенные стальные водогазопроводные трубы по ГОСТ 3262-75).

Далее для выбранных диаметров труб D_n , мм, при фактических расходах воды на каждом участке G_n , кг/ч, по этой же таблице методом интерполяции находят действительные значения скоростей движения воды w_n , м/с, и удельных потерь давления на трение R_n , Па/м. Эти величины заносят соответственно в гр. 6 и 7 расчётной таблицы 3.

Параллельно с табл.3 заполняется табл. 4, в которой для каждого участка ОРЦК составляется перечень имеющихся в нём местных гидравлических сопротивлений. Местное сопротивление на границе двух участков (тройник, крестовина) относят к участку с меньшим расходом воды. Значения КМС отопительных приборов, запорной арматуры и других деталей системы определяются по прил.1, табл. 1. Потери давления в обратном клапане на

Таблица 4 – Ведомость местных сопротивлений системы отопления с попутным движением теплоносителя

№ участка	Условный проход, мм	Местное сопротивление	Значение ξ	Кол-во, шт	Число единиц местного сопротивления ξ
1	2	3	4	5	6
1	32	отвод	1	1	1
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 2
2	32	тройник на противотоке	3	1	3
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 4
3	25	тройник проходной	1	1	Σ1
4	25	тройник проходной	1	1	Σ1
5	25	тройник проходной	1	1	1
		отвод	1	1	1
					Σ 2
6	25	тройник проходной	1	1	1
	25	отвод	1	1	1
					Σ 2
7	15	тройник поворотный	1,5	1	1,5
		отвод	1	2	2
					Σ 3,5
8	15	тройник поворотный	1,5	2	3
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30
					Σ 33
9	15	тройник поворотный	1,5	1	1,5
		отвод	1	2	2
					Σ 3,5
10	25	тройник проходной	1	1	Σ1
11	25	тройник проходной	1	1	Σ1
12	32	тройник на противотоке	3	1	3
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 4
13	32	отвод	1	1	1
		кран шаровый	1	1	1
					Σ 2
14	25	тройник поворотный	1,5	2	3
		кран шаровый	1	2	2
					Σ 5
15	15	тройник поворотный	1,5	1	1,5
		отвод	1,5	2	3,0
		скоба	3,0	1	3,0
					Σ 7,5

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6
16	15	крестовина поворотная	3,0	2	6,0
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30,0
					Σ 36,0
17	15	отвод	1,5	3	4,5
		тройник проходной	1,0	1	1
					Σ 5,5
18	20	тройник проходной	1,0	1	Σ1
19	20	отвод	1,5	1	1,5
		тройник проходной	1,0	1	1,0
					Σ2,5
20	20	тройник проходной	1,0	1	1,0
		отвод	1,5	1	1,5
					Σ2,5
21	20	тройник проходной	1,0	1	Σ1,0
22	15	тройник проходной	1,0	1	1,0
		отвод	1,5	3	4,5
		скоба	3,0	1	3,0
					Σ 8,5
23	15	крестовина поворотная	3,0	2	6,0
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30,0
					Σ 36,0
24	15	отвод	1,5	2	3,0
		тройник проходной	1,0	1	1,0
					Σ 4,0
25	15	тройник проходной	1,0	2	2,0
		отвод	1,5	2	3,0
		стальной панельный радиатор Prado	30,0	1	30,0
		скоба	3,0	1	3,0
					Σ 38,0

участке 14 определяют по формуле (1.5) при пропускной способности клапана $K_v = 10,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ (см. прил.1, табл. 2):

$$\Delta P_{\text{обр.кл}} = 0,1(548/10,3)^2 \cong 337 \text{ Па}$$

Суммарные потери давления в ОРЦК составляют $\Delta P_{\text{ОРЦК}} = 11016 \text{ Па}$. Запас давления на неучтенные потери равен:

$$\Delta_{\text{co}} = \frac{\Delta P_p - \Delta P_{\text{ОРЦК}}}{\Delta P_p} 100\% = \frac{12000 - 11016}{12000} 100 = 8,2\%$$

Расчет считается законченным, т.к. запас давления в системе отопления составляет не менее 5% и не более 10%.

Далее следует рассчитать второстепенное циркуляционное кольцо через прибор 1-го этажа ближнего Ст.3 – это участки 1,2,15...20, 10...14. Для основной части участков (1,2, 10...14), являющихся общими с ОРЦК, уже были определены диаметры труб и потери давления в них. Необходимо определить потери давления только цепи из участков 15...20, для которых располагаемое давление, Па, будет равно разнице между потерями в ОРЦК и в общих участках (1,2,10...14):

$$\Delta P_{p,уч.15...20} = \Delta P_{ОРЦК} - \sum_{уч.1,2,10...14} (Rl + Z)$$

$$\Delta P_{p,уч.15...20} = 11008 - (292 + 91 + 160 + 245 + 91 + 732 + 240 + 337) = 8820 \text{ Па}$$

После этого рассчитываем потери давления на участках 15...20, потери в запорном клапане RLV на участке 16 и суммируем их.

