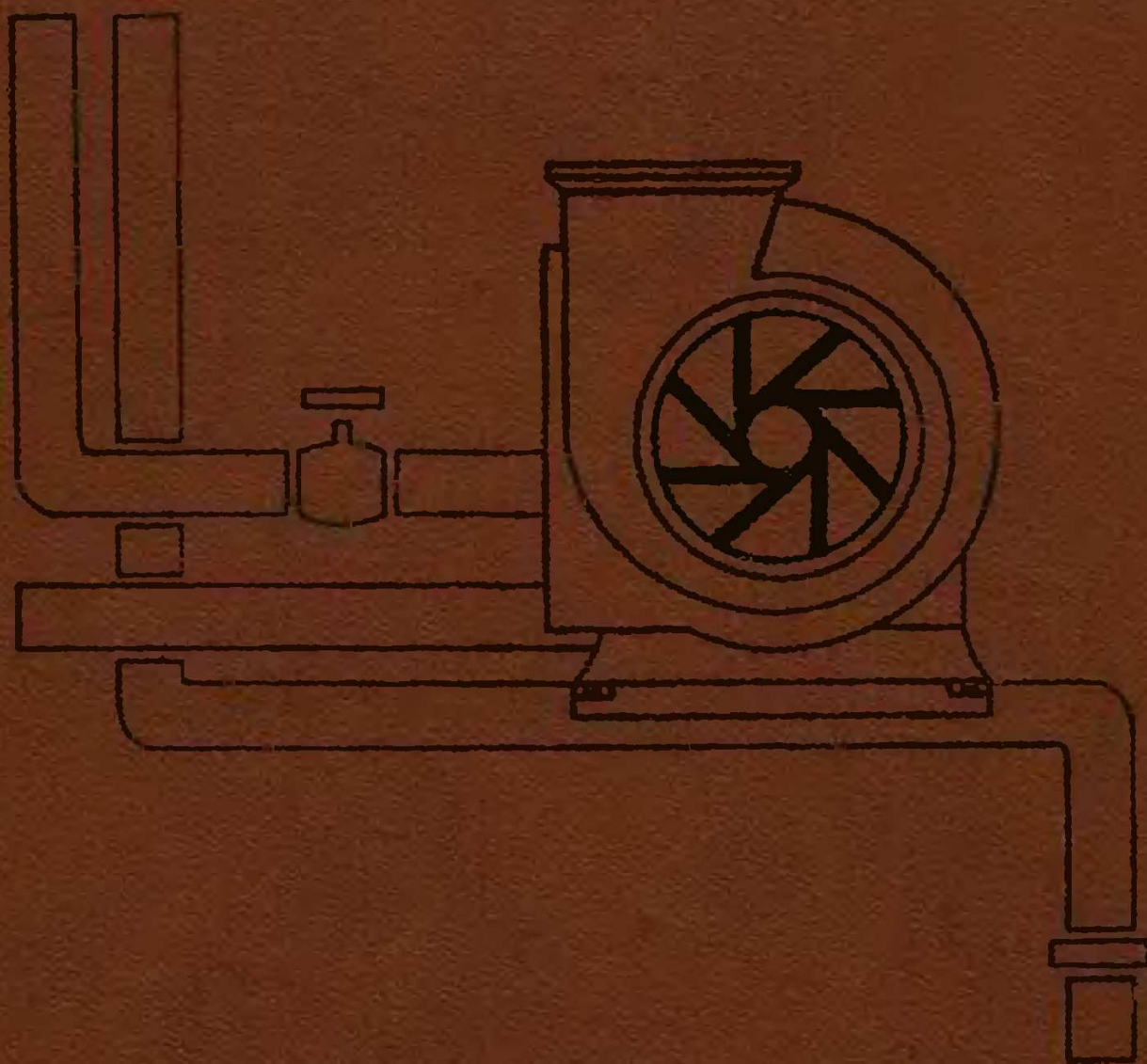


СПРАВОЧНИК

ПО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ
И ВЕНТИЛЯЦИИ



СПРАВОЧНИК

ПО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ И ВЕНТИЛЯЦИИ

КНИГА ПЕРВАЯ

ОТОПЛЕНИЕ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

*ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ*

Справочник по теплоснабжению и вентиляции (издание 4-е, переработанное и дополненное). Книга 1-я. *Р. В. Щекин, С. М. Корневский, Г. Е. Бем, [Ф. И. Скорыходько], Е. И. Чечик, Г. Д. Соболевский, В. А. Мельник, О. С. Корневская.* Киев, «Будівельник», 1976, стр. 416.

Справочник содержит основные сведения по строительной теплотехнике с расчетами и выбором строительных конструкций наружных ограждений отапливаемых зданий, а также по устройству, расчету и проектированию систем отопления, горячего водоснабжения и теплоснабжения в жилых и общественных зданиях.

Предназначен справочник для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и строительством жилых и общественных зданий, а также может быть полезен студентам сантехнических специальностей.

Таблиц 196, рисунков 81, приложений 2.

Рецензенты *канд. техн. наук Е. И. Чечик* и *инж. Э. И. Микунис*

Редакция литературы по коммунальному хозяйству
Заведующий редакцией *инж. А. Л. Леоновский*

Щ $\frac{30213 - 092}{М203 (04) - 76}$ 115—76

© Госстройиздат УССР, 1959 г.

© Издательство «Будівельник», 1976 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Четвертое издание справочника по теплоснабжению и вентиляции жилых и общественных зданий, существенно переработанное и дополненное, выпускается в двух книгах. В первую — «Отопление и теплоснабжение» входят разделы: Строительная теплотехника, Печное отопление, Центральное отопление, Горячее водоснабжение, Отопительные котельные и Тепловые сети; во вторую — «Вентиляция и кондиционирование воздуха» — Вентиляция, Кондиционирование воздуха, Автоматика систем теплоснабжения и вентиляции, Вычислительные машины в расчетах систем теплоснабжения и вентиляции.

Справочник, кроме нормативных сведений, содержит материалы по проектированию; здесь приводятся примеры расчета и конструирования современных сантехнических установок, а также подбора основного оборудования. Особое внимание уделено вопросам внедрения в строительство новых технических решений, направленных на снижение стоимости систем и экономию металла, топлива и электроэнергии.

Материал представлен в виде таблиц, эскизов, номограмм, графиков, выдержек из норм и стандартов, каталожных данных по оборудованию и конструктивных решений.

В справочнике даны также сведения об оборудовании, снятом с производства, но еще эксплуатируемом во многих зданиях и сооружениях.

Ограниченный объем книги не позволил поместить в справочнике материалы по проектированию уникальных сооружений и специального оборудования коммунальных предприятий, лечебных и общественных зданий, строящихся согласно особым техническим условиям.

Справочник подготовили: канд. техн. наук доц. Р. В. Щекин (Строительная теплотехника, Центральное отопление, Горячее водоснабжение и Отопительные котельные); доц. Г. Е. Бем (Печное отопление); доц. Ф. И. Скороходько и инж. В. А. Мельник (Тепловые сети); канд. техн. наук доц. С. М. Корневский с участием инж. О. С. Корневской (Вентиляция); доц. Г. Е. Бем и канд. техн. наук Е. И. Чечик (Кондиционирование воздуха); канд. техн. наук доц. Г. Д. Соболевский (Автоматика систем теплоснабжения и вентиляции); канд. техн. наук Е. И. Чечик с участием канд. техн. наук Р. Е. Цаля (Вычислительные машины в расчетах систем теплоснабжения и вентиляции).

Поскольку до настоящего времени все действующие нормативные документы по строительству, каталоги заводов-изготовителей оборудования и материалов изданы и продолжают издаваться в единицах измерения системы МКГСС, в справочнике сохранены эти единицы. Однако в приложении 1 даны необходимые сведения по единицам системы СИ согласно проекту нового ГОСТа «Единицы физических величин».

Нормативные материалы в справочнике приведены по состоянию на 1 января 1976 г.

Авторский коллектив выражает благодарность доктору техн. наук профессору Б. Н. Лобаеву за ценные методические указания при подготовке справочника к изданию.

Все замечания и предложения по справочнику просим направлять по адресу: Киев, Владимирская, 24, издательство «Будівельник».

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Теплофизическая характеристика строительных материалов и конструкций

Строительные конструкции внешних ограждений отапливаемых жилых и общественных зданий должны отвечать требованиям прочности и устойчивости, огнестойкости и долговечности, архитектурного оформления и экономичности, а также теплотехническим нормам*. Ограждающие конструкции выбирают в зависимости от физических свойств материала, конструктивного решения, температурно-влажностного режима воздуха в здании и климатологических характеристик района строительства в соответствии с нормами сопротивления теплопередаче, паро- и воздухопроницанию. В зданиях с мокрым и влажным режимами следует учитывать паропроницание и возможность накопления влаги в толще наружного ограждения, что снижает его сопротивление теплопередаче, приводит к появлению сырости, поражению древесным грибом, деформациям конструкций и повышенной коррозии металла. Воздухопроницание, особенно в стыковых соединениях панелей при крупноблочном строительстве и в щелях створных периметров проемов, снижая сопротивление теплопередаче наружных ограждений, одновременно приводит к перерасходу тепла на отопление здания. Применение массивных конструкций наружных ограждений, не соответствующих расчетному температурно-влажностному режиму, ведет к перерасходу строительных материалов и капитальных затрат.

В условиях периодической работы отопления для уменьшения колебания температуры воздуха в помещениях зимой, а в южных районах для устранения перегрева воздуха летом наружные ограждения должны обладать необходимой теплоустойчивостью. Чтобы получить наиболее экономичное конструктивное решение, теплозащитные качества наружных ограждений определяют расчетом. Теплозащитные качества внутренних стен, перегородок и междуэтажных перекрытий проверяют расчетом при разности температур в разделяемых помещениях более 10°C .

Для обоснованного выбора строительных конструкций наружных ограждений отапливаемых зданий в справочнике изложена методика расчета сопротивлений теплопередаче с проверкой, в необходимых случаях, на конденсацию влаги. Подробные проверочные расчеты ограждающих конструкций на сопротивление воздухо- и паропроницанию, а также на теплоустойчивость выполняются по нормам СНиП II-A.7—71 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования».

Основные физические свойства строительных материалов характеризуются объемной массой, удельной теплоемкостью и коэффициентами теплопроводности, теплоусвоения, паро- и воздухопроницаемости.

Объемная масса γ в $\text{кг}/\text{м}^3$ — масса 1 м^3 материала в кг (с учетом пустот).

Удельная теплоемкость c в $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ — количество теплоты, необходимое для нагрева 1 кг материала на 1°C . Удельная теплоемкость воды равна $1 \text{ ккал}/(\text{кг} \times ^{\circ}\text{C})$.

Коэффициент теплопроводности материала λ в $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$ — количество теплоты в ккал , проходящее через плоскую однородную стенку площадью 1 м^2 и толщиной 1 м в течение 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях стенки 1°C . Коэффициент теплопроводности зависит от объемной массы, пористости, влажности и температуры материала. Чем больше его объемная масса и влажность, тем больше теплопроводность. Например, в уплотненном и влажном материале с большей объемной массой теплоизолирующая способность пустот меньше, чем в более рыхлом и сухом материале с меньшей объемной массой.

* Здесь и далее в тексте имеются в виду Строительные нормы и правила. Ч. II. Нормы строительного проектирования. Изменения, внесенные Госстроем СССР в последующих изданиях отдельных разделов этих норм, учтены по состоянию на 1/1 1976 г.

Таблица 1.1. Теплотехнические характеристики строительных материалов и конструкций (СНиП II-A. 7—71)

Материалы и конструкции	В сухом состоянии			Расчетная величина коэффициента теплопроводности λ , $\text{ккал}/(\text{м ч } ^\circ\text{C})$	Массовая влажность w , проц.		
	Объемная масса γ_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности λ_0 , $\text{ккал}/(\text{м ч } ^\circ\text{C})$	Удельная теплостоемость c_0 , $\text{ккал}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$				
						при условии эксплуатации *	
						А	Б
Асбестоцементные изделия							
Асбестоцементные плиты (ГОСТ 929—59)	1900	0,35	0,2	0,45	0,5	3	
	1800	0,3	0,2	0,4	0,45	3	
Асфальтовые и битумные материалы							
Асфальтобетон (ГОСТ 12801—71)	2100	0,9	0,4	0,9	0,9	0	
Битумы нефтяные строительные и кровельные (ГОСТ 6617—56, ГОСТ 9548—74)	1300	0,21	0,4	0,21	0,21	0	
	1000	0,15	0,4	0,15	0,15	0	
Битумоперлит (ГОСТ 16136—70)	400	0,095	0,35	0,1	0,105	2	
	300	0,075	0,35	0,08	0,085	2	
Бетоны							
Железобетон (ГОСТ 13015—67)	2500	1,45	0,2	1,65	1,75	3	
Бетон на гравии или щебне из природного камня (ГОСТ 13579—68)	2400	1,3	0,2	1,5	1,6	3	
	2200	1,0	0,2	1,2	1,3	3	
Бетон силикатный на кварцевом песке (ТУ 21—01—91—67)	2000	0,9	0,2	1,1	1,2	3	
	1800	0,8	0,2	1,0	1,1	3	
Шлакобетон на топливных (котельных) шлаках и бетон на аглопорите (ГОСТ 6928—54)	1800	0,6	0,2	0,7	0,8	8	
	1600	0,5	0,2	0,6	0,65	8	
	1400	0,45	0,2	0,5	0,55	8	
	1200	0,35	0,2	0,4	0,45	8	
	1000	0,25	0,2	0,3	0,35	8	
	800	0,2	0,2	0,25	0,3	8	
Шлакобетон на доменных гранулированных шлаках	1800	0,5	0,2	0,6	0,7	8	
	1600	0,4	0,2	0,5	0,55	8	
	1200	0,3	0,2	0,4	0,45	8	

Шлакобетон или термозитобетон (ГОСТ 11050—64)	1000	0,25	0,2	0,3	0,25	5	8
	1800	0,45	0,2	0,55	0,65	6	10
	1600	0,35	0,2	0,45	0,5	6	10
	1400	0,3	0,2	0,35	0,4	6	10
	1200	0,25	0,2	0,3	0,35	6	10
	1000	0,2	0,2	0,25	0,3	6	10
	800	0,15	0,2	0,2	0,25	6	10
	1600	0,4	0,2	0,55	0,6	8	12
	1400	0,3	0,2	0,45	0,5	8	12
	1200	0,25	0,2	0,35	0,4	8	12
	1000	0,2	0,2	0,3	0,35	8	12
	800	0,15	0,2	0,25	0,3	8	12
	600	0,13	0,2	0,2	0,25	8	12
	1600	0,45	0,2	0,55	0,65	6	10
Керамзитобетон (ГОСТ 11024—64)	1400	0,4	0,2	0,45	0,5	6	10
	1200	0,3	0,2	0,35	0,4	6	10
	1000	0,2	0,2	0,25	0,3	6	10
	800	0,17	0,2	0,2	0,25	6	10
	600	0,14	0,2	0,17	0,2	6	10
	1000	0,19	0,2	0,23	0,28	10	15
	800	0,14	0,2	0,18	0,22	10	15
	600	0,1	0,2	0,12	0,15	10	15
	400	0,07	0,2	0,1	0,13	10	15
	700	0,15	0,2	0,17	0,18	8	13
	500	0,1	0,2	0,11	0,12	8	13
	300	0,07	0,2	0,08	0,09	8	13
	Бетоны ячеистые						
	1000	0,24	0,2	0,3	0,35	10	15
Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат (ГОСТ 11118—73, ГОСТ 5742—61, ГОСТ 12852—67)	800	0,18	0,2	0,22	0,25	10	15
	600	0,12	0,2	0,15	0,18	8	12
	400	0,09	0,2	0,11	0,12	8	12
	300	0,07	0,2	0,09	0,11	8	12
	1200	0,25	0,2	0,35	0,4	15	22
	1000	0,2	0,2	0,3	0,35	15	22
	800	0,15	0,2	0,2	0,25	15	22
Газо- и пенозобетон (СТУ 109—641—62, РТУ ЭССР 1274—67)	1000	0,24	0,2	0,3	0,35	10	15
	800	0,18	0,2	0,22	0,25	10	15
	600	0,12	0,2	0,15	0,18	8	12
	400	0,09	0,2	0,11	0,12	8	12
	300	0,07	0,2	0,09	0,11	8	12
	1200	0,25	0,2	0,35	0,4	15	22
	1000	0,2	0,2	0,3	0,35	15	22
	800	0,15	0,2	0,2	0,25	15	22
	1000	0,24	0,2	0,3	0,35	10	15
	800	0,18	0,2	0,22	0,25	10	15
	600	0,12	0,2	0,15	0,18	8	12
	400	0,09	0,2	0,11	0,12	8	12
	300	0,07	0,2	0,09	0,11	8	12
	1200	0,25	0,2	0,35	0,4	15	22
	1000	0,2	0,2	0,3	0,35	15	22

* Условия эксплуатации А и Б принимают по табл. 1.2.