Требуемое сопротивление регулируемого клапана RA-N ΔP_{RA-N} , Па, определяем по выражению :

$$\Delta P_{RA-N} = \Delta P_{p,уч.15...20} - \sum_{уч.15...20} (Rl + Z) - \Delta P_{RLV}$$

$$\Delta P_{RA-N} = 8820 - 1262 = 7558 \text{ Па}$$

Требуемое значение настройки клапана RA-N на участке 16 определяют по номограмме (прил.2 рис.2 – точка 2) по расходу воды на участке $G_{уч.16} = 22 \text{ кг/ч}$ и $\Delta P_{RA-N} = 7558 \text{ Па}$. Этим значениям соответствует настройка N2.

Далее следует рассчитать второстепенное циркуляционное кольцо через прибор 1-го этажа дальнего Ст.11 – это участки 1...6, 21...24, 12...14. Для основной части участков (1...6, 12...14), являющихся общими с ОРЦК, уже были определены диаметры труб и потери давления в них. Необходимо определить потери давления только цепи из участков 21...24, для которых располагаемое давление, Па, будет равно разнице между потерями в ОРЦК и в общих участках (1 6, 12...14):

$$\Delta P_{p,уч.21...24} = \Delta P_{ОРЦК} - \sum_{уч.1...6,12...14} (Rl + Z)$$

$$\Delta P_{p,уч.21...24} = 11008 - (292 + 91 + 256 + 176 + 124 + 128 + 91 + 732 + 240 + 337) = 8541 \text{ Па}$$

После этого рассчитываем потери давления на участках 21...24, потери в запорном клапане RLV на участке 23 и суммируем их.

Требуемое сопротивление регулируемого клапана RA-N ΔP_{RA-N} , Па, определяем по выражению :

$$\Delta P_{RA-N} = \Delta P_{p,уч.21...24} - \sum_{уч.21...24} (Rl + Z) - \Delta P_{RLV}$$

$$\Delta P_{RA-N} = 8541 - 581 = 7960 \text{ Па}$$

Требуемое значение настройки клапана RA-N на участке 23 определяют по аналогии с клапаном на участке 16 по номограмме (прил.2, рис.2) по расходу воды на участке $G_{уч.23} = 30 \text{ кг/ч}$ и $\Delta P_{RA-N} = 7960 \text{ Па}$. Этим значениям соответствует настройка N3.

Далее рассчитывают второстепенное циркуляционное кольцо через прибор 2-го этажа среднего Ст.13. Это кольцо через участки (1...7, 25, 9...14). Для

основной части участков (1...7, 9...14), являющихся общими с ОРЦК, уже были определены диаметры труб и потери давления в них. Поэтому необходимо определить потери давления только на участке 25. Располагаемое давление на этом участке будет равно потерям в параллельном участке 8 с учетом дополнительного влияния естественного давления $\Delta P_{e.пр}$. Тогда с учетом формул (1.1) и (2.1) располагаемое давление для участка 25 при высоте этажа $h = 3,3$ м составит:

$$\Delta P_{p.уч.25} = \Delta P_8 + 0,4 \cdot 9,8 \cdot 0,64 \cdot 3,3(95 - 70) = 8056 + 207 = 8263 \text{ Па}$$

После этого рассчитываются потери давления на трение и местные сопротивления на участке 25 и суммируются с потерями давления в запорном клапане RLV.

Требуемое сопротивление регулируемого клапана RA-N ΔP_{RA-N} , Па, определяем по выражению :

$$\begin{aligned} \Delta P_{RA-N} &= \Delta P_{p.уч.25} - \sum (Rl + Z)_8 - \Delta P_{RLV} \\ \Delta P_{RA-N} &= 8263 - 86 = 8177 \text{ Па} \end{aligned}$$

Требуемое значение настройки клапана RA-N на участке 25 определяют по номограмме (прил.2, рис. 2) также, как и на участке 25, по расходу воды на участке $G_{уч.16} = 40$ кг/ч и $\Delta P_{RA-N} = 8177$ Па. Этим значениям соответствует настройка N3,5.

На этом в курсовом проекте считается законченным гидравлический расчет системы отопления с попутным движением воды в магистральных.

3. Расчет охлаждения воды в подающих магистральных теплопроводах

Цель данного расчета - определение температуры горячей воды на входе в каждый стояк. Полная теплоотдача 1 м изолированного теплопровода при прокладке в техническом подполье и коэффициенте теплоизоляции 0,75 принимается в зависимости от диаметра и разности между температурами горячей воды и внутреннего воздуха. В проекте рекомендуется принять температуру в техническом подвале равной 5°C.

Падение температуры воды на участке $\Delta t_{уч}$ определяется по формуле:

$$\Delta t_{уч} = \frac{0,86 \cdot Q_{тр}}{G_{уч}}, \quad (3.1)$$

где $G_{уч}$ – расчет теплоносителя на расчетном участке, кг/ч; $Q_{тр}$ – потери тепла на участке изолированным теплопроводом, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{тр} = q_{тр} \cdot l_{уч}, \quad (3.2)$$

где $q_{тр}$ - теплоотдача 1 м изолированного теплопровода, Вт/м, принимается по [3, табл. П.24] ; $l_{уч}$ - длина участка, м.

Температура воды в конце участка t_k , °C, равна

$$t_k = t_n - \Delta t_{уч}. \quad (3.3)$$

3.1. Пример расчета остывания воды в подающем теплопроводе системы отопления

На примере системы отопления с тупиковой разводкой, рассмотренной в п.2.1., рассчитаем остывание воды в подающем теплопроводе этой системы до дальнего стояка 14.

Результаты расчета последовательно заносятся в табл. 5. Графы 1...4 заполняются по результатам гидравлического расчета основного циркуляционного кольца (табл. 1), начальная температура t_n , °С, на выходе из теплового пункта принимается равной расчетной температуре горячей воды в системе отопления, в нашем примере $t_r = 95$ °С.

Таблица 5 – Расчет остывания воды в подающем магистральном теплопроводе

№ участка	Расход воды G, кг/ч	Длина участка L, м	Диаметр d, мм	Начальная температура на участке, t_n , °С	Теплоотдача 1 м изолир. трубопровода, $q_{уч}$, Вт/м	Потери тепла на участке $Q_{тр}$, Вт	Падение температуры на участке Δt , °С	Конечная температура t_k , °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1197	1,1	32	95	50	55	0,04	94,96
2	641	2,7	32	94,96	50	135	0,18	94,78
3	323	3,0	25	94,78	41	123	0,33	94,45
4	233	6,0	25	94,45	41	246	0,91	93,54
5	141	5,8	20	93,54	33	192	1,17	92,37
6 (горизонт. часть участка)	63	6,0	15	92,37	27	162	2,21	90,16

4. Тепловой расчет отопительных приборов

В качестве отопительных приборов в курсовом проекте в соответствии с заданием используются секционные чугунные и биметаллические радиаторы и стальные панельные радиаторы различных марок.

Тепловой расчет отопительных приборов заключается в определении нагревательной поверхности прибора с учетом тепlopоступлений от открыто прокладываемых в помещении теплопроводов, а также в выборе размеров (марок) стальных панельных радиаторов или определении числа их элементов (секций) для чугунных и биметаллических радиаторов.

В курсовом проекте выполняется расчет для двух стояков, диаметры которых определены ранее в гидравлическом расчете.

Рекомендуется выполнять расчет в следующей последовательности:

1. На основании выполненного ранее гидравлического расчета для рассчитываемого стояка определяются диаметры стояка и подводок, их длины и величины тепловых потоков отопительных приборов.

2. Из табл. 5 (расчет остывания воды в подающей магистрали) определяется температура воды на входе в рассматриваемый стояк $t_{н,Ст.i}$.

3. Определяется суммарное понижение расчетной температуры воды $\Delta t_{n.Cmi}$, °С, на участках подающего стояка от магистрали до приборов на каждом этаже по формуле:

$$\Delta t_{n.cmi} = \sum_{i=1}^n 0,86 \frac{q_{vi} \cdot l_{yчi} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{G_{yчi}}, \quad (4.1)$$

где q_{vi} – теплоотдача 1 м вертикальной трубы, Вт/м, на i -м участке подающего стояка [3, табл. П.22]; $l_{yчi}$ – длина i -го участка стояка, м, (на первом этаже – это расстояние от подающей магистрали в техническом подвале до верхней подводки прибора, на втором этаже – это высота этажа); $G_{yчi}$ – расход воды на i -ом участке стояка, кг/ч; β_1, β_2 – то же, что в формуле (2.2).

Температура горячей воды на входе в каждый прибор t_r определяется по ходу движения теплоносителя с учетом остывания на предыдущих участках.

4. Определяется расход воды через прибор G_{np} , кг/ч, на рассматриваемом этаже:

$$G_{np} = \frac{0,86 \cdot Q_{np}}{(t_{zi} - t_o)} \beta_1 \beta_2, \quad (4.2)$$

где t_{zi} – температура воды на входе в прибор на рассматриваемом этаже, °С; Q_{np} – тепловая нагрузка прибора, Вт.

5. Вычисляется температурный напор для прибора, °С:

$$\Delta t_{cp} = 0,5(t_{zi} - t_o) - t_u \quad (4.3)$$

где t_u – расчетная температура воздуха в отапливаемом помещении, °С.

6. Определяется тепловой поток $Q_{тр}$, Вт, от трубопроводов, открыто проходящих в рассматриваемом помещении:

$$Q_{mp} = q_v \cdot l_v + q_r \cdot l_r, \quad (4.4)$$

где q_v, q_r – соответственно теплоотдача 1 м вертикальной и горизонтальной неизолированной трубы, Вт/м [3, табл. П.22]; l_v, l_r – длина стояка и подводок к отопительным приборам, м.