Материалы и конструкции	В сухом состоянии			Расчетная величина коэффициента теплопроводности λ , $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	при условии эксплуатации ограждения		Массовая влажность w , проц.	
	Объемная масса γ_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности λ_0 , $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	Удельная теплоемкость c_0 , $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$		А	Б	А	Б
Бетоны из пористых бетонных заполнителей (РТУ АрмССР 785—66)								
Туфобетон	2000	0,7	0,23	0,9	1,0	7	10	
	1800	0,55	0,23	0,75	0,85	7	10	
	1600	0,45	0,23	0,6	0,7	7	10	
	1400	0,35	0,23	0,45	0,5	7	10	
	1200	0,25	0,23	0,35	0,4	7	10	
Пемзобетон	1700	0,5	0,23	0,6	0,65	7	10	
	1500	0,4	0,23	0,46	0,5	4	6	
	1100	0,25	0,23	0,3	0,33	4	6	
	900	0,19	0,23	0,22	0,25	4	6	
	700	0,13	0,23	0,16	0,2	4	6	
Бетон на вулканическом шлаке	1200	0,28	0,23	0,35	0,39	8	10	
	1000	0,21	0,23	0,25	0,3	8	10	
	800	0,17	0,23	0,2	0,25	8	10	
Вата минеральная и стеклянная и изделия из нее								
Вата минеральная (ГОСТ 4640—66)	100	0,038	0,18	0,04	0,042	2	5	
	150	0,042	0,18	0,044	0,047	2	5	
	100	0,04	0,18	0,042	0,045	2	5	
	175	0,044	0,18	0,047	0,052	2	5	
	300	0,06	0,22	0,062	0,065	2	5	
	400	0,07	0,22	0,072	0,075	2	5	
	100	0,04	0,22	0,042	0,045	2	5	
	200	0,05	0,22	0,052	0,058	2	5	
	300	0,06	0,22	0,063	0,07	2	5	
	100	0,038	0,18	0,04	0,042	2	5	
Плиты минераловатные прошивные (МРТУ 7-19—68)	200	0,046	0,18	0,048	0,052	2	5	

Маты минераловатные рулонированные на синтетическом связующем (ТУ 36-917—67 ММСС СССР)	50 75	0,034 0,037	0,18 0,18	0,038 0,04	0,04 0,042	2 2	5 5
Плиты минераловатные на крахмальном связующем (ТУ 1—81—69)	125 200	0,04 0,05	0,18 0,18	0,042 0,052	0,045 0,056	2 2	5 5
Вага стекляная из непрерывного волокна (ГОСТ 5174—49)	125	0,042	0,18	0,044	0,046	2	5
Плиты полужесткие и маты теплоизоляционные из стекляного штапельного волокна (ГОСТ 10499—67)	35—50	0,04	0,2	0,042	0,045	2	5
Маты и полосы из стекляного волокна (ГОСТ 2245—43)	175	0,042	0,2	0,044	0,048	2	5
Стекло							
Стекло оконное (ГОСТ 111—65)	2600	0,7	0,2	0,7	0,7	0	0
Гипсовые материалы и изделия							
Блоки из гипса (ТУ 21-02—69, ТУ 55—67)	1200 1100	0,3 0,25	0,2 0,2	0,35 0,3	0,4 0,35	2 2	3 3
Гипсовые плиты с органическим наполнителем (ГОСТ 1008—41)	700	0,12	0,25	0,18	0,2	8	10
Листы гипсовые обшивочные — сухая штукатурка (ГОСТ 6266—67)	500 800	0,09 0,13	0,25 0,24	0,15 0,16	0,17 0,18	8 2	10 3
Дерево и изделия из него							
Хвойные породы (ГОСТ 8486—66, ГОСТ 9463—72):	500 500	0,08 0,15	0,6 0,6	0,12 0,25	0,15 0,3	15 15	20 20
поперек волокон							
вдоль волокон							
Лиственные породы (ГОСТ 9462—71, ГОСТ 2695—71):	700 700	0,09 0,2	0,6 0,6	0,15 0,3	0,2 0,35	— —	— —
поперек волокон							
вдоль волокон							
Фанера клееная (ГОСТ 3916—69)	600	0,1	0,6	0,13	0,15	10	13
Плиты фибролитовые на порландцементе (ГОСТ 8928—70)	500 400 300	0,1 0,08 0,06	0,5 0,5 0,5	0,15 0,12 0,1	0,2 0,15 0,13	10 10 10	15 15 15
Плиты древесноволокнистые и древесностружечные (ГОСТ 8904—66, ГОСТ 4598—74, ГОСТ 10632—70)	1000 600 400	0,13 0,09 0,07	0,5 0,5 0,5	0,2 0,11 0,08	0,25 0,14 0,12	10 10 10	15 12 12

Материалы и конструкции	В сухом состоянии			Расчетная величина коэффици- циента теплопроводности λ , $\text{ккал}/(\text{м ч } ^\circ\text{C})$	Массовая влажность w , проц		
	Объемная масса γ_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопровод- ности λ_0 , $\text{ккал}/(\text{м ч } ^\circ\text{C})$	Удельная теплоемкость c_0 , $\text{ккал}/(\text{кг} \times^\circ\text{C})$				
						при условии эксплуатации ограждения	
				A	B	A	B
Плиты древесноволокнистые и древесностру- жечные (ГОСТ 8904—66, ГОСТ 4598—74, ГОСТ 10632—70) Арболит на древесных отходах (РТУ ЛитССР 1031—69)	200	0,05	0,5	0,06	0,07	10	12
	700	0,12	0,5	0,18	0,23	10	12
	600	0,1	0,5	0,15	0,19	10	12
	500	0,08	0,5	0,12	0,15	10	12
Засыпки							
Песок (ГОСТ 8736—67) Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578—65) Гравий керамзитовый (ГОСТ 9759—71)	1700	0,3	0,18	0,4	0,5	1	2
	900	0,14	0,2	0,18	0,22	2	4
	500	0,08	0,2	0,12	0,14	2	4
	800	0,15	0,2	0,18	0,2	2	5
Щебень аглопоритовый (ГОСТ 11991—66)	600	0,12	0,2	0,15	0,17	2	5
	400	0,105	0,2	0,11	0,12	2	5
	200	0,085	0,2	0,09	0,1	2	5
	800	0,15	0,2	0,19	0,23	3	6
Пемза шлаковая (ГОСТ 9760—61)	600	0,13	0,2	0,16	0,19	3	6
	400	0,105	0,2	0,13	0,15	3	6
	800	0,14	0,2	0,18	0,22	3	6
	600	0,12	0,2	0,15	0,18	3	6
Перлит вспученный (ГОСТ 10832—64)	400	0,1	0,2	0,12	0,14	3	6
	400	0,065	0,2	0,075	0,08	2	5
	200	0,05	0,2	0,065	0,07	2	5
	100	0,04	0,2	0,045	0,05	2	5
Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865—67)	300	0,065	0,2	0,09	0,1	3	6
	200	0,055	0,2	0,08	0,09	3	6
	100	0,045	0,2	0,065	0,07	3	6

Камни природные

Гранит, гнейс, базальт (РТУ ЛатвССР 098—67)	2800	3,0	0,22	3,0	3,0	—	—
Мрамор (РТУ ЛатвССР 098—67)	2800	2,5	0,22	2,5	2,5	—	—
Камни из известняков (ГОСТ 4001—66)	2100	0,9	0,22	1,1	1,2	2	3
	1700	0,55	0,22	0,7	0,8	2	3
	1500	0,45	0,22	0,55	0,6	2	3
Камни из туфа месторождений АрмССР (ГОСТ 4001—66)	2000	0,65	0,22	0,8	0,9	3	5
	1700	0,4	0,22	0,5	0,6	3	5
	1500	0,3	0,22	0,4	0,5	3	5
	1300	0,25	0,22	0,35	0,4	3	5
	1100	0,2	0,22	0,25	0,3	3	5
Кладка на тяжелом растворе из камня правильной формы (ГОСТ 4001—66) при объемной массе камня, кг/м³:	2600	2,2	0,22	2,55	2,75	2	3
	2000	0,65	0,22	0,9	1,0	2	3
	1200	0,3	0,22	0,4	0,45	2	3
Кладка на тяжелом растворе из камня неправильной формы (ГОСТ 4001—66) при объемной массе камня, кг/м³:	2400	1,8	0,22	2,05	2,2	2	3
	2000	0,6	0,22	0,8	0,9	2	3
	1200	0,35	0,22	0,45	0,5	2	3
Кладка из кирпича на любом растворе							
Кирпич глиняный обыкновенный, пустотелый, легковесный (ГОСТ 530—71, ГОСТ 6316—74, ГОСТ 648—73, ГОСТ 7484—69)	1800	0,48	0,21	0,6	0,7	1	2
	1600	0,4	0,21	0,5	0,55	1	2
	1400	0,35	0,21	0,45	0,5	1	2
	1200	0,3	0,21	0,4	0,45	1	2
	1000	0,25	0,21	0,35	0,4	1	2
Кирпич силикатный (ГОСТ 379—69)	1800	0,6	0,21	0,65	0,75	2	4
Кирпич шлаковый (ГОСТ 1148—41)	1500	0,45	0,21	0,55	0,6	1,5	3

Материалы и конструкции	В сухом состоянии			Расчетная величина коэффициента теплопроводности λ , $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	Массовая влажность w , проц.		
	Объемная масса γ_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности λ_0 , $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	Удельная теплоемкость c_0 , $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$				
						при условии эксплуатации ограждения	
				А	Б	А	Б
Органические теплоизоляционные материалы							
Плиты камышовые (ГОСТ 7483—58)	350	0,06	0,4	0,08	0,12	10	15
Плиты торфяные теплоизоляционные (ГОСТ 4861—74)	250	0,05	0,4	0,06	0,08	10	15
	250	0,05	0,4	0,055	0,065	15	20
Пористые полимерные материалы							
Пенопласт полистирольный бисерный (ГОСТ 15588—70)	25—35	0,035	0,32	0,036	0,037	2	10
Пенопласт плиточный марки ПС-4 (СТУ 9-92—61)	74	0,035	0,32	0,036	0,037	2	10
То же, марки ПС-1 (СТУ 9-91—61)	100	0,035	0,32	0,036	0,037	2	10
	150	0,04	0,32	0,041	0,042	1	5
Мипора (МРТУ 6-05-1112—68)	200	0,05	0,32	0,051	0,052	1	5
	15	0,035	0,32	0,04	0,045	15	30
Пенопласт плиточный ПХВ-1 (МРТУ 6-05-1179—69)	100	0,04	0,3	0,041	0,043	2	10
Пенопласт заливочный марки ФРП-1 (ВТУ 38—64)	125	0,05	0,3	0,051	0,053	2	10
	50	0,04	0,4	0,042	0,045	5	25
Поропласт полиуретановый эластичный ППУЭ и ППУЭС (МРТУ 6-05-1150—68)	50	0,04	0,35	0,041	0,042	1	3
	75	0,035	0,35	0,036	0,037	1	3
Пенополиуретан жесткий самозатухающий ППУ-3Н (ТУ 67—66)							

Растворы строительные и штукатурные

Цементно-песчаный раствор или штукатурка из него	1800	0,5	0,2	0,65	0,8	2	4
Сложный раствор (песок, известь, цемент) или штукатурка из него	1700	0,45	0,2	0,6	0,75	2	4
Известково-песчаный раствор или штукатурка из него	1600	0,4	0,2	0,6	0,7	2	4
Штукатурка из известково-песчаного раствора по дроби	1400	0,35	0,2	0,45	0,55	2	4
Цементно-шлаковый раствор	1400 1200	0,35 0,3	0,2 0,2	0,45 0,4	0,55 0,5	2 2	4 4

Рулонные материалы

Линолеум поливинилхлоридный многослойный (ГОСТ 14632—69)	1800	0,33	0,35	0,33	0,33	—	—
То же, на тканевой основе (ГОСТ 7251—66)	1600	0,28	0,35	0,28	0,28	—	—
Картон облицовочный (ГОСТ 8740—74)	1700	0,27	0,35	0,27	0,27	—	—
Картон строительный многослойный «энсонит» (ГОСТ 4408—48)	1500	0,22	0,35	0,22	0,22	—	—
Руберойд (ГОСТ 10923—64), пергамин (ГОСТ 2697—64), толь (ГОСТ 10999—64)	1000	0,15	0,32	0,18	0,2	5	10
	650	0,11	0,32	0,18	0,15	—	—
	600	0,15	0,35	0,15	0,15	—	—

- Примечания. 1. Если величина объемной массы материала отличается от приведенной в табл. I.1, то расчетную величину коэффициента теплопроводности λ следует определять линейной интерполяцией табличных величин или принимать по экспериментальным данным.
2. Величину коэффициента теплопроводности λ материалов, подверженных уплотнению, деформации или усадке (например, минеральная вата и изделия на ее основе, войлок и др.), надлежит увеличивать на 20 %. Независимо от их объемной массы (надбавка на усадку теплоизоляционного материала $b = 1,2$).
3. Расчетные величины коэффициентов теплопроводности λ материалов в отражающих конструкциях следует принимать по табл. I.1 с учетом их условий эксплуатации (А и Б). Выбор требуемого столбца в табл. I.1 относительно условий эксплуатации принимать по данным табл. I.2, предварительно определив зону влажности наружного воздуха в данном пункте строительства по карте на листе I.1 или по табл. I.3.

Во влажном материале пустоты заполнены водой, что увеличивает его теплопроводность, поскольку λ воды примерно в 20 раз больше λ воздуха. Для большинства строительных материалов, имеющих воздушные поры-пустоты, коэффициент теплопроводности находится в прямой зависимости от их объемной массы.

Если стенка состоит из слоев неоднородных материалов, среднее значение коэффициента теплопроводности вычисляют по формуле

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \dots + \lambda_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}, \quad (I.1)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — коэффициенты теплопроводности материалов, входящих в рассматриваемый слой, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

$F_1, F_2, \dots, F_n$ — площади участков материалов, входящих в рассматриваемый слой, м^2 .

Величину среднего коэффициента теплопроводности каменной кладки находят в зависимости от доли содержания в ней камня и раствора по формуле

$$\lambda_{\text{ср}}^{\text{кл}} = \lambda_{\text{к}} P_{\text{к}} + \lambda_{\text{р}} P_{\text{р}}, \quad (I.2)$$

где $\lambda_{\text{к}}$ и $\lambda_{\text{р}}$ — коэффициенты теплопроводности камня и раствора, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;
 $P_{\text{к}}$ и $P_{\text{р}}$ — доли содержания материалов по объему.

Термическое сопротивление в $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$ однородного материального слоя толщиной δ в м

$$R = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (I.3)$$

Коэффициент теплоусвоения материала s в $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ показывает способность поверхности стенки площадью 1 м^2 усваивать теплоту в течение 1 ч при температурном перепаде 1°C и зависит от продолжительности отопления z в ч и физических свойств материала — λ, c, γ . Величина коэффициента теплоусвоения материала при $z = 24 \text{ ч}$

$$s = 0,51 \sqrt{\lambda c \gamma w}, \quad (I.4)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала, принимаемый по табл. I.1;
 c_w — удельная теплоемкость влажного материала, определяемая по формуле

$$c_w = \frac{c_0 + 0,01w}{1 + 0,01w}; \quad (I.5)$$

c_0 — удельная теплоемкость сухого материала, принимаемая по табл. I.1;

γ_w — объемная масса влажного материала, определяемая по формуле

$$\gamma_w = \gamma_0 \left(1 + \frac{w}{100} \right); \quad (I.6)$$

w — массовая влажность материала, проц., принимаемая по табл. I.1.

Наружные ограждения могут быть легкими, малой массивности, средней массивности и массивными.

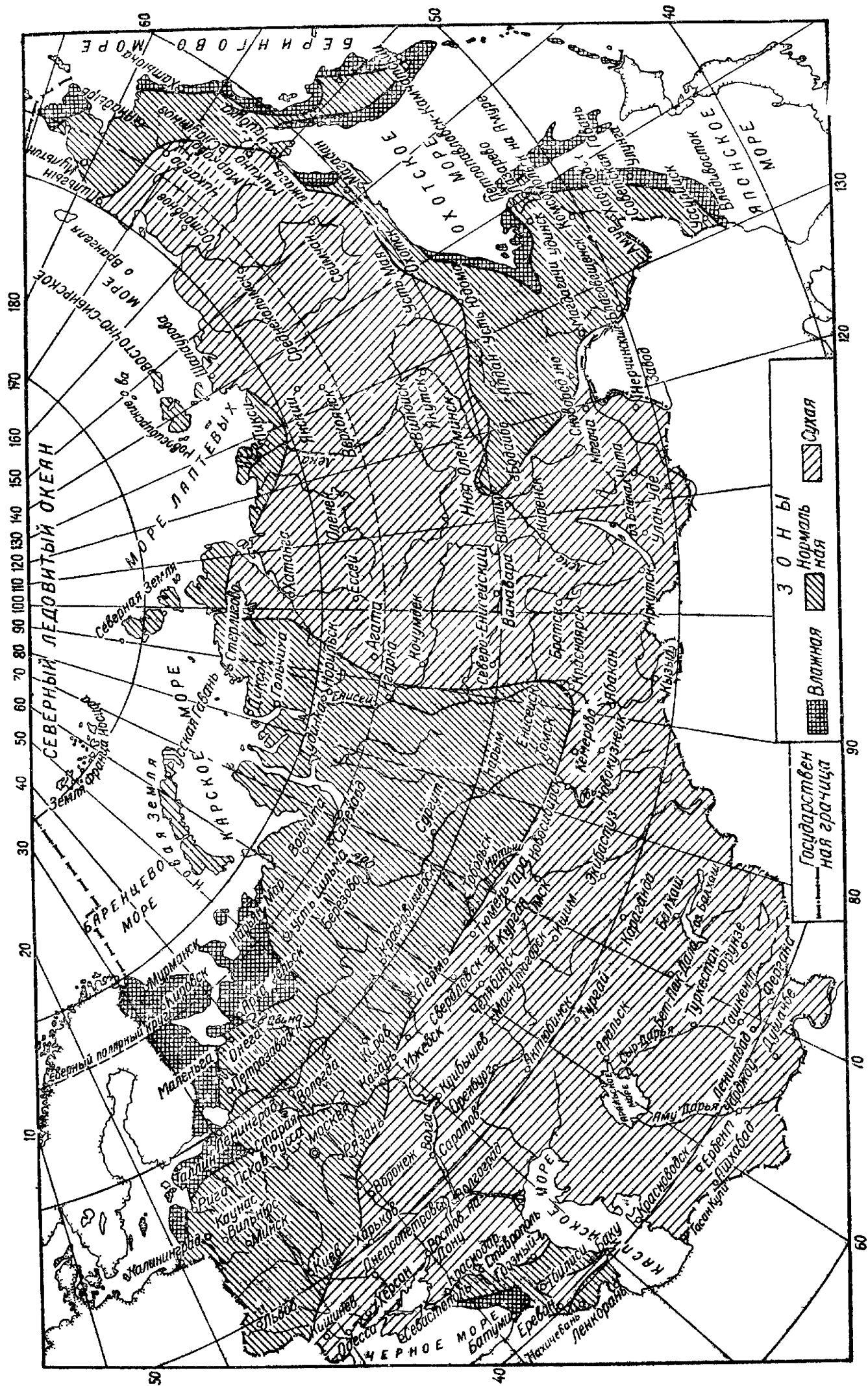
Степень массивности определяется по величине тепловой инерции D , вычисляемой по формуле

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (I.7)$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ — термические сопротивления отдельных однородных слоев ограждения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})/\text{ккал}$, вычисляемые по формуле (I.3),

$s_1, s_2, \dots, s_n$ — коэффициенты теплоусвоения отдельных слоев материала, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$, при периоде отопления $z = 24 \text{ ч}$, вычисляемые по формуле (I.4).