7. Расчетный требуемый тепловой поток отопительного прибора $Q_{пр}$, Вт, вычисляется по выражению:

$$Q_{np} = Q_{ном} - 0,9Q_{mp}, \quad (4.5)$$

где $Q_{ном}$ – теплопотери помещения или их доля, приходящаяся на данный прибор, Вт.

8. Комплексный коэффициент приведения к расчетным условиям:

$$\varphi_k = \left(\frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t_n} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{np}}{360} \right)^p c \cdot b, \quad (4.6)$$

где Δt_{cp} – температурный напор для прибора; Δt_n – номинальная средняя разность температур, равная 70 °С для приборов отечественного производства,

60°С или 50 °С для большинства импортных приборов (см. каталоги производителей; в приложении 1 даны значения для стальных радиаторов Purmo - табл. 3, для Prado - табл. 5); $G_{пр}$ – расчетные расход воды через прибор, определяется по формуле (4.2); n , p , c – эмпирические показатели, приведенные в [3, табл.9.2]; b – коэффициент учета атмосферного давления в районе строительства [3, табл.9.1].

9. Номинальный требуемый тепловой поток отопительного прибора $Q_{нт}$, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{нт} = \frac{0,95Q_{np}\beta_4}{\varphi_k}, \quad (4.7)$$

где β_4 – коэффициент учета способа установки отопительного прибора [3, табл. 9.12];

10. По требуемой величине $Q_{нт}$ подбирается по каталогам производителей тип и размеры отопительного прибора и его номинальный тепловой поток.

Для секционных отопительных приборов требуется минимальное количество секций определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{Q_{нт}}{Q_{ну}\beta_3} \quad (4.8)$$

где $Q_{ну}$ – номинальный тепловой поток одной секции, принимаемый по каталогу производителей или по [3, табл.Х.1]; β_3 – коэффициент учета числа секций в приборе, определяется по табл.7.

Таблица 7 - Коэффициент β_3 учета числа секций в отопительном приборе

Число секций	До 15	16 - 20	21 - 25
β_3	1,00	0,98	0,96

4.1. Пример теплового расчета отопительных приборов в двухтрубных системах отопления

Выполним расчет для приборов стояка 3 (см. рис. 2), проходящего через помещения 103 и 203 с расчетной внутренней температурой $t_{в} = 18^{\circ}\text{C}$. Диаметры стояка и подводок к отопительным приборам определены ранее в гидравлическом расчете системы отопления в п.2.1 (см. табл.1) и равны 15 мм.

Подберем стальные панельные радиаторы Prado, основные характеристики которых приведены в прил.1, табл. 5 при номинальной средней разности температур $\Delta t_{н} = 70^{\circ}\text{C}$.

Расчет сводится к последовательному заполнению граф в табл. 6.

1. Температуру горячей воды на входе в Ст.3 определяем из табл.5 (температура воды в конце участка 3), $t_{г,Ст.3} = 94,45^{\circ}\text{C}$

2. В курсовом проекте ввиду малой этажности зданий допускается не учитывать остывание воды в стояке, принимая температуру горячей воды на входе в каждый прибор $t_{г}$ равной температуре воды на входе в стояк, т.е. в рассматриваемом примере для каждого прибора $t_{г} = t_{н,Ст.i}$. Поэтому,

пренебрегая остыванием воды в стояке, определяем расход воды в приборах 1-го этажа по формуле (4.2):

$$G_{np} = \frac{0,86 \cdot 600}{(94,45 - 70)} 1,03 \cdot 1,04 = 22,6 \text{ кг/ч}$$

3. Определяем температурный напор в приборах 1-го этажа по формуле (4.3):

$$\Delta t_{cp} = 0,5(94,45 + 70) - 18 = 64,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

4. Вычисляем тепловой поток от трубопроводов (стояка и подводок) при разности температур подающей трубы и воздуха $94,45 - 18 = 76,45 \text{ }^\circ\text{C}$, при разности температур обратной трубы и воздуха $70 - 18 = 52 \text{ }^\circ\text{C}$, высоте стояка 3,3 м, длине подающей подводки 1,0 м и длине обратной подводки 1,1 м. По [3, табл.П.22] определяем теплоотдачу 1 м вертикальной и горизонтальной труб при вычисленных разностях температур труб и воздуха. Так как Ст.3 обслуживает два прибора в одном помещении, при расчете теплового потока от труб по формуле (4.4) одну половину теплоотдачи стояка учитываем при расчете левого прибора, а другую – при расчете правого прибора:

$$Q_{тр..лев..np} = 0,5(66,5 \cdot 3,3 + 39 \cdot 3,3) + 86,5 \cdot 1,0 + 52 \cdot 1,1 = 318 \text{ Вт}$$

$$Q_{тр..прав..np} = 0,5(66,5 \cdot 3,3 + 39 \cdot 3,3) + 86,5 \cdot 1,0 + 52 \cdot 1,1 = 318 \text{ Вт}$$

Если стояк обслуживает только один прибор, теплоотдача обеих труб стояка учитывается полностью. Если стояк находится в одном помещении, а прибор – в другом, для этого прибора учитывается только теплоотдача подводок.

5. Рассчитываем требуемую теплоотдачу приборов на 1-ом этаже по формуле (4.5):

$$Q_{лев..np} = 600 - 0,9 \cdot 318 = 314 \text{ Вт}$$

$$Q_{прав..np} = 600 - 0,9 \cdot 318 = 314 \text{ Вт}$$

6. По формуле (4.6) вычисляем комплексный коэффициент φ_k . Предварительно по [3, табл.9.2] определяем значения эмпирических показателей n, p, c . Для стальных панельных радиаторов при движении воды в приборе по схеме «сверху-вниз» имеем: $n = 0,3$; $p = 0,02$; $c = 1,039$. Значение коэффициента b , учитывающего барометрическое давление, определяем по [3, табл.9.1], при $P_{бар} = 1000 \text{ гПа}$ для стальных панельных радиаторов значение $b = 0,996$.

$$\varphi_k = \left(\frac{64,2}{70}\right)^{1+0,3} \left(\frac{22,6}{360}\right)^{0,02} 1,039 \cdot 0,996 = 0,88$$

7. Рассчитываем требуемый тепловой поток приборов на 1-ом этаже, установленных в кирпичных нишах под окнами шириной 1,2 на расстоянии 80 мм от подоконной доски по формуле (4.7). По [3, табл. 9.12] определяем значение $\beta_4 = 1,07$, тогда

$$Q_{um} = \frac{0,95 \cdot 314}{0,88} 1,07 = 365 \text{ Вт}$$

8. Подбираем тип и длину стального панельного радиатора Prado. Стальной панельный радиатор может быть подобран по требуемому тепловому потоку под требуемые размеры по высоте и длине. Зададимся высотой радиатора 500

мм (этот типовой размер уже был заложен в гидравлическом расчете) и длиной 600мм, исходя из ширины окна 1,2м (в соответствии с [3, п. 6.4.4] длину отопительного прибора следует принимать не менее 50% длины окна). По заданным размерам по прил.1, табл.5 подбираем отопительный прибор, номинальный тепловой поток которого должен быть близким к значению $Q_{нт} = 365$ Вт, но не меньше его. Принимаем однорядную модель 10-500-600 с ближайшим $Q_{ну} = 484$ Вт.

9. Результаты расчете сводим в табл.6.

Таблица 6 – Тепловой расчет отопительных приборов

№ помещения по ходу воды	Расчетная температура в помещении $t_{в}$, °С	Тепловые потери помещения $Q_{пр}$, Вт	Остывание воды в стояке $\Delta t_{п ст}$, °С	Температура воды на входе в прибор $t_{г}$, °С	Расход воды в приборе $G_{пр}$, кг/ч	Температурный напор $\Delta t_{ср}$, °С	Теплоотдача труб $Q_{тр}$, Вт	Теплоотдача прибора $Q_{пр}$, Вт	Комплексный коэффициент φ_k	Требуемый тепловой поток $Q_{нт}$, Вт	Тип прибора
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ст.3 $\varnothing_{ст.} = 15\text{мм}$, $\varnothing_{подв} = 15\text{мм}$, $t_{н.Ст.3} = 94,45^\circ\text{С}$											
103	18	600	-	94,45	22,6	64,2	318	314	0,88	365	10-500-600
	18	600	-	94,45	22,6	64,2	318	314	0,88	365	10-500-600
203	18	620	-	94,45	23,4	64,2	166	471	0,88	544	10-500-800
	18	620	-	94,45	23,4	64,2	166	471	0,88	544	10-500-800

10. По аналогии определены модель и размеры отопительных приборов на 2-ом этаже. При этом было учтено, что на 2-м этаже длина подающего стояка составляет 0,6 м, а обратного – 0,1 м.

5. Составление спецификации на систему отопления

Спецификация материалов и оборудования составляется на весь объем запроектированной системы отопления здания и помещается в пояснительной записке.

Спецификация необходима для составления сметы и поставки материалов и оборудования на строящийся объект. В спецификацию должны включаться все виды материалов и оборудования: трубы, отопительные приборы, детали трубопроводов заводского изготовления, арматура, и т.д.

При составлении спецификации на систему отопления всего здания в курсовом проекте диаметры не рассчитанных стояков и участков магистральных теплопроводов назначить ориентировочно путем сравнения их по тепловой нагрузке с рассчитанными. Количество секций или размеры

отопительных приборов на не рассчитанных стояках также назначить, ориентируясь на тепловую нагрузку приборов на соответствующих этажах рассчитанных стояков.

В спецификации стальные панельные радиаторы записываются по типоразмерам с указанием их количества, секционные радиаторы записываются одной строчкой с указанием общего количества секций по всему зданию.