Наружные ограждения считаются легкими при $D \leq 1,5$, малой массивности — при $1,5 < D \leq 4$, средней массивности — при $4 < D \leq 7$ и массивными — при $D > 7$. Для воздушных прослоек $D = 0$.



Лист 1.1. Схематическая карта СССР с обозначением зон влажности.

Влажностный режим в зданиях (сухой, нормальный, влажный и мокрый) в условиях эксплуатации ограждающих конструкций принимают в зависимости от относительной влажности внутреннего воздуха ϕ по табл. I.2.

Таблица I.2. Условия эксплуатации ограждений для выбора расчетных значений λ (СНиП II-A.7—71)

Влажностный режим помещений	Относительная влажность воздуха помещений ϕ , проц.	Группа условий эксплуатации в зависимости от зоны влажности (лист I.1)		
		сухая	нормальная	влажная
Сухой	Менее 50	A	A	B
Нормальный	50—60	A	B	B *
Влажный	61—75	B	B *	B *
Мокрый	Более 75	B *	B *	B *

Примечания. 1. При условиях эксплуатации B, отмеченных звездочкой, расчетные величины коэффициентов теплопроводности λ следует повышать на 10% для наружных ограждающих конструкций, выполняемых из медленно высыхающих материалов, например, для стен из золотобетона, газозолотобетона, бетона с перлитом и др.

2. Для перекрытий над неотапливаемыми подвалами, а также для стен подвалов и подземных помещений расчетные величины коэффициентов теплопроводности материалов λ во всех случаях следует принимать для условий B.

При проектировании наружных стен следует предусматривать меры по защите их от следующих видов влаги: атмосферной, конденсирующейся на внутренней поверхности и в толще конструкции, грунтовой и влаги от производственных и хозяйственно-бытовых процессов.

Для стен помещений с влажным и мокрым режимами нельзя применять силикатный кирпич, пустотелые камни, ячеистые бетоны и каменную кладку на легком растворе. Устройство воздушных прослоек допускается только при условии вентиляции их наружным воздухом. Невентилируемые воздушные прослойки в покрытиях (например, в банях и прачечных) запрещены.

В многослойных конструкциях наружных ограждений для уменьшения вероятности увлажнения рекомендуется располагать к внутренней поверхности слой из плотных теплопроводных материалов с малой паропроницаемостью, а к наружной — слой из пористых малотеплопроводных, но паропроницаемых материалов. В ограждениях с воздушными прослойками следует избегать прослоек большой толщины: выгоднее применять несколько прослоек малой толщины, располагая их ближе к наружной поверхности ограждения. Прослойки следует делать замкнутыми, за исключением случаев сообщения их с наружным воздухом для вентиляции и предотвращения конденсации влаги (например, в покрытиях, витринах магазинов и т.д.)*. Замкнутые воздушные прослойки в толще наружных стен должны иметь высоту не более высоты этажа, но не свыше 5 м. При устройстве воздушных прослоек, вентилируемых наружным воздухом, высота их не ограничивается.

Для защиты покрытий от увлажнения следует предусматривать в них пароизоляцию ниже теплоизоляционного слоя или прослойки, вентилируемые наружным воздухом. Беспустотные полы, устраиваемые непосредственно на грунте в зонах примыкания их к наружным стенам, необходимо утеплять влагостойкими материалами.

Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

При определении теплозащитных качеств и выборе конструкций наружных ограждений принимают следующую расчетную зимнюю температуру наружного воздуха: для легких ограждений — абсолютно минимальную температуру t_a ; для ограждений малой массивности —

* К. Ф. Фокин. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М., Госстройиздат, 1954.

Таблица 1.3. Расчетные параметры наружного воздуха для некоторых населенных пунктов СССР (СНиП II-A.6—72)

Населенный пункт	Средняя температура воздуха, °С				Средняя скорость ветра за январь v , м/с	Зона влажности *	Продолжительность отопительного периода n , сут.
	t_n	$t_{х.с}$	$t_{о.п}$	$t_{х.п}$			
Абакан	—42	—43	—9,5	—27	6,5	С	226
Актюбинск	—31	—37	—7,3	—21	7,4	С	203
Александровск-Сахалинский	—26	—32	—6,2	—19	7,8	В	238
Алма-Ата	—25	—28	—2,1	—10	1,9	С	166
Андижан	—15	—16	+1,3	—6	2,1	С	128
Ангарск	—40	—41	—9,4	—25	2,9	С	239
Арзамас	—29	—34	—4,9	—17	7,5	Н	211
Армавир	—21	—22	+0,5	—7	7,8	С	159
Архангельск	—32	—36	—4,7	—19	5,9	В	251
Астрахань	—22	—26	—1,6	—8	4,8	С	172
Ашхабад	—11	—14	+3,9	—2	2,8	С	111
Баку	—4	—6	+5,1	+1	8,4	С	119
Барабинск	—37	—43	—9,6	—26	6,5	С	228
Барнаул	—39	—43	—8,3	—23	5,9	С	219
Ватуми	—1	—2	+7,6	+4	—	В	115
Белгород	—23	—28	—2,2	—12	5,9	С	196
Березово	—41	—48	—9	—27	4,2	Н	265
Балашов	—27	—32	—4,6	—15	7,3	С	199
Бобруйск	—25	—29	—1,5	—10	—	Н	199
Бийск	—38	—42	—8,7	—24	4,7	С	222
Благовещенск	—34	—37	—11,5	—25	3,4	Н	212
Братск	—43	—46	—10,3	—30	3,4	С	246
Брест	—20	—24	+0,4	—8	5,2	Н	186
Брянск	—24	—29	—2,6	—13	6,3	Н	206
Буйнакск	—15	—19	+1,2	—4	—	С	166
Василевичи	—24	—26	—1,1	—8	4,4	Н	195
Великие Луки	—27	—31	—2,6	—12	6,1	Н	209
Вентспилс	—18	—23	+0,7	—7	9,7	Н	207
Верхотурье	—35	—40	—7,3	—22	—	С	239
Верхоянск	—60	—63	—22	—51	2,1	С	272
Вильнюс	—23	—25	—0,9	—9	5,5	Н	194
Винница	—21	—26	—1,1	—10	3,6	Н	189
Витебск	—26	—31	—1,6	—12	5,9	Н	205
Владивосток	—25	—26	—4,8	—16	9	В	201
Владимир	—27	—32	—4	—16	4,5	Н	214
Вологда	—31	—35	—4,2	—16	6	Н	228
Волгоград	—22	—29	—3,4	—13	—	С	182
Воркута	—41	—45	—9,9	—26	10,1	Н	299
Воронеж	—25	—30	—3,4	—14	5,4	С	199
Ворошиловград	—25	—29	—1,6	—10	5,3	С	180
Выборг	—24	—30	—2,3	—12	—	В	227
Выкса	—28	—33	—4,4	—16	4,2	Н	210
Горький	—30	—33	—4,7	—16	5,1	Н	218
Гродно	—21	—25	—0,1	—9	5,1	Н	193
Гомель	—25	—27	—1,3	—11	5,5	Н	197
Гурьев	—24	—30	—3,8	—12	7,8	С	182

* Приняты следующие обозначения зон влажности: Н — нормальная, В — влажная, С — сухая.

Населенный пункт	Средняя температура воздуха, °С				Средняя скорость ветра за январь v , м/с	Зона влажности	Продолжительность отопительного периода n , сут.
	t_n	$t_{х.с}$	$t_{о.п}$	$t_{х.п}$			
Гусь-Хрустальный	—27	—32	—4	—16	4,6	Н	214
Даугавпилс	—27	—30	—1,5	—10	5,1	Н	203
Джамбул	—24	—31	—1,1	—9	3	С	167
Джезказган	—33	—36	—7,8	—21	4,6	С	196
Дербент	—9	—12	+3,8	0	5,2	Н	145
Днепропетровск	—24	—26	—1	—9	5,5	С	175
Донецк	—24	—29	—1,8	—10	6,2	С	183
Душанбе	—14	—17	+3,6	—2	2,8	С	112
Евпатория	—16	—20	+2,4	—3	7,1	С	149
Енисейск	—47	—50	—9,5	—28	—	Н	245
Ереван	—19	—20	—0,5	—8	2,5	С	139
Ессентуки	—17	—21	+0,1	—8	—	Н	102
Жданов	—23	—28	—0,8	—9	6,1	С	177
Житомир	—21	—25	—0,8	—9	5,4	Н	192
Запорожье	—23	—25	—0,7	—9	5,4	С	175
Златоуст	—30	—36	—6,6	—20	—	С	217
Иваново	—28	—33	—4,4	—16	4,9	Н	217
Иргиз	—30	—36	—7,5	—20	5,5	С	191
Иркутск	—38	—40	—8,9	—25	2,8	С	241
Йошкар-Ола	—33	—36	—6,1	—18	—	С	220
Казань	—30	—35	—5,7	—18	5,7	Н	218
Калининград	—18	—22	—0,6	—7	—	Н	195
Калинин	—29	—33	—3,7	—15	6,2	Н	219
Калуга	—26	—31	—3,5	—14	5	Н	214
Камышин	—26	—30	—4,5	—15	8,5	С	189
Кандалакша	—28	—33	—4,1	—18	—	В	267
Канск	—42	—46	—9	—26	—	С	238
Караганда	—32	—35	—7,5	—20	7,7	С	212
Каунас	—20	—24	—0,5	—8	4,8	Н	192
Кемерово	—39	—42	—8,8	—25	6,8	С	232
Кемь	—27	—32	—3,7	—15	—	В	256
Керчь	—15	—19	+2,2	—4	7,5	С	153
Кзыл-Орда	—24	—29	—3,4	—12	6,5	С	168
Киев	—21	—26	—1,1	—10	4,3	Н	187
Киров	—31	—36	—5,8	—19	5,3	Н	231
Кировабад	—8	—9	+3,9	—1	—	С	132
Кировоград	—21	—25	—1	—9	4,8	С	185
Кишинев	—15	—20	+0,6	—7	—	С	166
Клайпеда	—18	—22	+0,4	—7	10,5	Н	194
Кокчетав	—35	—39	—7,9	—21	9,5	С	214
Комсомольск-на-Амуре	—34	—37	—11,2	—27	—	Н	221
Кострома	—30	—36	—4,5	—16	5,8	Н	224
Котлас	—33	—39	—5,5	—19	5,6	Н	237
Красноводск	—7	—11	+4,6	0	—	С	109
Краснодар	—19	—24	+1,5	—5	—	С	152
Красноуфимск	—36	—39	—7	—21	5,1	С	227
Красноярск	—40	—44	—7,2	—22	—	С	235
Кривой Рог	—23	—25	—0,6	—9	6,2	С	178
Куйбышев	—27	—36	—6,1	—18	—	С	206

Населенный пункт	Средняя температура воздуха, °С				Средняя скорость ветра за январь v , м/с	Зона влажности	Продолжительность отопительного периода n , сут.
	t_n	$t_{х.с}$	$t_{о.п}$	$t_{х.п}$			
Кудино	—38	—41	—9,9	—25	6,7	С	222
Курган	—34	—39	—8,7	—24	—	С	217
Курильск	—15	—17	—0,8	—8	—	В	229
Курск	—24	—29	—3	—14	—	Н	198
Кустанай	—35	—40	—3,7	—22	5,8	С	213
Ленинабад	—13	—16	+2,6	—4	6,8	С	130
Ленинкан	—23	—26	—4,3	—11	—	Н	163
Ленкорань	—4	—7	+5,3	+2	—	В	118
Ленинград	—25	—28	—2,2	—11	—	В	219
Лиепая	—18	—23	+0,8	—6	8,6	В	202
Липецк	—26	—32	—3,9	—15	—	С	199
Луцк	—20	—24	—0,2	—8	6,3	Н	187
Львов	—19	—23	+0,3	—7	6,4	Н	183
Магадан	—35	—37	—9,6	—23	—	Н	278
Магнитогорск	—34	—37	—7,9	—22	8,1	С	218
Майкоп	—17	—20	+1,7	—5	5,7	Н	154
Махачкала	—14	—19	+2,6	—2	7	С	151
Мелитополь	—19	—26	0	—9	5,1	С	169
Минск	—25	—30	—1,2	—10	5,4	Н	203
Минусинск	—42	—43	—9,5	—27	—	С	226
Мичуринск	—26	—32	—4,3	—15	5,4	С	202
Москва	—25	—32	—3,2	—14	4,9	Н	205
Могилев	—25	—29	—1,5	—11	5	Н	204
Мурманск	—28	—34	—3,3	—18	7,5	В	281
Нальчик	—17	—21	—0,4	—5	2,5	Н	170
Наманган	—15	—17	+1,2	—7	2	С	131
Нерчинский Завод	—41	—44	—13,1	—31	12,2	С	235
Николаев	—19	—22	+0,4	—7	5,4	С	168
Николаевск-на-Амуре	—35	—38	—9,8	—25	4,5	Н	246
Никополь	—23	—24	—0,8	—8	4,9	С	171
Нижний Тагил	—34	—39	—6,6	—21	—	Н	238
Новгород	—27	—31	—2,6	—12	6,6	Н	220
Новокузнецк	—38	—41	—7,9	—23	5,6	С	227
Новороссийск	—13	—19	+4,4	—2	6,7	В	134
Новосибирск	—39	—42	—9,1	—24	5,7	С	227
Норильск	—46	—51	—14,6	—34	—	Н	300
Одесса	—17	—21	+1	—6	8,5	С	165
Омск	—37	—41	—7,7	—23	5,1	С	220
Онега	—31	—38	—5	—20	4,6	Н	237
Орджоникидзе	—17	—19	—0,4	—5	3	Н	175
Орел	—25	—30	—3,3	—13	6,5	Н	207
Оренбург	—29	—35	—8,1	—20	6,1	С	201
Орск	—29	—36	—7,9	—21	—	С	204
Оха	—29	—32	—7,5	—22	11,2	В	266
Охотск	—31	—39	—10	—26	—	Н	278
Павлодар	—37	—40	—9	—23	6,7	С	209
Пенза	—27	—33	—5,1	—17	2,6	С	206
Пермь	—34	—38	—6,4	—20	—	Н	226
Петрозаводск	—29	—33	—2,9	—14	5,9	Н	237
Полоцк	—26	—30	—1,2	—11	6,5	Н	209

Населенный пункт	Средняя температура воздуха, °С				Средняя скорость ветра за январь v , м/с	Зона влажности	Продолжительность отопительного периода n , сут.
	t_H	$t_{х.с}$	$t_{о.п}$	$t_{х.п}$			
Полтава	—22	—27	—1,9	—11	6,2	С	187
Поти	—3	—5	+7,2	+3	5,1	В	120
Псков	—26	—31	—2	—11	4,8	Н	212
Пярну	—22	—26	—0,8	—9	8,6	В	211
Пятигорск	—18	—21	0	—8	6,3	Н	175
Рига	—20	—25	—0,6	—9	4,5	Н	205
Ровно	—21	—25	—0,5	—9	7,5	Н	191
Ростов-на-Дону	—22	—27	—0,6	—8	6,5	С	175
Рубцовск	—38	—41	—8,5	—23	7,9	С	213
Рязань	—27	—33	—4,2	—16	7,3	Н	212
Самарканд	—13	—17	+2,8	—3	2,7	С	132
Саратов	—25	—34	—5	—16	6	С	198
Свердловск	—31	—38	—6,4	—20	5	С	228
Семипалатинск	—38	—39	—8	—21	4,3	С	202
Севастополь	—11	—14	0	0	6,4	С	137
Симферополь	—16	—20	+1,9	—4	6	С	158
Смоленск	—26	—33	—2,7	—13	6,8	Н	210
Советская Гавань	—27	—29	—6,2	—20	—	В	241
Сортавала	—25	—31	—2,8	—14	6,2	В	235
Сочи	—3	—5	+5,9	+2	6,5	В	103
Ставрополь	—18	—23	+0,3	—7	7,4	Н	169
Сумы	—24	—28	—2,5	—12	5,9	Н	195
Сургут	—40	—48	—9,7	—28	5,3	Н	257
Сухуми	—3	—5	+7	+3	—	В	122
Сыктывкар	—36	—40	—6,1	—20	5,5	Н	244
Таганрог	—24	—28	—0,8	—9	5,8	С	173
Таллин	—21	—25	—0,8	—9	7,7	Н	221
Тамбов	—27	—32	—4,2	—15	4,7	Н	202
Тарту	—23	—29	—1,5	—10	6,6	В	214
Ташкент	—15	—18	+2,4	—6	1,7	С	130
Тбилиси	—7	—10	+4,2	0	3,9	С	152
Тернополь	—21	—25	—0,5	—9	5,1	Н	190
Тирасполь	—15	—22	+0,7	—7	4,4	Н	163
Тольятти	—29	—34	—5,4	—17	—	С	203
Туймазы	—34	—37	—6,5	—19	—	С	211
Тула	—28	—31	—3,8	—14	4,9	Н	207
Тюмень	—35	—41	—5,7	—21	3,9	С	220
Ужгород	—18	—22	+1,6	—6	3,6	Н	162
Улан-Удэ	—38	—42	—10,6	—28	2,8	С	235
Ульяновск	—31	—36	—5,7	—18	—	С	213
Умань	—21	—26	—1	—9	5,8	С	186
Уральск	—30	—33	—6,5	—18	6,8	С	199
Усть-Каменогорск	—33	—39	—7,8	—18	5,7	С	204
Уфа	—29	—36	—6,4	—19	—	С	211
Феодосия	—15	—19	+2,9	—2	6	С	144
Фергана	—15	—16	+1,3	—7	2	С	134
Форт Шевченко	—14	—18	+0,6	—7	8,9	С	158
Фрунзе	—23	—27	—0,9	—9	2,4	С	157
Хабаровск	—32	—34	—10,1	—23	5,9	В	205
Харьков	—23	—28	—2,1	—11	5	С	189