В приложении 3 приведена спецификация на систему отопления с тупиковым движением теплоносителя, рассмотренную в п.2.1.

Библиографический список

1. Отопление гражданского здания: методические указания к курсовому и дипломному проектированию/сост. О.Е. Коврина; М-во образования и науки РФ, Волгогр, гос. архит.-строит. ун-т, Каф. Теплогазоснабжения и вентиляции.- Волгоград: ВолгГАСУ, 2012.-30 с.

2.СНиП 41-01-2012. Актуализированная редакция. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (СП 60.13330.2012).- М.: Минрегион России, 2013.

3.Внутренние санитарно-технические устройства. Справочник проектировщика. Ч.1: Отопление / сост. В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.

4. Каталог. Радиаторные терморегуляторы и трубопроводная арматура для систем водяного отопления.- М.: ООО «Данфосс», 2011.- 104 с.

Приложение 1

Таблица 1 – Коэффициенты ζ местных сопротивлений

Местное сопротивление	Условный диаметр труб, мм	Значение ζ
Радиаторы чугунные	$\varnothing 15$; $\varnothing 20$	2
Радиатор стальной панельный Purmo однорядный, модели 10, 11	$\varnothing 15$	21
То же двухрядный, модели 20, 22s, 22	$\varnothing 15$	8
То же трехрядный, модели 30, 33	$\varnothing 15$	7
Радиатор стальной панельный Prado однорядный, модели 10,11	$\varnothing 15$	30,0
То же двухрядный, модели 20,21,22	$\varnothing 15$	14,5
Внезапное расширение	-	1,0
Внезапное сужение	-	0,5
Отвод под углом 90° , утка	$\varnothing 15$; $\varnothing 20$	1,5
	$\varnothing 25$; $\varnothing 32$	1,0
	$\varnothing 40$ и более	0,5
Скоба	$\varnothing 15$	3,0
	$\varnothing 20$ и более	2,0
Кран шаровый	-	1,0
Кран пробковый проходной	$\varnothing 15$	4,0
	$\varnothing 20$ и более	2,0
Тройник проходной	-	1
Тройник поворотный на ответвлении	-	1,5
Тройник на противотоке	-	3,0
Крестовина проходная	-	2,0
Крестовина поворотная	-	3,0
Грязевик	-	10,0

Таблица 2– Условная пропускная способность арматуры K_{vs}

Наименование арматуры	Условная пропускная способность K_{vs} , м ³ /ч				
	$\varnothing 15$	$\varnothing 20$	$\varnothing 25$	$\varnothing 32$	$\varnothing 40$
Клапан запорный радиаторный RLV прямой	2,5	3,0	-	-	-
Фильтр сетчатый латунный муфтовый с пробкой типа Y222	2,7	5,1	11,3	17,2	23
Клапан обратный пружинный муфтовый с металлическим затвором	4,0	8,0	10,3	18,0	24,0

Продолжение прил. 1

Таблица 3– Номинальный тепловой поток $Q_{\text{н}}$, Вт, стальных панельных радиаторов Purmo при $\Delta t_{\text{н}} = 60^{\circ}\text{C}$

Модель радиатора	Длина панельного радиатора, мм												
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000
Compact 11- 500	437	546	656	765	874	984	1093	1202	1311	1530	1740	1967	2168
Compact 22s-500	582	728	873	1019	1165	1315	1456	1601	1747	2038	2329	2620	2911
Compact 22 - 500	743	929	1114	1300	1486	1672	1857	2043	2229	2600	2972	3343	3715
Compact 33 - 500	1030	1289	1546	1803	2061	2318	2576	2834	3091	3606	4121	4637	5152
Hygiene 10 -500	275	344	413	481	550	619	688	756	825	963	1100	1238	1375
Hygiene 20 - 500	471	588	706	824	941	1059	1177	1294	1412	1647	1883	2118	2353
Hygiene 30 - 500	659	824	989	1153	1318	1483	1648	1812	1977	2307	2636	2966	3295