Населенный пункт	Средняя температура воздуха, °С				Средняя скорость ветра за январь v , м/с	Зона влажности	Продолжительность отопительного периода n , сут
	t_n	$t_{х.с}$	$t_{о.п}$	$t_{х.п}$			
Херсон	—18	—22	+0,6	—7	6,2	С	167
Хмельницкий	—21	—25	—0,6	—9	5,7	Н	191
Целиноград	—35	—39	—8,7	—22	7,7	СС	215
Чарджоу	—13	—17	+3,2	—2	—	СС	119
Чебоксары	—32	—35	—5,4	—18	—	В	217
Челябинск	—29	—36	—7,1	—20	4,5	СС	216
Череповец	—31	—36	—4,3	—16	7	Н	225
Черкассы	—21	—26	—1	—9	—	С	189
Чернигов	—22	—27	—1,7	—10	4,2	Н	191
Черновцы	—20	—25	—0,2	—9	5,4	СС	179
Чимкент	—17	—22	+1,1	—6	2,8	СС	147
Чита	—38	—41	—11,6	—30	3,9	СС	240
Шадринск	—34	—40	—7,4	—21	—	СС	218
Элиста	—23	—27	—1,8	—9	7,6	СС	176
Эльтон	—26	—32	—4,2	—14	4,9	СС	184
Эмба	—29	—34	—6,9	—20	5,2	СС	197
Южно-Сахалинск	—24	—27	—4,3	—15	8,5	В	233
Якутск	—55	—58	—19,5	—45	—	С	254
Ялта	—6	—8	+5,2	+1	4,4	С	126
Ярославль	—31	—35	—4,5	—16	4,4	Н	222

Таблица I.4. Расчетные температуры внутреннего воздуха в помещениях жилых и общественных зданий

Помещения	$t_{в}$, °С
Жилые здания (СНиП II-Л. 1—71)	
Жилая комната квартиры и общежития*, ванная и совмещенный санитарный узел с индивидуальным нагревателем, умывальная индивидуальная, гардеробная, комната для чистки и глажения одежды, вестибюль, общий коридор, лестничная клетка, помещения культурно-массовых мероприятий, коменданта и воспитателя, кабинет врача, обслуживающего персонала и парикмахерские в общежитиях	18
Кухня квартиры, кухня и кубовая, постирочная, сушильная, сушилка одежды и обуви в общежитиях	15
Ванна индивидуальная, ванная и душевая общие, совмещенный санитарный узел	25
Кабины личной гигиены женщин в общежитиях	23
Уборная индивидуальная и общая, вестибюль, передняя, лестничная клетка в квартирном доме, кладовые и бельевые в общежитиях	16
Палата, комната персонала, кабинет физиотерапии, процедурная изолятора в общежитии	20
Машинное отделение лифтов, электрощитовая, мусоросборная камера	5

* В районах с температурой наиболее холодной пятидневки $t_n = 31^\circ\text{С}$ и ниже в жилых комнатах следует принимать $t_{в} = 20^\circ\text{С}$. В угловых комнатах квартир $t_{в}$ необходимо принимать на 2°С выше указанных температур.

Помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$
Гостиницы (СНиП II-Л. 17—65)	
Номера, вестибюль, общая гостиная, бюро обслуживания, лестничная клетка, гардероб, комната для чистки одежды и обуви, общая умывальная	20
Общий санитарный узел, кладовые, бельевые, камеры хранения	16
Контора, комнаты дежурного персонала и общественных организаций	18
Склады	12
Детские ясли-сады (СНиП II-Л. 3—71)	
Игровая, приемная младшей группы ясельного возраста в климатических подрайонах и районах:	
I.A, I.B, I.Г	23
I.B, I.Д	22
II, III и IV	21
Групповая, приемная средней и старшей групп ясельного возраста в климатических подрайонах и районах:	
I.A, I.B, I.Г	21
I.B, I.Д	20
II, III и IV	19
Спальня-веранда, раздевальная, комната для музыкальных и гимнастических занятий, персонала и стирально-разборочная	18
Туалетные для младшей группы ясельного возраста	22
То же, средней и старшей групп	21
Туалетные для групп детей школьного возраста	20
Помещение бассейна для обучения детей плаванию	29
Комната для заболевших детей, изолятор, медицинская комната	22
Комната для хранения чистого белья	15
Сушильно-гладильная	16
Общеобразовательные школы и школы-интернаты (СНиП II-Л. 4-62)	
Классные комнаты, учебные кабинеты, лаборатории, мастерские по обработке металла, актовый зал, рекреационные помещения, вестибюль, гардеробы, кладовые для одежды и обуви	16
Гимнастический зал	15
Комнаты общественных организаций, учительские, библиотека-хранилище, кабинеты директора и воспитателей, канцелярия, уборные, комнаты для чистки одежды и обуви	18
Кабинеты врачей, раздеральные при гимнастическом зале	20
Раздевальные при душевых и умывальные	22
Душевые	25
Мастерская по обработке древесины	14
Профессионально-технические училища (СНиП II-Л. 5-68)	
Учебные кабинеты и классы, лаборатории с вредными выделениями, учебно-производственные мастерские, гардеробная, вестибюль, актовый зал	16
Кабинеты технического черчения, читальные залы, библиотека-хранилище, уборные, комнаты общественных организаций и администрации	18
Лаборатории с точными измерительными приборами, кабинет врача	20
Раздевальная при душевых, умывальная	22
Душевые	25

Помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$
Высшие учебные заведения (СНиП II-Л. 6-67)	
Актный зал, лаборатории с производственными вредностями, вестибюль, гардероб в отдельном помещении	16
Аудитории до 150 мест*, учебные кабинеты, чертежные залы, лаборатории без вредных выделений, книгохранилища, фотолаборатории, помещения администрации и общественных организаций	18
Лаборатории с точными измерительными приборами, рентгенкабинет	20
Больницы и поликлиники** (СНиП II-Л. 9—70)	
Палаты для взрослых больных, кабинеты врачей, процедурные кабинеты различного назначения, уборные и умывальные для больных	20
Палаты предродовые, травмированных и недоношенных детей, манипуляционные, изоляторы, комнаты санитарной обработки больных, душевые, кабины личной гигиены женщин, подогрев парафина и озокерита, лечебные плавательные бассейны и ванны, душевой зал с кафедрой, гинекологические процедурные	25
Раздевальные и кабины для раздевания водолечебниц	23
Палаты послеоперационные и послеродовые, родовые и родовые боксы, фильтр-боксы, приемо-смотровые, малые операционные	22
Зал лечебной физкультуры, стерилизационные, лаборатории, регистратура, аптека, склады стерильных материалов, буфет и столовая для больных	18
Помещения для хранения гипсовых бинтов, лекарственных и дезинфицирующих средств, перевязочных материалов и хозяйственного инвентаря, чистое и грязное отделения дезинфекционной камеры	16
Помещения для хранения и регенерации грязи	12
Хранение термолабильных медикаментов, вспомогательные помещения морга	14
Морг	2
Санатории (СНиП II-Л. 10—62)	
Вестибюль, гардеробные, регистратура, помещения для хранения вещей больных, парикмахерские, бельевые, кладовые белья, грязелечебницы	16
Кабинет главного врача, канцелярия, архив, комнаты общественных организаций и персонала, чистки одежды и обуви, комнаты дневного пребывания, зубоучасток, кабинет, зал лечебной физкультуры, лаборатории, грязевая кухня, помещение мойки и сушки халатов и простынь	18
Кабинеты врачей, аптека, ингаляторы, рентгеновский кабинет, кабинеты электросветолечения, парафино-озокеритового лечения, массажа, электрокардиографии, антропометрическая, кислородная палата, процедурные	20
Раздевальные	23
Водо- и грязелечебница, ванны и душевой залы, грязевых процедур, душевые кабины для обмывания больных	25
Помещения для хранения и регенерации грязи	12
Павильоны и помещения для климатолечения	8
Спортивные сооружения (СНиП II-Л. 11—70)	
Спортивные залы	15 ***

* В аудиториях на 150 мест и более $t_{в}$ необходимо принимать по табл. I СНиП II-Г. 7—62.

** В таблице указаны лишь главнейшие помещения.

*** Указанная температура должна быть в зоне нахождения спортсменов.

Помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$
Залы ванн крытых бассейнов	26 *
Залы для подготовительных занятий в бассейнах, гардеробные, помещения для отдыха, учебно-методические кабинеты, лаборатория бассейна	18
Вестибюль-грелка катка, насосно-фильтровальная, хлораторная, кладовые и склады с постоянным пребыванием персонала	16
Вестибюли и гардеробные верхней одежды при бассейнах	20
Массажные, помещения для отдыха при бассейнах	22
Раздевальные и уборные при них	23
Душевые	25
Бани русского типа (парильные)	60—75 **
Бани типа сауны	60—120 **
Склады баллонов, реагентов, хозяйственных химикатов, кладовые и склады с кратковременным пребыванием персонала	10
Б а н и (СНиП II-Л. 13—62)	
Вестибюли с гардеробными и кассами, ожидальная, парикмахерские, административные помещения и комнаты персонала	18
Уборные	20
Раздевальные, ванны и душевые кабины	25
Мыльные	30
Парильные	40
Мастерские бытового обслуживания	16
Дезинфекционные камеры (чистая и грязная половины), кладовые	15
Помещения запасных баков для воды	5
П р а ч е ч н ы е (СНиП II-Л. 14—62)	
Помещения для приема, метки, учета и сортировки грязного белья, хранения, стирки, полоскания и отжима белья, хранения стиральных материалов, приготовления растворов, разборки, починки, упаковки, хранения и выдачи чистого белья, сушильно-гладильный цех, ожидальные цехов приема и выдачи чистого белья	15
Лаборатория	18
Централизованный реверс	10
Помещения запасных баков для воды	5
М а г а з и н ы (СНиП II-Л. 7—70)	
Торговые залы *** в магазинах:	
продовольственных	12
непродовольственных	15
Зал демонстрации новых товаров	18
Помещения для приемки и подготовки товаров к продаже, хранения инвентаря и упаковочных материалов, гладильные и бельевого	16
Разрубочные, помещения для хранения тары, кладовые бакалейных, хлебных, гастрономических, хозяйственных товаров и табачных изделий	10
Кладовые обуви, парфюмерных и прочих товаров	12
Кладовые рыбных товаров и овощей	8

* Указанная температура должна быть в зоне нахождения спортсменов.

** Указанная температура обеспечивается технологическим оборудованием.

*** В торговых залах во внерабочее время дежурным отоплением следует поддерживать температуру $t_{в} = 10^\circ\text{C}$.

Помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$
Кинотеатры (СНиП II-Л. 15—68)	
Зрительный зал, распределительные кулуары и фойе, курительная	14
Кассовый вестибюль, перемоточная, кладовая буфета и инвентаря	12
Кассовые кабины, электросиловая, мастерская киномеханика, плакатная и столярная, контора и кабинеты администрации, моечная буфета	18
Аккумуляторная, кислотная, щелочная, санитарные узлы	15
Проекционная, буфет в отдельном помещении, доготовочная буфета	16
Театры (СНиП II-Л. 20—69)	
Зрительный зал до спектакля без зрителей	16
» » во время спектакля	19—21
Сцена, карманы, арьерсцена	22
Трюм	20
Помещения для регулировки освещения сцены и зала	12
Фойе и кулуары, кассовые вестибюли и кабины. Помещения для обслуживающего персонала, администрации, дирижера, художника, настройки инструментов, декораций, костюмов, живописно-декоративная мастерская, библиотека нот, буфет с подсобными комнатами, макетная, кладовая красок	18
Распределительный вестибюль, гардеробные с барьером, аппаратные звукозаписи, звукофикации, связи, радиовещания, кабины дикторов, дежурных костюмеров, гримеров, парикмахерские, проекционная, курительные, бутафорская, слесарная, склады мебели, костюмов, умывальные и уборные	16
Душевые	25
Кладовые машиниста сцены, электроаппаратуры, дежурных складов, реквизита, бутафории, щелочные и кислотные, аккумуляторные, кладовая электролита	15
Клубы (СНиП II-Л. 16—71)	
Зрительный зал, зал-аудитория, костюмерная, мастерская, свето-, звуко- и кинопроекционные, курительные, уборные, гардеробные, помещение пожарного поста	16
Сцена и арьерсцена	22
Артистические и гримерно-парикмахерские	20
Комнаты художника, работы кружков, гостиная, бильярдная, читальный зал, книгохранилище, выдача книг на дом, комната рабочих	18
Склады декораций, мебели и электроаппаратуры, аккумуляторные	15
Помещение для регулировки освещения сцены, автотрансформаторная	12
Предприятия общественного питания (СНиП II-Л. 8—71)	
Зал, раздаточная, буфет, вестибюль, аванзал, помещения для продажи полуфабрикатов, отделки кондитерских изделий, экспедиторов, подготовки мороженого, хранения музыкальных инструментов, белья, загрузочная, хлебобрезка, сервисная	16
Цехи доготовочный, холодный, мясной, рыбный, обработки зелени, овощной и птицебельевой, помещения для подготовки яиц и мучных изделий	16
Цехи горячей выпечки кондитерских изделий, кладовые овощей, солений, тары, шлюз при камере пищевых отходов	5

Помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$
Помещения для администрации, обслуживающего персонала, совета кафе, кладовщика, главная касса	18
Кладовые сухих продуктов, инвентаря, винно-водочных изделий и пива	12
Предприятия бытового обслуживания населения (СНиП II-Л. 21—71)	
Помещения для изготовления и ремонта одежды*, головных уборов, трикотажных изделий, обуви и кожаной галантереи, ремонта металлоизделий, бытовых приборов, часов, фото- кино- и радиоаппаратуры, телевизоров, музыкальных инструментов, ювелирных и граверных работ, зал фотосъемки и обработки фотоматериалов, парикмахерские, студии звукозаписи, машинописное бюро	18
Химическая чистка одежды	16
Предприятия по обслуживанию автомобилей (СНиП II-Д. 9—62)	
Помещения для хранения автомобилей и шин	5
» » обслуживания автомобилей	16
» » хранения запасных частей, инструментов, масел, обтирочных материалов	10
Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий (СНиП II-М. 3—68)	
Вестибюли, гардеробные уличной одежды, помещения для сушки рабочей одежды, обеспыливание ее, залы собраний и совещаний, светокопировальная мастерская, умывальные	16
Курительные, уборные	14
Гардеробные уличной и рабочей одежды, химическая чистка рабочей одежды, рабочие помещения управлений и общественных организаций, архив, помещения радиоузла и телефонной станции	18
Помещения для отдыха, обеспыливания рабочей одежды при самообслуживании, ремонта рабочей одежды и обуви, конструкторское бюро и библиотеки	20
Гардеробные с пребыванием людей с обнаженным телом, преддушевые, помещения личной гигиены женщин и кормления грудных детей	23
Душевые, фотарии	25
Помещения для обогрева работающих	22—24

Примечание. Во всех основных помещениях жилых и общественных зданий должен быть нормальный влажностный режим внутреннего воздуха ($\varphi = 40 \div 60\%$). Влажный режим допускается в помещениях, где технологический процесс сопровождается большим выделением влаги ($\varphi = 60 \div 70\%$). Мокрый режим при $\varphi = 70 \div 75\%$ может быть в банях и прачечных.

среднюю наиболее холодных суток $t_{хс}$; средней массивности — среднюю из средних температур наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки; для массивных ограждений — среднюю наиболее холодной пятидневки $t_{н}$. Для перекрытий над подвалами и подпольями принимают среднюю наиболее холодной пятидневки температуру $t_{н}$, независимо от массивности ограждения.

При проектировании систем отопления принимают такие расчетные температуры наружного воздуха: зимнюю, равную средней наиболее холодной пятидневке из восьми зим за 50-летний период $t_{н}$; среднюю отопительного

* В производственных помещениях с теплоизбытками $t_{в} = 10^\circ\text{C}$.

периода со средней суточной температурой не более $8^{\circ}\text{C } t_{0.п}$; среднюю наиболее холодного периода (для вентиляции) $t_{х.п}$.

Расчетные температуры наружного воздуха, продолжительность отопительного периода n и скорости ветра v принимают по СНиП II-A.6—72 «Строительная климатология и геофизика» или по данным табл. I.3. При отсутствии нужного населенного пункта в табл. I.3, руководствуясь картой на листе I.1, принимают данные для ближайшего пункта, имеющегося в этой таблице.

Расчетные температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ и относительную влажность воздуха φ в помещениях жилых и общественных зданий принимают по табл. I.4.

Нормы сопротивления теплопередаче ограждений

Общее сопротивление теплопередаче многослойной конструкции ограждения R_0 в $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$ находят по формуле

$$R_0 = \frac{1}{a_{в}} + R_1 + R_2 + R_{в.п} + \dots + R_n + \frac{1}{a_{н}}, \quad (I.8)$$

где $\frac{1}{a_{в}} = R_{в}$, $\frac{1}{a_{н}} = R_{н}$ — сопротивления теплоотдаче соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$, принимаемые по табл. I.5;

$R_1, R_2, \dots, R_n$ — термические сопротивления отдельных конструктивных слоев ограждения $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$, определяемые по формуле (I.3);

$R_{в.п}$ — термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$, принимаемое по табл. I.6.

Таблица I.5. Коэффициенты теплоотдачи $a_{в}$ и $a_{н}$ и сопротивления теплоотдаче $R_{в}$ и $R_{н}$ поверхностей ограждений (СНиП II-A. 7—71)

Вид поверхности	Коэффициенты теплоотдачи, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \times \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	Сопротивления теплоотдаче, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{ккал}$
Внутренние поверхности		
Поверхности стен, полов и потолков, гладких или с выступающими ребрами, отношение высоты h которых к расстоянию a между гранями соседних ребер $\frac{h}{a} \leq 0,3$	7,5	0,133
Потолки с выступающими часто расположенными ребрами при $\frac{h}{a} > 0,3$	6,5	0,154
Потолки с кессонами при $\frac{h}{a} > 0,3$ (где a — меньшая сторона кессона)	6	0,167
Наружные поверхности		
Поверхности, соприкасающиеся непосредственно с наружным воздухом — наружные стены, бесчердачные покрытия (совмещенные крыши) и пр.	20	0,05
Поверхности, непосредственно не соприкасающиеся с наружным воздухом:		
выходящие на чердак	10	0,1
над холодными подвалами и подпольями	5	0,2
Поверхности вентилируемых воздушных прослоек и холодных подполий зданий, сооружаемых в Северной строительной-климатической зоне	15	0,066

Таблица 1.6. Термические сопротивления замкнутых воздушных прослоек
 $R_{в.п}$ (СНиП II-A. 7—71)

Толщина прослойки, мм	Величины $R_{в.п.}$ ($м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$)/ккал			
	для горизонтальных прослоек при потоке тепла снизу вверх и для вертикальных прослоек		для горизонтальных прослоек при потоке тепла сверху вниз	
	летом	зимой	летом	зимой
10	0,15	0,17	0,15	0,18
20	0,16	0,18	0,18	0,22
30	0,16	0,19	0,19	0,24
50	0,16	0,2	0,2	0,26
100	0,17	0,21	0,21	0,27
150	0,18	0,21	0,22	0,28
200—300	0,18	0,22	0,22	0,28

Примечание. Величины $R_{в.п}$ соответствуют разности температур на поверхностях прослоек $10^\circ C$. Для уточненных расчетов необходимо величину $R_{в.п}$ умножать на следующий коэффициент:

Разность температур, $^\circ C$ 8 6 4 2
 Коэффициент 1,05 1,1 1,15 1,2

При определении величины R_0 ограждающих конструкций со сплошными воздушными прослойками, вентилируемыми наружным воздухом, в расчетах допускается учитывать только ту часть конструкции, которая расположена между прослойками и помещением. При вычислении термического сопротивления покрытия с вентилируемыми каналами следует принимать полную толщину теплоизолирующего слоя, если диаметр канала не превышает 5 см, а расстояние между каналами — не менее 1,5 м.

Термическое сопротивление ограждений, в которых материал неоднороден как в параллельном, так и в перпендикулярном к тепловому потоку направлениях (разного вида пустотелые камни, кладки с утепляющими вкладышами и пр.), определяют так:

1) плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждение разрезают на характерные в теплотехническом отношении участки, состоящие из одного или нескольких слоев. Термическое сопротивление ограждения $R_{||}$ вычисляют по формуле

$$R_{||} = \frac{F_I + F_{II} + \dots + F_n}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (I.9)$$

где $R_I, R_{II}, \dots, R_n$ — термические сопротивления отдельных участков, вычисленные по формулам (I.3) или (I.8), но без сопротивлений теплоотдаче $R_{в}$ и $R_{н}$;

$F_I, F_{II}, \dots, F_n$ — площади отдельных участков по поверхности ограждения, $м^2$;

2) плоскостями, перпендикулярными к направлению теплового потока, ограждение разрезают на однородные (состоящие только из одного материала) и неоднородные (состоящие из участков с различными материалами) слои. Термические сопротивления однородных слоев вычисляют по формуле (I.3), а неоднородных — по формуле (I.9). Термическое сопротивление ограждения $R_{\perp}$ определяют как сумму термических сопротивлений отдельных слоев;

3) действительное термическое сопротивление ограждения вычисляют по формуле

$$R = \frac{R_{||} + 2R_{\perp}}{3}. \quad (I.10)$$

Термическое сопротивление ограждений, имеющих выступы в плане, а также ограждений, у которых $R_{||}$ более чем на 25% превышает $R_{\perp}$, следует определять рас-

четом их температурного поля. Затем величину общего сопротивления теплопередаче ограждения R_0 с учетом значений $R_{в}$ и $R_{н}$ вычисляют по формуле (1.8). Найденная величина общего сопротивления теплопередаче наружного ограждения R_0 должна быть не менее требуемых значений $R_0^{тр}$ в $(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)/ккал$ по теплотехническим нормам, вычисленных по формуле

$$R_0^{тр} = \frac{(t_{в} - t_{н}) n}{\Delta t^{н}} R_{в}, \quad (1.11)$$

где $t_{в}$ — расчетная температура воздуха в помещении, принимаемая по табл. 1.4, $^\circ C$;
 $t_{н}$ — расчетная зимняя температура наружного воздуха, $^\circ C$, принимаемая по табл. 1.3 в зависимости от массивности ограждений;

$R_{в}$ — сопротивление теплоотдаче, $(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)/ккал$, принимаемое по табл. 1.5;

n — коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху (см. стр. 32);

$\Delta t^{н}$ — нормируемый температурный перепад между температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности ограждения, принимаемый по табл. 1. 7.

Т а б л и ц а 1.7. Нормируемые величины температурного перепада $\Delta t^{н}$
(СНиП II-A. 7—71)

Вид помещений	$\Delta t^{н}$, $^\circ C$, не более	
	для наружных стен	для покрытий и чердачных перекрытий
Жилые помещения и помещения общественных зданий (больницы, детские ясли-сады)	6	4
Помещения поликлиник и школ	6	4,5
Помещения общественных (за исключением указанных выше) и административных зданий, вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий, кроме помещений с влажным и мокрым режимами	7	5,5
Отапливаемые помещения производственных зданий с расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха менее 50%	10	8
То же, 50—60%	8	7
Помещения производственных зданий с избыточными тепловыделениями и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 45%	12	12
Помещения производственных зданий с расчетной влажностью внутреннего воздуха более 60%, где не допускается конденсация влаги на внутренних поверхностях стен и потолков	$t_{в} - \tau_p^*$	$t_{в} - \tau_p - 1$
То же, но конденсация влаги на внутренних поверхностях стен допускается	7	$t_{в} - \tau_p - 0,5$

П р и м е ч а н и я. 1. Для полов следует принимать следующие величины $\Delta t^{н}$: в жилых зданиях, больницах и детских яслях-садах — $2^\circ C$; в общественных зданиях (за исключением указанных выше) и в производственных зданиях с постоянными рабочими местами — $2,5^\circ C$ (на участках, где отсутствуют постоянные рабочие места, $\Delta t^{н}$ не нормируется).

2. В местах теплопроводных включений — колонн, ригелей каркаса, стыков панелей и пр., а также при относительной влажности внутреннего воздуха в производственных зданиях более 60% допускается принимать $\Delta t^{н} = t_{в} - \tau_p$.

3. Величины $\Delta t^{н}$ и $R_0^{тр}$ не нормируются, а ограждающие конструкции выбираются по строительным и технологическим требованиям, когда тепловыделения значительно превышают потери тепла (более 50%), либо когда избытки явного тепла превышают $20 ккал/(м^3 \cdot ч)$, а влаговыделения незначительны, а также в тех случаях, если внутренняя поверхность стен и покрытий подвергается интенсивному воздействию лучистого тепла или омывается горячим сухим воздухом и если площадь пола помещений на одного работника составляет более $100 м^2$.

* τ_p — температура точки росы внутреннего воздуха, $^\circ C$.

Т а б л и ц а 1.8. Требуемые сопротивления теплопередаче наружных ограждений жилых и общественных зданий $R_{O}^{гр}$,
($м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$)/ккал

$t_B - t_H$	Наружные стены при $n = 1$	Покрытия при $n = 1$		Чердачные перекрытия при $n = 0,9$		Перекрытия над подвалами и подпольями при n , равном					
						0,4		0,6		0,75	
		$\Delta t_H = 4^\circ C$	$\Delta t_H = 4,5^\circ C$	$\Delta t_H = 4^\circ C$	$\Delta t_H = 4,5^\circ C$	$\Delta t_H = 2^\circ C$	$\Delta t_H = 2,5^\circ C$	$\Delta t_H = 2^\circ C$	$\Delta t_H = 2,5^\circ C$	$\Delta t_H = 2^\circ C$	$\Delta t_H = 2,5^\circ C$
20	0,44	0,66	0,59	0,6	0,53	0,53	0,42	0,8	0,64	1,0	0,8
22	0,48	0,73	0,65	0,66	0,58	0,58	0,47	0,88	0,7	1,08	0,87
24	0,53	0,8	0,71	0,72	0,64	0,64	0,51	0,96	0,77	1,2	0,96
26	0,57	0,86	0,77	0,78	0,69	0,69	0,55	1,01	0,83	1,3	1,03
28	0,62	0,93	0,83	0,84	0,74	0,74	0,59	1,12	0,89	1,4	1,11
30	0,66	1,0	0,89	0,89	0,8	0,8	0,64	1,2	0,96	1,5	1,19
32	0,71	1,06	0,95	0,95	0,85	0,85	0,68	1,28	1,02	1,6	1,27
34	0,75	1,13	1,0	1,01	0,9	0,9	0,72	1,36	1,08	1,7	1,35
36	0,79	1,2	1,06	1,07	0,96	0,96	0,76	1,44	1,15	1,79	1,43
38	0,84	1,26	1,12	1,12	1,01	1,01	0,8	1,52	1,21	1,89	1,51
40	0,88	1,33	1,18	1,18	1,06	1,06	0,85	1,6	1,28	1,99	1,59
42	0,93	1,4	1,24	1,24	1,12	1,12	0,89	1,67	1,34	2,09	1,67
44	0,97	1,46	1,3	1,3	1,17	1,17	0,93	1,75	1,4	2,19	1,75

46	1,02	1,53	1,36	1,36	1,22	0,98	1,83	1,47	2,29	1,83
48	1,06	1,6	1,42	1,42	1,28	1,02	1,91	1,53	2,39	1,91
50	1,1	1,66	1,48	1,48	1,33	1,06	1,99	1,6	2,49	1,99
52	1,15	1,73	1,54	1,54	1,38	1,1	2,07	1,66	2,59	2,07
54	1,19	1,79	1,59	1,6	1,43	1,14	2,15	1,72	2,69	2,15
56	1,23	1,86	1,65	1,66	1,49	1,19	2,23	1,79	2,79	2,23
58	1,28	1,93	1,71	1,72	1,54	1,23	2,31	1,85	2,89	2,31
60	1,32	1,99	1,77	1,78	1,6	1,27	2,39	1,91	2,99	2,39
62	1,37	2,06	1,83	1,84	1,65	1,31	2,47	1,98	3,09	2,47
64	1,41	2,13	1,89	1,9	1,7	1,36	2,55	2,04	3,19	2,55
66	1,46	2,19	1,95	1,96	1,75	1,4	2,63	2,11	3,29	2,63
68	1,51	2,26	2,01	2,02	1,81	1,44	2,71	2,17	3,39	2,71
70	1,54	2,33	2,07	2,08	1,86	1,48	2,79	2,23	3,49	2,79

Примечания. 1. При других значениях Δt^H табличные значения величины $R_0^{тр}$ следует умножать на поправку:

Ограждения	Поправки к $R_0^{тр}$ при значениях Δt^H , °C									
	4,5	5,5	6	6,5	7	8	9	10	12	
Наружные стены Покрытия и чердачные перекрытия	1,33	1,09	1,0	0,92	0,86	0,75	0,67	0,6	0,5	
	1,0	0,82	0,75	0,69	0,64	0,56	0,5	0,45	0,38	

2. Табличные значения $R_0^{тр}$ для наружных ограждений жилых зданий, больниц, поликлиник и детских яслей-садов следует увеличивать на 10—30% в случаях, указанных в пояснениях на стр. 32.

3. При промежуточных значениях $t_B - t_H$ расчетные величины $R_0^{тр}$ следует определять путем интерполяции.

Значения коэффициента n для различных ограждений (СНиП II-A.7—71)

Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами и над холодными проветриваемыми подпольями зданий, возводимых в районах Северной строительной-климатической зоны	1
Чердачные перекрытия со стальной, черепичной или асбестоцементной кровлей по разряженной обрешетке и покрытия с вентилируемыми прослойками	0,9
Чердачные перекрытия с кровлей из рулонных материалов	0,8
Стены и перекрытия (за исключением перекрытий над неотапливаемыми подвалами), отделяющие отапливаемые помещения от сообщаемых с наружным воздухом неотапливаемых помещений (например, тамбуров)	0,7
Перекрытия над подпольями, расположенными ниже уровня земли, при непрерывной конструкции цоколя с $R_0 > 1 (м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)/ккал$	0,4
То же, с $R_0 \leq 1 (м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)/ккал$ и перекрытия над холодными подпольями, расположенными выше уровня земли	0,75
Стены и перекрытия, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых, не сообщаемых с наружным воздухом	0,4
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами, расположенными ниже уровня земли или имеющие наружные стены, выступающие над уровнем земли до 1 м, при наличии окон в наружных стенах	0,6
То же, при отсутствии окон	0,4

Значения требуемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждений R_0^{TP} приведены в табл. I.8, которая составлена для различных тепловых режимов — разностей расчетных температур $t_b - t_n$ и нормируемых температурных перепадов Δt^n .

При расчете величины требуемого сопротивления теплопередаче ограждения R_0^{TP} по формуле (I.11) или определения ее по табл. I.8 следует знать степень массивности ограждения для правильного выбора расчетной наружной температуры t_n или $t_{х.с.}$, а следовательно, и расчетной разности температур $\Delta t = t_b - t_n$. Величину R_0^{TP} наружных стен жилых зданий для однослойных панелей следует увеличивать на 10%, а для многослойных — на 20%. Величину R_0^{TP} наружных ограждений с характеристикой тепловой инерции $D \leq 2,5$ для жилых, общественных (больницы, поликлиники, детские ясли-сады) и производственных зданий, где требуется постоянно поддерживать заданную температуру и относительную влажность воздуха, следует увеличивать на 30%. При изготовлении конструкций со знаком качества указанные надбавки не предусматриваются.

Величины требуемого сопротивления теплопередаче R_0^{TP} заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей) в зависимости от разности расчетных температур внутреннего и наружного воздуха определяются по табл. I.9.

Таблица I.9. Требуемые сопротивления теплопередаче R_0^{TP} , $(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)/ккал$, окон, балконных дверей и фонарей жилых и общественных зданий (СНиП II-A.7—71)

Здания и помещения	$t_b - t_n, ^\circ C$	Окна и балконные двери	Фонари
Больницы, поликлиники, детские ясли-сады, жилые здания и школы	< 25	0,2	0,4
	24—46	0,4	0,4
	47—55	0,44	0,4
	≥ 56	0,6	0,6
Общественные здания, кроме указанных выше	< 30	0,2	0,4
	30—49	0,35	0,4
	50—65	0,4	0,4
	≤ 66	0,56	0,4

Теплотехнический расчет сопротивлений теплопередаче R_0 и выбор строительных конструкций наружных ограждений отапливаемых зданий рекомендуется выполнять в такой последовательности. Сначала найти по готовым данным, приведенным в табл. I.8, или вычислить по формуле (I.11) требуемые сопротивления теплопередаче наружных ограждений $R_0^{тр}$ при заданных температурных режимах. Затем по ним выбрать известные, проверенные на практике конструкции ограждений по табл. I.12—I.16 или запроектировать их заново, в необходимых случаях уточняя принятые величины R_0 экономическим расчетом.

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 , как правило, не должно быть меньше сопротивления теплопередаче $R_0^{тр}$, определяемого из санитарно-гигиенических условий и $R_0^{эк}$, определяемого из экономических условий.

В практике теплотехнических расчетов могут быть три случая сопоставления найденных значений сопротивлений теплопередаче — требуемых по нормам $R_0^{тр}$ и фактически принятых для запроектированных конструкций наружных ограждений R_0 :

при $R_0^{тр} = R_0$ принятая конструкция ограждения удовлетворяет теплотехническим нормам;

при $R_0^{тр} > R_0$ наружное ограждение не обладает необходимыми теплозащитными качествами, может накапливать влагу в толще конструкции, промерзать и способствовать конденсации водяных паров на его внутренней поверхности (в практике такой случай недопустимый). Однако по СНиП II-A.7—71 допускается принимать R_0 на 5% меньше $R_0^{тр}$ для промышленных элементов конструкций, а также для сплошных каменных стен из штучных материалов (кирпича, камней и т. п.);

при $R_0^{тр} < R_0$ имеет место перерасход строительных материалов и стоимости, поэтому значительное расхождение этих величин требует технико-экономического обоснования.