Таблица 4– Удельная масса стальных панельных радиаторов Purmo, кг/м

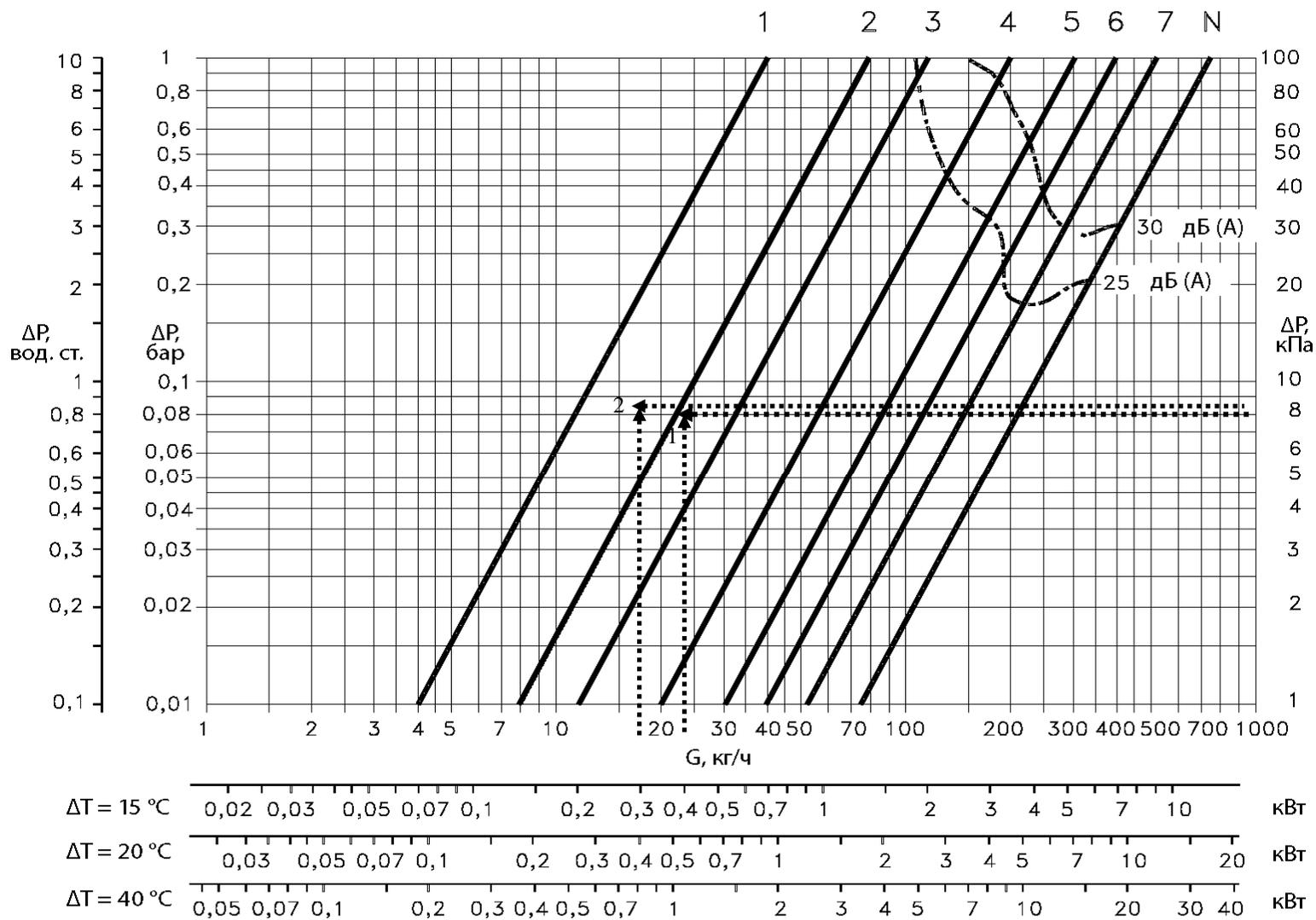
Модель радиатора	Тип	Высота, мм	Масса, кг/м	Модель радиатора	Тип	Высота, мм	Масса, кг/м
Purmo compact	11	500	15,5	Purmo hygiene	10	500	9,8
Purmo compact	22s	500	23,5	Purmo hygiene	20	500	19,5
Purmo compact	22	500	27,7	Purmo hygiene	30	500	29,22
Purmo compact	33	500	41,6	-	-	-	-

Таблица 5- Стальные панельные радиаторы Prado. Номинальный тепловой поток $Q_{\text{н}}$, Вт, при $\Delta t_{\text{н}} = 70^{\circ}\text{C}$ / Масса радиатора, кг