Таким образом, выбор конструкций наружных ограждений должен быть экономически целесообразен. В современном строительстве зданий из крупнопанельных элементов с дешевыми и эффективными утеплителями иногда оказывается экономически выгодно проектировать наружные ограждения с сопротивлением теплопередаче $R_0^{тр} < R_0$. При этом сопротивление теплопередаче конструкции повышается за счет увеличения толщины более дешевого теплоизоляционного слоя.

При расчетах сопротивления теплопередаче стеновых панелей следует учитывать возможное ухудшение теплотехнических качеств утеплителей, а также повышенное воздухопроницание в стыковых соединениях (см. примечание 2 к табл. I.8).

Теплотехнический расчет выполняют одновременно с конструированием наружного ограждения. Так, толщину теплоизоляционного слоя наружной стеновой панели жилого дома рассчитывают в следующем порядке. Приняв значение $R_0^{тр}$ для данного температурного режима, находят величину сопротивления теплопередаче наружной панели принятой конструкции по формуле

$$R_0^{тр} = R_0 = R_v + \Sigma R + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из} b} + R_{в.п} + R_n, \quad (I.12)$$

где ΣR — сумма термических сопротивлений конструктивных слоев ограждения, принятых из соображений прочности и устойчивости;

$\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности изоляции, принимаемый по табл. I.1;

$b = 1, 2$ — надбавка на усадку теплоизоляционного материала.

Решая уравнение (I.12) в отношении толщины слоя изоляции $\delta_{из}$ в мм, определяем наименьшую толщину утеплителя из выражения

$$\delta_{из} = 1000 [R_0^{тр} - (R_v + \Sigma R + R_{в.п} + R_n)] \lambda_{из} b. \quad (I.13)$$

При замене одного вида утеплителя другим (с одинаковым значением термического сопротивления) необходимую толщину нового утеплителя δ_2 находят по правилу

пропорциональности:

$$\delta_2 = \delta_1 \lambda_2 b_2 : \lambda_1 b_1. \quad (1.14)$$

Оптимальное значение сопротивления теплопередаче ограждения из экономических условий $R_o^{\text{эк}}$ следует определять по формуле (СНиП II-A.7—71)

$$R_o^{\text{эк}} = \sqrt{\frac{B_k + B_{\text{э}} T_n}{\lambda K_{\text{огр}}}}. \quad (1.15)$$

где B_k — удельные капитальные вложения в устройство системы теплоснабжения;
 $B_{\text{э}}$ — годовые удельные эксплуатационные затраты на отопление;
 T_n — нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений;
 λ — коэффициент теплопроводности материала однослойного ограждения или теплоизолирующего слоя многослойной конструкции, принимаемый по табл. I.1;
 $K_{\text{огр}}$ — стоимость 1 м³ однослойного ограждения или теплоизоляционного слоя многослойной конструкции.

Для однослойных стен из кирпича $R_o^{\text{эк}}$ разрешается не определять.

Оптимальное значение сопротивления теплопередаче ограждения при наиболее выгодной толщине теплоизоляционного слоя * с учетом продолжительности работы и стоимости эксплуатации отопительной системы можно найти по формуле

$$R_o^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{о.п}}) n \cdot 24 S_{\text{т}} T_n}{\lambda_{\text{из}} S_{\text{из}}}}, \quad (1.16)$$

где $t_{\text{о.п}}$ и n — средняя температура и продолжительность отопительного периода в сутках, принимаемые по табл. I.3;

$S_{\text{т}}$ — стоимость отпуска тепла для системы отопления, руб/ккал,

T_n — нормативный срок окупаемости (6 лет);

$S_{\text{из}}$ — стоимость 1 м³ изоляции, руб.

Дополнительная толщина утепляющего слоя в мм при которой фактическое сопротивление теплопередаче ограждения достигнет своего оптимального значения,

$$\delta_{\text{из}}^{\text{доп}} = 1000 (R_o^{\text{опт}} - R_o^{\text{тр}}) \lambda b. \quad (1.17)$$

Пример I.1. Найти сопротивление теплопередаче наружной стены конструкции, изображенной на листе I.2, рис. 1, и выяснить возможность применения ее для строительства жилого дома в местности с нормальной влажностью и расчетной зимней температурой наружного воздуха $t_n = -26^\circ \text{C}$ и $t_{\text{х.с}} = -31^\circ \text{C}$. Расчет выполнить при условии эксплуатации ограждения по параметру B (см. табл. I.2).

На основании формулы (I.3) вычисляем при помощи табл. I.1 термические сопротивления материальных слоев стенки **:

для известково-песчаной штукатурки $R_1 = 0,02 : 0,7 = 0,028$;

для кирпичной кладки из обыкновенного кирпича при объемной массе кладки $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ $R_2 = 0,38 : 0,7 = 0,542$;

для облицовки естественным камнем правильной формы при объемной массе кладки $\gamma_0 = 1900 \text{ кг/м}^3$ $R_3 = 0,3 : 1,0 = 0,3$;

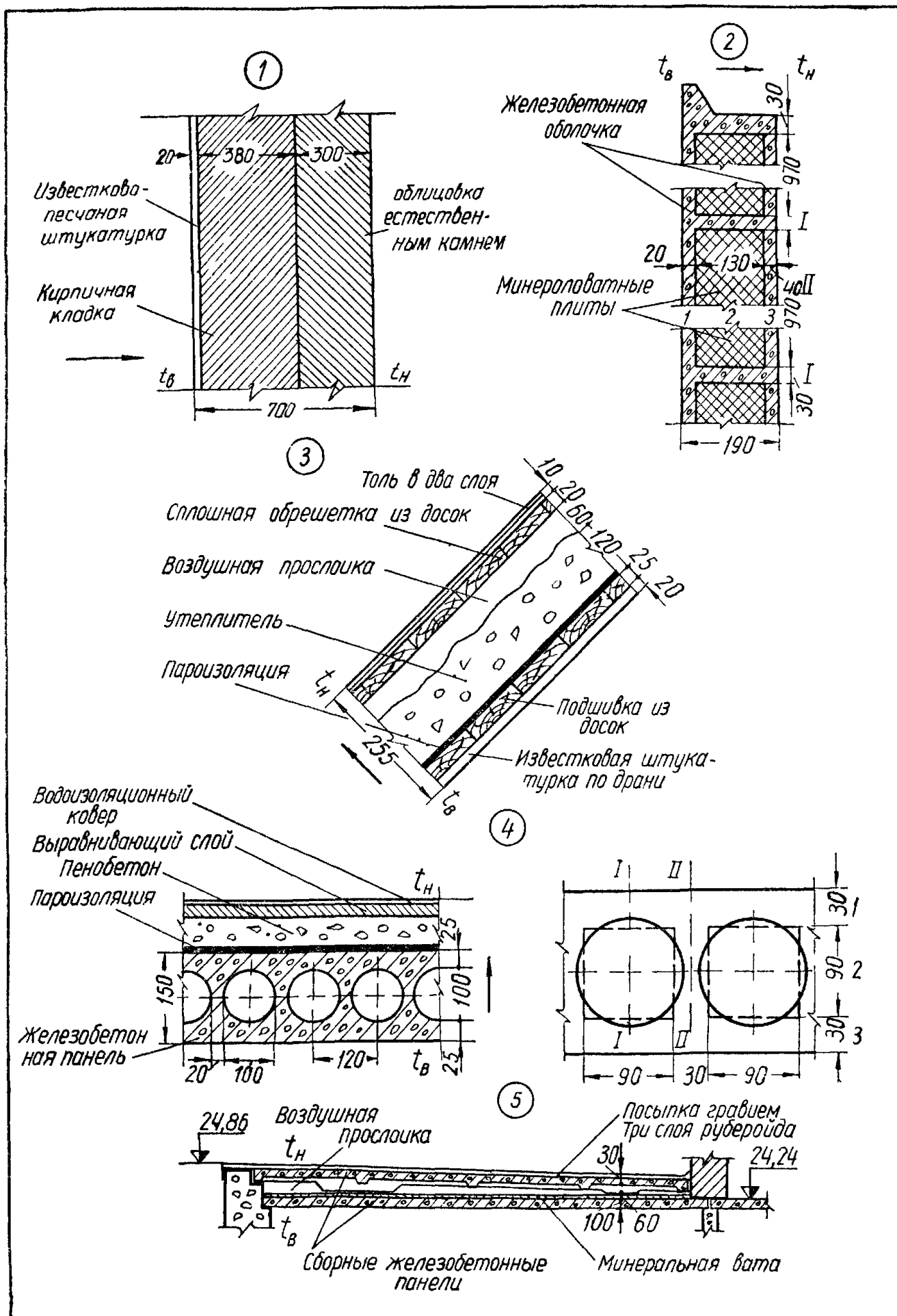
$$\Sigma R = 0,028 + 0,542 + 0,3 = 0,87.$$

Сопротивление теплоотдаче внутренней и наружной поверхностей ограждения по табл. I.5 $R_{\text{в}} + R_{\text{н}} = 0,133 + 0,05 = 0,183$. Тогда общее сопротивление теплопередаче стены $R_o = 0,87 + 0,183 = 1,053 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)/ккал}$.

Для выяснения степени массивности ограждения, пользуясь формулами (I.4)—(I.7) и табл. I.1, находим коэффициенты теплоусвоения s и соответствующие характеристики тепловой инерции материальных слоев D .

* В. Н. Богословский. Строительная теплофизика. М., «Высшая школа», 1970.

** В промежуточных расчетах размерность R в примерах не указана.



Лист I.2. К расчетам сопротивления теплопередаче наружных ограждений:
 1 — к примеру I 1, 2 — к примеру I 2, 3 — к примеру I 3, 4 — к примеру I 4, 5 — к примеру I 5

Для известково-песчаной штукатурки при $\gamma_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$, $c_0 = 0,2 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda = 0,7 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$ и $w_B = 4\%$. Удельная теплоемкость влажного материала по формуле (I.5)

$$c_w = \frac{0,2 + 0,01 \cdot 4}{1 + 0,01 \cdot 4} = 0,23 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Объемная масса влажного материала по формуле (I.6) $\gamma_w = 1600(1 + 0,04) = 1664 \text{ кг/м}^3$. Отсюда коэффициент теплоусвоения по формуле (I.4)

$$s_1 = 0,51 \sqrt{0,7 \cdot 0,23 \cdot 1664} = 8,36 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Характеристика тепловой инерции $D_1 = 0,028 \cdot 8,36 = 0,234$.

Для кирпичной кладки при $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, $c_0 = 0,21 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda = 0,7 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$, $w_B = 2\%$

$$c_w = \frac{0,21 + 0,01 \cdot 2}{1 + 0,01 \cdot 2} = 0,225 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)},$$

$\gamma_w = 1800(1 + 0,02) = 1836 \text{ кг/м}^3$; $s_2 = 0,51 \sqrt{0,7 \cdot 0,225 \cdot 1836} = 8,61 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$,

$$D_2 = 0,542 \cdot 8,61 = 4,666.$$

Для каменной облицовки при $\gamma_0 = 1900 \text{ кг/м}^3$, $c_0 = 0,22 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda = 1,0 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$ и $w_B = 3\%$

$$c_w = \frac{0,22 + 0,01 \cdot 3}{1 + 0,01 \cdot 3} = 0,252 \text{ ккал/(кг} \cdot ^\circ\text{C)},$$

$\gamma_w = 1900(1 + 0,03) = 1957 \text{ кг/м}^3$, $s_3 = 0,51 \sqrt{1,0 \cdot 0,252 \cdot 1957} = 11,4 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$;
 $D_3 = 0,3 \cdot 11,4 = 3,42$.

Полная величина тепловой инерции конструкции

$$\Sigma D = 0,234 + 4,666 + 3,42 = 8,32.$$

Поскольку $D = 8,32 > 7$, конструкцию стены следует отнести к массивным ограждениям. Для них величина $R_0^{\text{ТР}}$ принимается по зимней расчетной температуре наружного воздуха наиболее холодной пятидневки. Из табл. I.8 видно, что при $t_n - t_b = 18 + 26 = 44^\circ \text{C}$ значение требуемого сопротивления теплопередаче меньше найденного, а именно: $R_0^{\text{ТР}} < R_0$ или $0,97 < 1,053$. Таким образом, конструкция стены отвечает теплотехническим нормам.

Пример I.2. Вычислить сопротивление теплопередаче трехслойной стеновой панели из железобетонной оболочки, заполненной минераловатными плитами (лист I.2, рис. 2). Расчет выполнить для строительства в зоне с нормальной влажностью при параметре B .

Панель площадью 1 м^2 разбиваем на характерные участки с однородной конструкцией параллельно тепловому потоку (сечения I, II) и перпендикулярно к нему (сечения 1, 2, 3).

Определим термическое сопротивление панели параллельно тепловому потоку. На участке I (железобетонная диафрагма)

$$R_I = \frac{0,19}{1,75} = 0,108;$$

площадь этого участка $F_I = 0,03 \cdot 1 = 0,03 \text{ м}^2$.

На участке II (железобетонная оболочка, заполненная минераловатными плитами с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,052$ и $b = 1,2$)

$$R_{II} = \frac{0,02 + 0,04}{1,75} + \frac{0,13}{0,052 \cdot 1,2} = 2,13;$$

площадь этого участка $F_{II} = 0,97 \cdot 1 = 0,97 \text{ м}^2$.

Общее термическое сопротивление панели параллельно тепловому потоку на основании формулы (I.9)

$$R_{\parallel} = \frac{0,03 + 0,97}{\frac{0,03}{0,108} + \frac{0,97}{2,13}} = 1,366.$$

Термическое сопротивление панели перпендикулярно к тепловому потоку на участках 1 и 3 (стенки железобетонной оболочки)

$$R_{1+3} = \frac{0,02 + 0,04}{1,75} = 0,034.$$

На участке 2 (теплоизоляция минераловатными плитами с железобетонными диафрагмами панели) по формуле (I.1) находим величину среднего коэффициента теплопроводности пропорционально толщинам неоднородных слоев панели

$$\lambda_{ср_2} = \frac{1,75 \cdot 0,03 + 0,052 \cdot 1,2 \cdot 0,97}{0,03 + 0,97} = 0,112.$$

Тогда

$$R_2 = \frac{0,13}{0,112} = 1,16.$$

Общее термическое сопротивление перпендикулярно к тепловому потоку на основании формулы (I.8)

$$R_{\perp} = 0,034 + 1,16 = 1,194.$$

Поскольку разница между $R_{\parallel}$ и $R_{\perp}$ (1,366 и 1,194) весьма незначительна и не превышает 25%, полученные значения термических сопротивлений можно принять. Действительная величина термического сопротивления панели по формуле (I.10)

$$R = \frac{1,366 + 2 \cdot 1,194}{3} = 1,251.$$

На основании формулы (I.8) общее сопротивление теплопередаче конструкции панели

$$R_0 = 0,133 + 1,251 + 0,05 = 1,434 (м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C) / ккал.$$

Пример I.3. Найти сопротивление теплопередаче бесчердачного покрытия (лист 1.2, рис. 3) и рассчитать наименьшую толщину утеплителя для отапливаемого складского помещения, строящегося в местности с сухим климатом, при $t_{в} = 15^\circ C$. Средняя температура самых холодных суток $t_{х.с} = -27^\circ C$. Покрытие относится к конструкциям малой массивности.

Определяем термические сопротивления отдельных конструктивных слоев покрытия, принимая значение λ в табл. I.1. по графе А:

известковая штукатурка по дроби —

$$R_1 = 0,02 : 0,45 = 0,044;$$

подшивка из досок —

$$R_2 = 0,025 : 0,12 = 0,208;$$

засыпка топливным шлаком ($b = 1,2$) —

$$R_3 = 0,12 : 0,2 \cdot 1,2 = 0,5;$$

воздушная прослойка толщиной 6 см — по табл. I.6

$$R_4 = 0,2;$$

обрешетка сплошная из досок —

$$R_5 = 0,02 : 0,12 = 0,166;$$

толь в два слоя —

$$R_6 = 0,01 : 0,15 = 0,067.$$

Сопротивление теплоотдаче по табл. I.5 $R_{в} + R_{н} = 0,133 + 0,05 = 0,183.$

Величина общего сопротивления теплопередаче покрытия по формуле (I.8) равна сумме термических сопротивлений и сопротивления теплоотдаче: $R_0 = 1,361 (м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C) / ккал.$

По данным табл. I.8 для покрытий, при заданной разности расчетных температур $t_{в} - t_{х.с} = 15 + 27 = 42^\circ C$, требуемое сопротивление теплопередаче с поправкой 0,82 на $\Delta t^n = 5,5^\circ C$ должно быть не менее $R_0^{TP} = 1,24 \cdot 0,82 = 1,03$, т. е. принятую ранее толщину утеплителя можно несколько уменьшить.

На основании приведенного подсчета термических сопротивлений конструктивных слоев покрытия наименьшую толщину слоя шлака определим из выражения

$$\delta_{из} = 1000 (R_{o\downarrow}^{TP} - R_o + R_3) \lambda b = 1000 (1,03 - 1,361 + 0,5) 0,2 \cdot 1,2 = 35 \text{ мм.}$$

Применять в покрытиях топливный шлак, значительно увеличивающий нагрузку на несущие деревянные конструкции, запрещено, поэтому утеплитель необходимо заменить на более легкий. Такую замену утеплителей при одинаковых значениях их термических сопротивлений производим по формуле (I.14).

Если вместо топливного шлака при $\gamma_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\delta_1 = 0,12 \text{ м}$ и $\lambda_1 = 0,20 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$ утеплить покрытие трепелом при $\gamma_2 = 700 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda_2 = 0,16 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$, необходимая толщина слоя трепела $\delta_2 = 0,12 \cdot 0,16 : 0,2 = 0,096 \text{ м}$, а масса 1 м^2 засыпки уменьшится на $1000 \cdot 0,12 - 700 \cdot 0,096 = 120 - 67 = 53 \text{ кг}$.