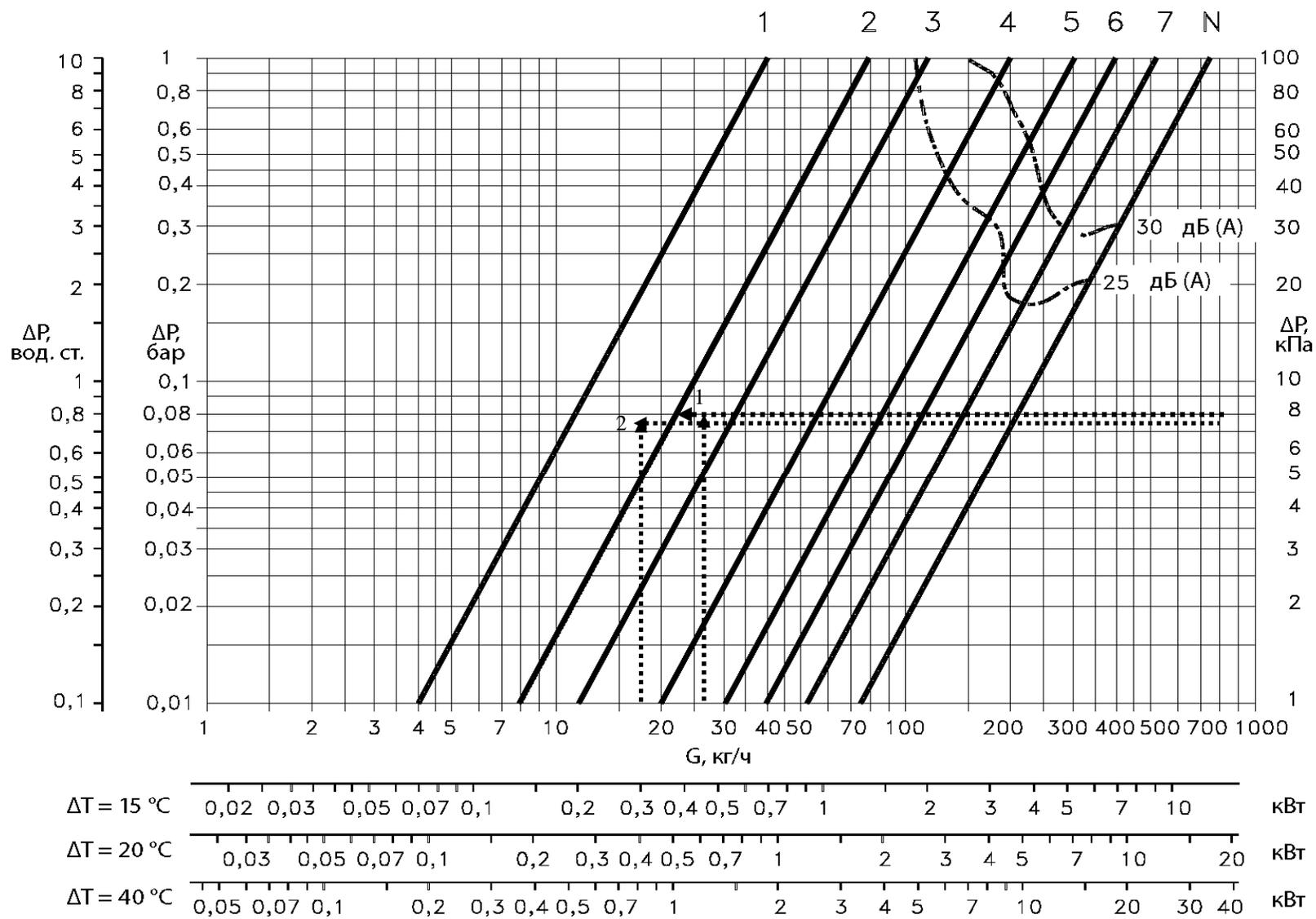
Обозначение радиатора	Длина панельного радиатора, мм					
	400	600	800	1000	1200	1400
10 – 500	323/ 5,08	484/ 7,27	646/ 9,47	807/ 11,67	968/ 13,87	1130/ 16,07
11 – 500	475/ 7,18	713/ 10,24	949/ 13,30	1188/ 16,36	1426/ 19,42	1662/ 22,48
20 - 500	523/ 0,76	784/ 5,24	1046/ 19,72	1307/ 24,20	1568/ 28,68	1831/ 33,16
21 - 500	696/ 2,09	1044/ 17,33	1393/ 22,57	1740/ 27,81	2089/ 33,05	2437/ 38,29
22 - 500	858/ 13,42	1288/ 19,42	1717/ 25,42	2145/ 31,42	2575/ 37,42	3035/ 43,42

Приложение 2 - Спецификация на систему отопления

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	При- меч.
1	2	3	4	5	6
1	ГОСТ 3262-75	Трубы стальные водогазопроводные легкие			п.м
		Ø15x2,5	247	1,16	-//-
2		Ø20x2,8	50	1,5	-//-
3		Ø25x2,8	77	2,12	-//-
4		Ø32x2,8	33	2,73	-//-
5	«Danfoss»	Кран шаровый полднопроходный			-//-
		Ø15	16	0,2	шт
		Ø25	14	0,48	-//-
		Ø32	2	0,78	-//-
6	«Danfoss»	Клапан терморегулятора RA-N			
		Ø15	40		шт
7	«Danfoss»	Клапан запорный радиаторный			
		RLV Ø15	40		шт
8		Кран латунный СТД-7073В	21	0,014	шт
9		Радиатор стальной панельный			
		Prado 10-500-400	1	5,08	шт
10		10-500-600	13	7,27	-//-
11		10-500-800	18	9,47	-//-
12		11-500-800	8	13,30	-//-
13		11-500-1000	3	16,36	. -//-
14	GRUNDFOS	UPS- 25-30	1		ком- пл.



Приложение 2. Рис. 1 Определение настроек клапана терморегулятора RA-N к примеру в п. 2.1



Приложение 2. Рис. 2 Определение настроек клапана терморегулятора RA-N к примеру в п. 2.2