Найденное значение сопротивления теплопередаче ограждения R_o вычислено в предположении, что воздушная прослойка неветилируемая. Фактически в пустотелых конструкциях стен, перекрытий и кровли (ветилируемых) происходит постоянное движение воздуха за счет проникновения его через неплотности в швах кладки, пористости строительных материалов и ветилиации воздушных прослоек кровли и перекрытий, что уменьшает сопротивление теплопередаче ограждения.

Пример I.4. Рассчитать сопротивление теплопередаче совмещенной кровли из многпустотных железобетонных панелей средней массивности и найти оптимальную толщину утеплителя (пенобетона) для общественного здания в Киеве (лист I.2, рис. 4). Расчетные температуры: $t_{в} = 18^\circ\text{C}$, $t_{н} = -21^\circ\text{C}$, $t_{х.с} = -26^\circ\text{C}$. Зона влажности нормальная.

Требуемое сопротивление теплопередаче R_o^{TP} по табл. I.8 для совмещенной кровли при разности расчетных температур $t_{в} - \frac{t_{н} + t_{х.с}}{2} \approx 42^\circ\text{C}$ при $\Delta t^H = 4^\circ\text{C}$ должно быть не менее $1,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)/ккал}$.

Находим термическое сопротивление многпустотной железобетонной панели, затем оптимальную толщину утеплителя (пенобетона), но без учета водоизоляционного ковра, выравнивающего слоя и пароизоляции. Для упрощения круглые отверстия-пустоты панели диаметром 100 мм заменяем равновеликими по площади квадратными со стороной 90 мм :

$$a = \sqrt{\frac{\pi d^2}{4}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4}} = 0,088 \text{ м} \approx 90 \text{ мм.}$$

Термическое сопротивление панели в направлении, параллельном движению теплового потока, вычисляем для двух характерных сечений:

для сечения I—I (два слоя железобетона толщиной $\delta_1 = 0,03 \text{ м}$ с $\lambda_1 = 1,75 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$ и воздушная прослойка толщиной $\delta = 0,09 \text{ м}$)

$$R_I = 2 \cdot \frac{0,03}{1,75} + 0,21 = 0,244,$$

где $R_{в.п} = 0,21$ — термическое сопротивление замкнутой горизонтальной воздушной прослойки при потоке тепла снизу вверх (см. табл. I.6);
для сечения II—II (толщина глухой части панели $\delta = 0,15 \text{ м}$)

$$R_{II} = \frac{0,15}{1,75} = 0,085;$$

на основании формулы (I.9)

$$R_{\parallel} = \frac{0,09 + 0,03}{\frac{0,09}{0,244} + \frac{0,03}{0,085}} = 0,169.$$

Термическое сопротивление панели в направлении, перпендикулярном к движению теплового потока, вычисляем для трех характерных сечений.

Для 1 и 3-го слоев (слои железобетона толщиной $\delta = 0,03$ м)

$$R_{1,3} = \frac{0,03}{1,75} = 0,017.$$

Для определения термического сопротивления 2-го слоя панели предварительно по формуле (I.1) находим средний коэффициент теплопроводности. Конструкция этого слоя состоит из воздушной прослойки толщиной $\delta_1 = 0,09$ м и железобетона толщиной $\delta_2 = 0,03$ м. Для воздушной прослойки требуется найти эквивалентный коэффициент теплопроводности

$$\lambda_3 = \lambda_1 = \frac{\delta_1}{R_{в.п}} = \frac{0,09}{0,21} = 0,43 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Тогда средний коэффициент теплопроводности панели

$$\lambda_{ср} = \frac{0,43 \cdot 0,09 + 1,75 \cdot 0,03}{0,09 + 0,03} = 0,72 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Среднее термическое сопротивление для 2-го слоя

$$R_2 = \frac{0,09}{0,72} = 0,125.$$

Суммарное термическое сопротивление всех трех слоев панели

$$R_{\perp} = 0,017 \cdot 2 + 0,125 = 0,159.$$

Разница между $R_{\parallel}$ и $R_{\perp}$ составляет: $[(0,169 - 0,159) : 0,169] \cdot 100 = 6\% \leq 25\%$, что допускается нормами. Отсюда полное термическое сопротивление многослойной железобетонной панели

$$R_{жб.п} = \frac{0,169 + 2 \cdot 0,159}{3} = 0,162.$$

Общее сопротивление теплопередаче конструкции без теплоизоляции

$$R_o = 0,133 + 0,162 + 0,05 = 0,345 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)/ккал}.$$

Зная величину требуемого сопротивления совмещенной кровли и полное термическое сопротивление панели, можно найти наименьшую толщину слоя теплоизоляции пенобетоном при $\lambda_{пб} = 0,12$ ккал/(м · ч · °C), $\gamma = 400$ кг/м³ и $b = 1,0$:

$$R_o^{TP} = R_v + R_{жб.п} + R_{пб} + R_n = 0,345 + \frac{\delta_{пб}}{\lambda_{пб}},$$

откуда

$$\delta_{пб} = \lambda_{пб} (R_o^{TP} - 0,345) = 0,12 (1,4 - 0,345) = 0,127 \text{ м} \approx 130 \text{ мм}.$$

Пример I.5. Используя данные предыдущего примера, найти сопротивление теплопередаче типовой конструкции, более удачной для условий эксплуатации жилого дома, — вентилируемой совмещенной крыши из сборных железобетонных элементов с утеплением минеральной ватой с $\gamma = 200$ кг/м³ (лист I.2, рис. 5).

Сопротивление теплопередаче находим только для части конструкции совмещенной крыши-перекрытия. Поскольку вентилируемое пространство над покрытием имеет высоту более 300 мм, расчетную конструкцию следует рассматривать как чердачное перекрытие.

Термические сопротивления R вычисляем для значений коэффициентов теплопроводности конструктивных слоев λ по графе Б табл. I.1 ($b = 1,2$):

цементно-песчаная затирка — $R_1 = 0,05 : 0,8 = 0,062$;

сборная железобетонная панель — $R_2 = 0,1 : 1,75 = 0,057$;

плиты из минеральной ваты — $R_3 = 0,06 : 0,052 \cdot 1,2 = 0,967$.

Сопротивление теплоотдаче $R_v + R_n = 0,133 + 0,1 = 0,233$.

Величина общего сопротивления теплопередаче $R_o = 1,319$.

На основании данных табл. I.8 при разности расчетных температур 42°C и $\Delta t^n = 4^\circ\text{C}$ значение требуемого сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия вентилируемой совмещенной кровли должно быть не менее $1,24 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)/ккал}.$

Таким образом, принятая конструкция перекрытия с величиной $R_0 = 1,319 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$ отвечает теплотехническим нормам.

Пример 1.6. Найти оптимальное сопротивление теплопередаче и толщину утеплителя для покрытия отапливаемого склада малой массивности, если $t_b = 15^\circ\text{C}$, $t_{x.c} = -21^\circ\text{C}$, $t_{o.n} = -1,2^\circ\text{C}$, а продолжительность отопительного периода $n = 190$ суток. Покрытие имеет теплоизоляционные минераловатные плиты толщиной 30 мм при $\lambda_{из} = 0,052$ и $b = 1,2$. Стоимость изоляции $S_{из} = 10,4 \text{ руб/м}^3$, а стоимость отпуска тепла на отопление $S_T = 4 \cdot 10^{-6} \text{ руб/ккал}$. Нормативный срок окупаемости $T = 6$ лет.

На основании данных табл. 1.8 при $\Delta t = 15 + 21 = 36^\circ\text{C}$ с учетом поправки 0,82 на величину $\Delta t^H = 5,5^\circ\text{C}$ требуемое сопротивление теплопередаче покрытия склада $R_0^{TP} = 1,06 \cdot 0,82 = 0,87 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$.

По формуле (1.16) оптимальное значение сопротивления теплопередаче покрытия при заданных условиях

$$R_0^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{(15 + 1,2) \cdot 190 \cdot 24 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 6}{0,052 \cdot 1,2 \cdot 10,4}} = 1,62 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}.$$

Поскольку $R_0^{\text{опт}} > R_0^{TP}$ ($1,62 > 0,87$), то дополнительная толщина теплоизоляционного слоя по формуле (1.17) $\delta_{из}^{\text{доп}} = 1000 (1,62 - 0,87) 0,052 \cdot 1,2 = 45 \text{ мм}$. Таким образом, оказалось экономически оправданным увеличить толщину утеплителя до 75 мм.

Проверка наружных ограждений на конденсацию влаги

Если строительные конструкции наружных ограждений выбраны при $R_0 > R_0^{TP}$, проверка на конденсацию водяных паров не требуется. В помещениях с влажным и мокрым режимами такую проверку производят при соответствующей упругости водяных паров в воздухе. Конденсация влаги не будет происходить, если температура внутренней поверхности наружного ограждения $\tau_{в.п}$ на $1-2^\circ\text{C}$ превышает точку росы τ_p — температуру, при которой относительная влажность воздуха ϕ при охлаждении достигает 100%.

Для обычных ограждений (стенка без теплопроводных включений) температуру внутренней поверхности можно найти по формуле

$$\tau_{в.п} = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0} R_b. \quad (1.18)$$

Некоторые конструкции наружных ограждений имеют местные включения, которые являются более теплопроводными по сравнению с данной стенкой и снижают величину сопротивления теплопередаче. Температура внутренней поверхности ограждения $\tau_{в.п}$ в местах более теплопроводных включений, имеющих прямоугольное сечение, должна быть не ниже точки росы внутреннего воздуха τ_p .

При наличии диафрагм, толстых сквозных швов раствора, прокладных рядов, поперечных стенок из пустотелых камней, колонн, ригелей железобетонного каркаса и т. д. температуру внутренней поверхности ограждения в местах более теплопроводных включений проверяют по формуле

$$\tau_{в.п} = t_b - \frac{R'_0 + \eta (R_0 - R'_0)}{R_0 R'_0} \cdot R_b (t_b - t_n), \quad (1.19)$$

где t_b и t_n — расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$ (см. табл. 1.3 и 1.4);

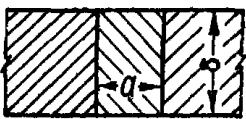
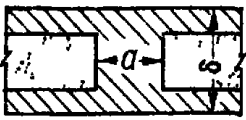
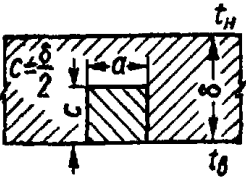
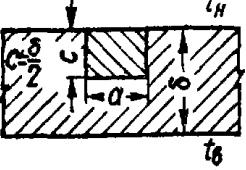
R_0 — сопротивление теплопередаче ограждения при отсутствии в нем более теплопроводного включения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$, определяемое по формуле (1.8);

R'_0 — сопротивление теплопередаче ограждения в месте более теплопроводного включения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$, определяемое по формуле (1.8);

R_b — сопротивление теплоотдаче, принимаемое по табл. 1.5;

η — коэффициент, зависящий от отношения размера a поперечного сечения более теплопроводного включения, измеренного параллельно поверхности ограждения, к полной толщине ограждения δ (табл. I.10).

Т а б л и ц а I.10. Значения коэффициента η

Схемы теплопроводных включений	При $\frac{a}{\delta}$, равном								
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5
	0,12	0,24	0,38	0,55	0,74	0,83	0,87	0,9	0,95
	0,07	0,15	0,26	0,42	0,62	0,73	0,81	0,85	0,94
	0,25	0,5	0,96	1,26	1,27	1,21	1,16	1,1	1,0
	0,04	0,1	0,17	0,32	0,5	0,62	0,71	0,77	0,89

П р и м е ч а н и я. 1. При $a/\delta > 1,5$ теплопроводное включение должно рассматриваться как самостоятельная часть ограждения и иметь сопротивление теплопередаче, при котором $R_0 > R_0^{TP}$.

2 Если площадь включений по поверхности ограждения превышает 15%, то их учитывают при определении термического сопротивления по формулам (I.8) и (I.9) как ограждение с неоднородным конструктивным решением слоев.

3 Для включений сложного профиля или выступающих за поверхность ограждения требуются специальные расчеты температурных полей.

При температуре ниже точки росы водяные пары, содержащиеся в воздухе помещения, конденсируются в капельно-жидкое состояние на внутренних поверхностях ограждающих конструкций здания, на поверхностях трубопроводов, оборудования и т. д.

Относительная влажность воздуха показывает степень насыщения его водяными парами и определяется по формуле

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\%, \quad (I.20)$$

где e — действительная упругость водяного пара, мм рт. ст.;

E — максимальная упругость водяного пара при данной температуре воздуха, мм рт. ст., принимаемая по табл. I.11.

Зная нормируемую относительную влажность воздуха φ в данном помещении, точку росы находят следующим образом: сначала определяют максимальную упругость водяных паров E при заданной температуре воздуха в помещении $t_{в}$, затем по нормам относительной влажности, пользуясь формулой (I.20), вычисляют действительную упругость водяных паров e , а по ней находят соответствующую температуру воздуха при максимальной упругости водяных паров, которая и будет точкой росы τ_p . После этого по формуле (I.18) находят температуру на внутренней поверхности ограждения $\tau_{н.п.}$, которая должна на 1,5—2° С превышать τ_p .

Наиболее вероятно появление конденсации влаги у наружных углов стены, где температура τ_y всегда ниже, чем на других участках внутренней поверхности

Таблица I.11. Значения максимальных упругостей

Для температур от 0 до —40° С (надо льдом)		Для температур от 0				
<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	0	0,1	0,2	0,3
0	4,58	0	4,58	4,61	4,65	4,68
—1	4,22	1	4,93	4,96	5,0	5,08
—2	3,88	2	5,29	5,33	5,37	4,41
—3	3,57	3	5,69	5,73	5,77	5,81
—4	3,38	4	6,1	6,14	6,19	6,23
—5	3,01	5	6,54	6,59	6,64	6,68
—6	2,53	6	7,01	7,06	7,11	7,16
—7	2,41	7	7,51	7,57	7,62	7,67
—8	2,32	8	8,05	8,1	8,16	8,21
—9	2,13	9	8,61	8,67	8,73	8,79
—10	1,95	10	9,21	9,27	9,33	9,4
—11	1,78	11	9,84	9,91	9,98	10,04
—12	1,63	12	10,52	10,59	10,66	10,73
—13	1,49	13	11,23	11,31	11,38	11,45
—14	1,36	14	11,99	12,07	12,14	12,22
—15	1,24	15	12,79	12,87	12,95	13,04
—16	1,13	16	13,63	13,72	13,81	13,9
—17	1,03	17	14,53	14,62	14,72	14,81
—18	0,94	18	15,48	15,58	15,67	15,77
—19	0,85	19	16,48	16,58	16,69	16,79
—20	0,77	20	17,54	17,64	17,75	17,86
—21	0,7	21	18,65	18,77	18,88	19,0
—22	0,64	22	19,83	19,95	20,07	20,19
—23	0,58	23	21,07	21,2	21,32	21,45
—24	0,52	24	22,38	22,51	22,65	22,79
—25	0,47	25	23,76	23,9	24,04	24,18
—26	0,42	26	25,21	25,36	25,51	25,66
—27	0,38	27	26,74	26,9	27,06	27,21
—28	0,34	28	28,35	28,51	28,68	28,85
—29	0,31	29	30,04	30,22	30,39	30,57
—30	0,28	30	31,82	32,01	32,19	32,38
—31	0,25	31	33,7	33,89	34,08	34,28
—32	0,22	32	35,66	35,87	36,07	36,27
—33	0,2	33	37,73	37,94	38,16	38,37
—34	0,18	34	39,9	40,12	40,34	40,57
—35	0,16	35	42,18	42,41	42,64	42,88
—36	0,15	36	44,56	44,81	45,05	45,3
—37	0,12	37	47,07	47,32	47,58	47,84
—38	0,12	38	49,69	49,96	50,23	50,51
—39	0,1	39	52,44	52,73	53,01	53,29
—40	0,09	40	55,32	55,61	55,91	56,21

стены $\tau_{в.п.}$. На листе I.3, рис. 1 приведен график К. Ф. Фокина для определения разности этих температур *. Пользуясь графиком, по температуре внутренней поверхности стены $\tau_{в.п.}$ и величине общего термического сопротивления стены R , но без $R_{в.п.}$ и $R_{н.п.}$, находят разность температур $(\tau_{в.п.} - \tau_{н.п.})'$. Поскольку кривая построена при разности температур $t_{в.п.} - t_{н.п.} = 40^\circ \text{С}$, для других значений этой разности производят пересчет по формуле

$$\tau_{в.п.} - \tau_{н.п.} = (\tau_{в.п.} - \tau_{н.п.})' \frac{t_{в.п.} - t_{н.п.}}{40}. \quad (I.21)$$

* См. сноску на стр. 16.

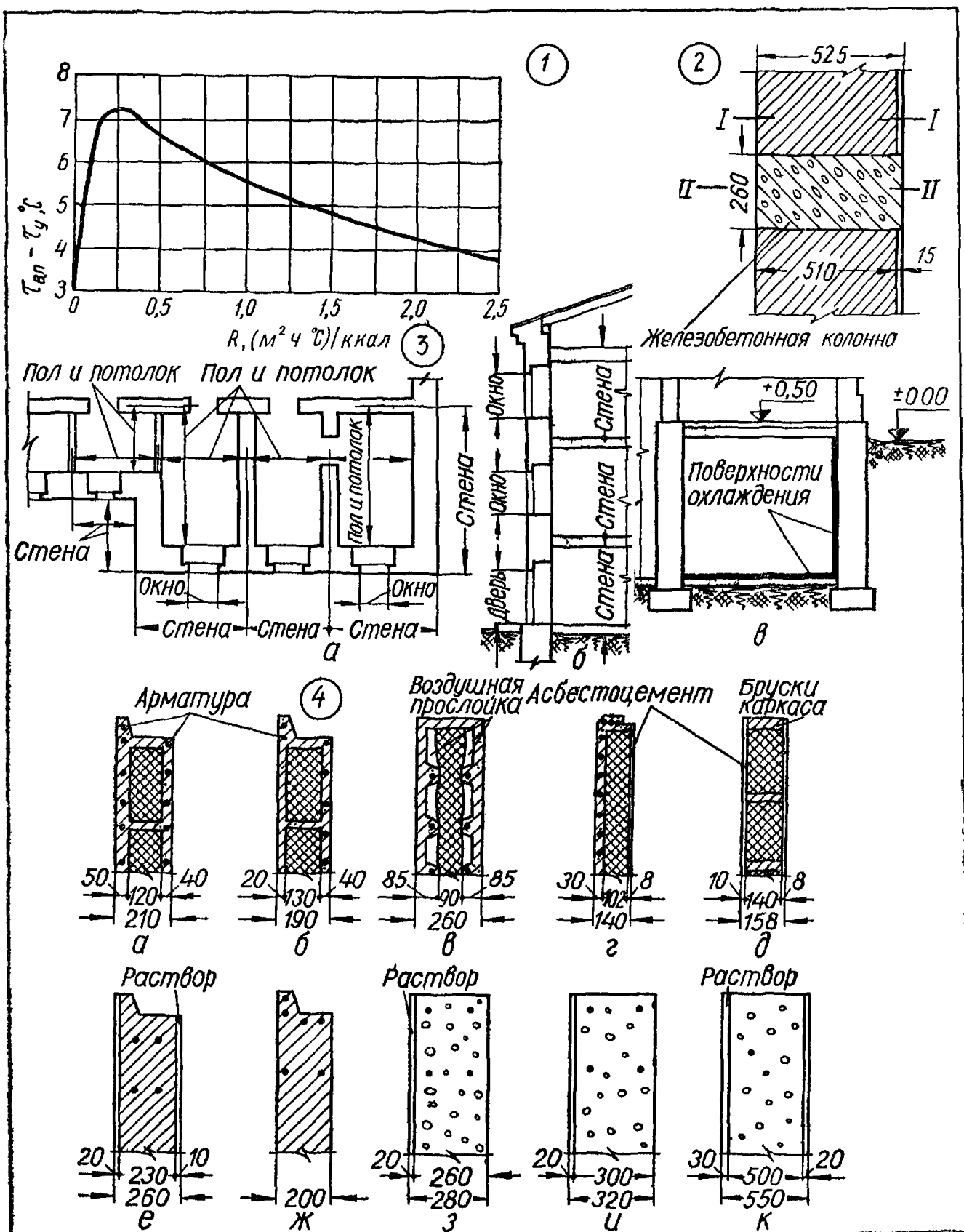
водяного пара E , мм рт. ст., при $p = 755$ мм рт. ст.

до 40° С (над водой)

0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4,72	4,75	4,79	4,82	4,86	4,89
5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,5
6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
10,8	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
11,53	11,6	11,68	11,76	11,83	11,91
12,3	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
14,9	15,0	15,09	15,19	15,28	15,38
15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
16,89	17,0	17,11	17,21	17,32	17,43
17,97	18,09	18,2	18,31	18,42	18,54
19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
22,92	23,06	23,2	23,34	23,48	23,62
24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
25,81	25,96	26,12	26,27	26,46	26,58
27,37	27,54	27,7	27,86	28,02	28,19
29,02	29,18	29,35	29,53	29,7	29,87
30,75	30,92	31,1	31,28	31,46	31,64
32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,5
34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
36,48	36,68	36,89	37,1	37,31	37,52
38,58	38,8	39,02	39,24	39,46	39,68
40,8	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
43,12	43,36	43,6	43,84	44,08	44,32
45,55	45,8	46,05	46,3	46,56	46,81
48,1	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
50,77	51,05	51,32	51,6	51,9	52,26
53,58	53,87	54,15	54,45	54,74	55,03
56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03

Наружные стены и перекрытия не должны накапливать влагу, конденсирующуюся на их поверхностях или выделяющуюся при производственных и бытовых процессах, а также при конденсации водяных паров внутри конструкций и впитывании грунтовой воды.

В наружных стенах запрещается устраивать вентиляционные каналы и дымоходы. Наружные углы легких стен следует предохранять от появления сырости, например, при увеличении на 20% сопротивления теплопередаче угловых участков стены на расстоянии, равном половине ее толщины (считая от внутреннего ребра угла). Для стен помещений с влажным и мокрым режимами нельзя применять силикатный кирпич, пустотелые камни, ячеистые бетоны и каменную кладку на легких растворах.



Лист 1.3. К теплотехническим расчетам наружных ограждений:

1 — график для определения $t_{вп} - t_{у}$, 2 — к примеру 17, 3 — правила обмера ограждений здания (а — план, б — разрез, в — подвал), 4 — к табл. 112

В жилых и общественных зданиях с нормальным влажностным режимом при отсутствии чердаков рекомендуется устраивать совмещенную вентилируемую крышу. Невентилируемые покрытия допускается устраивать только в случаях, когда исключается недопустимое накопление влаги в конструкциях в холодный период года (при применении пароизоляции или в другом случае). Над мокрыми и влажными помещениями, например, в банях и прачечных, устройство неветилируемых бесчердачных покрытий запрещено (СНиП II-A.7—71).

Пример 1.7. Проверить наружную кирпичную стену с железобетонным каркасом (лист 1.3, рис. 2) на отсутствие конденсации влаги на внутренней поверхности при $t_{\text{в}} = 18^\circ \text{C}$, $t_{\text{н}} = -35^\circ \text{C}$, $\varphi = 50\%$. Здание строится в местности с нормальной влажностью.

Для определения температуры на внутренней поверхности железобетонного каркаса $\tau_{\text{в.п}}$ по формуле (I.19) предварительно находим сопротивления теплопередаче по сечениям стены:

$$\text{в сечении I} - I R_0 = 0,133 + \frac{0,015}{0,8} + \frac{0,51}{0,7} + 0,05 = 0,929;$$

$$\text{в сечении II} - II R'_0 = 0,133 + \frac{0,525}{1,75} + 0,05 = 0,483.$$

При соотношении $\frac{a}{\delta} = \frac{26}{52,5} = 0,5$ по табл. I.10, интерполируя для первой схемы, находим коэффициент $\eta = 0,78$. Подставляя найденные величины в формулу I.19, получаем

$$\tau_{\text{в.п}} = 18 - \frac{0,483 + 0,78 (0,929 - 0,483) \cdot 0,133 (18 + 35)}{0,929 \cdot 0,483} = 18 - 5,8 = 12,2^\circ \text{C}.$$

Пользуясь табл. I.11, находим значения упругости водяного пара при $t_{\text{в}} = 18^\circ \text{C}$ и полном насыщении $E = 15,48 \text{ мм рт. ст.}$: при относительной влажности $\varphi = 50\%$ $e = 15,48 \cdot 0,5 = 7,74 \text{ мм рт. ст.}$, что при полном насыщении соответствует точке росы $\tau_{\text{р}} = 7,4^\circ \text{C}$.

Поскольку $\tau_{\text{в.п}} > \tau_{\text{р}}$, то конденсации влаги не будет, следовательно, конструкция стен удовлетворяет требованиям норм.

Пример 1.8. Найти точку росы при относительной влажности воздуха $\varphi = 65\%$ и температуре помещения $t_{\text{в}} = +20^\circ \text{C}$.

Согласно табл. I.11, при $t_{\text{в}} = +20^\circ \text{C}$ максимальная упругость водяного пара $E = 17,54 \text{ мм рт. ст.}$. Подставляя значение E в формулу (I.20), получим $65 = \frac{e}{17,54} \cdot 100$, откуда $e = 17,54 \cdot 0,65 = 11,4 \text{ мм рт. ст.}$, что соответствует максимальной упругости водяного пара E при температуре точки росы $\tau_{\text{р}} \approx 13,3^\circ \text{C}$.

Точку росы $\tau_{\text{р}}$ в зависимости от значений φ и $t_{\text{в}}$ также можно найти по $I - d$ -диаграмме влажного воздуха (см. книгу 2-ю настоящего справочника, раздел «Вентиляция»).

Пример 1.9. Установить, при какой относительной влажности воздуха в помещении возможно образование конденсата на внутренней поверхности наружной стены, изображенной на листе 1.2, рис. 2, если $t_{\text{в}} = +16^\circ \text{C}$, $t_{\text{н}} = -28^\circ \text{C}$ и $R_0 = 1,053 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)/ккал}$.

Находим температуру на внутренней поверхности стены по формуле (I.18):

$$\tau_{\text{в.п}} = 16 - \frac{16 + 28}{1,053} \cdot 0,133 = 16 - 5,5 = 10,5^\circ \text{C}.$$

Из табл. I.11 находим: при $t_{\text{в}} = 16^\circ \text{C}$ $E = 13,63 \text{ мм рт. ст.}$, при $\tau_{\text{в.п}} = 10,5^\circ \text{C}$ $e = 9,52 \text{ мм рт. ст.}$. Отсюда по формуле (I.20) относительная влажность воздуха $\varphi = \frac{9,52}{13,63} \cdot 100 = 70\%$.

Пример 1.10. Выяснить возможность конденсации влаги на внутренних поверхностях наружных углов стены из трехслойной железобетонной панели в здании больницы. Проверку выполнить для двух режимов при сопротивлении теплопередаче панели $R_0 = 1,03 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)/ккал}$ и $t_{\text{н}} = -28^\circ \text{C}$: для зала лечебной физкультуры — при $t_{\text{в}}^3 = 18^\circ \text{C}$ и $\varphi = 40\%$; для ванной — при $t_{\text{в}}^{\text{в}} = 25^\circ \text{C}$ и $\varphi = 70\%$.

Пользуясь формулой (I.18), сначала определяем температуру на внутренней поверхности стены:

$$\tau_{\text{в.п}}^3 = 18 - \frac{18 + 28}{1,03} \cdot 0,133 = 18 - 5,9 = 12,1^\circ \text{C};$$

$$\tau_{\text{в.п}}^{\text{в}} = 25 - \frac{25 + 28}{1,03} \cdot 0,133 = 25 - 6,9 = 18,1^\circ \text{C}.$$

Термическое сопротивление стены $R = R_0 - (R_{\text{н}} + R_{\text{н}}) = 1,03 - (0,133 + 0,05) = 0,847 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)/ккал}$. На основании графика на листе I.3, рис. 1 разность температур $\tau_{\text{в.п}} - \tau_{\text{у}} = 5,8^\circ\text{С}$. Поскольку график составлен для разности температур $t_{\text{в}} - t_{\text{н}} = 40^\circ\text{С}$, пересчет производят по формуле (I.21):

$$\tau_{\text{в.п}}^3 - \tau_{\text{у}} = 5,8 \frac{18 + 28}{40} = 6,7^\circ\text{С};$$

$$\tau_{\text{в.п}}^{\text{в}} - \tau_{\text{у}} = 5,8 \frac{25 + 28}{40} = 7,7^\circ\text{С}.$$

Тогда температура на внутренней поверхности углов

$$\tau_{\text{у}}^3 = 12,1 - 6,7 = 5,4^\circ\text{С} \text{ и } \tau_{\text{у}}^{\text{в}} = 18,1 - 7,7 = 10,4^\circ\text{С}.$$

По данным табл. I.11 и формуле (I.20) находим точку росы: при $t_{\text{в}}^3 = 18^\circ\text{С}$, $\phi = 40\%$ и $E = 15,48 \text{ мм рт. ст.}$ $e = \frac{15,48 \cdot 40}{100} = 6,19$; $\tau_{\text{р}}^{\text{в}} = 4,2^\circ\text{С}$; при $t_{\text{в}}^{\text{в}} = 25^\circ\text{С}$, $\phi = 70\%$ и $E = 23,76 \text{ мм рт. ст.}$ $e = \frac{23,76 \cdot 70}{100} = 16,63$; $\tau_{\text{р}}^{\text{в}} = 19,2^\circ\text{С}$.

Полученные результаты проверочного расчета показывают, что в зале лечебной физкультуры температура на внутренней поверхности углов оказалось выше точки росы и конденсации влаги не будет. В помещении ванной, наоборот, температура на внутренней поверхности углов оказалась ниже точки росы — конденсация влаги произойдет.

РАСЧЕТ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Общие принципы расчета

Для выяснения мощности отопительной установки и последующих расчетов всех элементов системы (поверхности и количества котлов, нагревательных приборов, а также расчетных расходов теплоносителя и потребных для него сечений трубопроводов) производят подробный расчет теплопотерь во всех помещениях зданий, порядок которого регламентируется нормами СНиП II-Г.7—62.

Теплопотери через наружные ограждения здания при заданном тепловом режиме определяются величиной теплового потока в ккал/ч и зависят от конструкции и теплофизических строительных материалов ограждений и от архитектурно-планировочного решения здания. Таким образом, правильный выбор теплозащитных качеств наружных ограждений и хорошо продуманная строительная часть здания позволяют получить экономичную расчетную тепловую нагрузку на отопительную установку. Большое влияние на величину теплопотерь оказывает воздействие ветра, поэтому здания, особенно многоэтажные, расположенные на открытой местности, потребляют тепла на отопление значительно больше, чем те, которые находятся в квартальной застройке города. Влияние ветра учитывают добавками к расчетным тепловым потерям.

Теплопотери отапливаемых помещений состоят из основных и добавочных.

Основные теплопотери складываются из теплопотерь Q в ккал/ч через отдельные ограждения помещения, определяемые по формуле

$$Q = F \frac{1}{R_0} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) n, \quad (\text{I.22})$$

где F — площадь ограждения, м^2 ;

R_0 — сопротивление теплопередаче ограждения ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)/ккал}$;

$t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ — расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{С}$, принимаемые по табл. I.3 и I.4;

n — коэффициент уменьшения для подсчета теплопотерь через различные ограждения.

Значения коэффициента n для различных ограждений

Полы на грунте и на лагах	1,0
Чердачные перекрытия при стальной, черепичной или асбестоцементной кровлях по разреженной обрешетке и бесчердачные покрытия с вентилируемыми продухами	0,9
То же, перекрытия по сплошному настилу	0,8
Чердачные перекрытия при кровлях из рулонных материалов	0,75
Ограждения, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых, сообщающихся с наружным воздухом, за исключением неотапливаемых подвалов	0,7
Ограждения, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых, не сообщающихся с наружным воздухом	0,4
Перекрытия над подпольями, расположенными ниже уровня земли, при непрерывной конструкции цоколя с $R_0 > 1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$	0,4
То же, с $R_0 \leq 1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$ и перекрытия над холодными подпольями, расположенными выше уровня земли	0,75
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами, расположенными ниже уровня земли или имеющими наружные стены, выступающие над уровнем земли на высоту до 1 м, при наличии окон в этих стенах	0,6
То же, при отсутствии окон	0,4

Расчетную разность температур для перекрытий над неотапливаемыми подвалами, у которых часть наружных стен высотой 1 м и более расположена над поверхностью земли, определяют с учетом температуры воздуха в подвале. Последнюю подсчитывают по балансу тепла, поступающего в подвал из вышерасположенных и смежных отапливаемых помещений и теряемого через наружные ограждения. Расчетную разность температур для бесчердачного покрытия с вентилируемой воздушной прослойкой принимают как для чердачных перекрытий, при этом воздушную прослойку рассматривают как чердачное пространство, а находящуюся над ней конструкцию — как кровлю.

Температуру воздуха производственных и вспомогательных помещений в нерабочее время при необходимости поддержания в них положительной температуры следует принимать 5°C (дежурное отопление).

Теплообмен через ограждения между смежными отапливаемыми помещениями при расчете теплопотерь учитывается при разности температур внутреннего воздуха этих помещений более 5°C .

Значения величин сопротивления теплопередаче R_0 наружных стен и перекрытий в зданиях с нормальным температурно-влажностным режимом воздуха в помещениях принимают в зависимости от назначения здания, расчетных температур внутреннего и наружного воздуха с проверкой в необходимых случаях конструкций на воздухопроницаемость. Для зданий с влажным и мокрым режимами воздуха в помещениях строительные конструкции выбирают на основании теплотехнических расчетов по требуемым сопротивлениям теплопередаче и паропроницанию с учетом действительной относительной влажности воздуха. Для удобства выбора наружных ограждений с последующим расчетом теплопотерь по формуле (I.22) в табл. I.12— I.16 приведены необходимые теплотехнические и конструктивные данные для наружных ограждений.

Теплопотери через неутепленные полы, расположенные на грунте, исчисляют по условным зонам — полосам шириной 2 м, параллельным наружным стенам. Сопротивление теплопередаче 1-й зоны $R_{н.п}^I = 2,5$; 2-й зоны $R_{н.п}^{II} = 5$; 3-й зоны $R_{н.п}^{III} = 10$ и остального пола $R_{н.п} = 16,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)/ккал}$.

Неутепленными считаются конструкции, которые независимо от толщины состоят из слоев материалов, имеющих коэффициент теплопроводности $\lambda \geq 1 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}$.

Таблица I.12. Значения R_0 и $1/R_0$ для наружных стен промышленных конструкций

Эскиз (лист I.3, рис. 4)	Конструкция стены-панели	Масса, $\frac{кг}{м^2}$ $\frac{кг}{м^3}$	Массивность *	$R_0, \frac{м^2 \cdot ч \times}{\times \text{°C}} \frac{ккал}{ккал}$	$1/R_0, \frac{м^2 \cdot ч \times}{\times \text{°C}} \frac{ккал}{ккал}$
<i>а</i>	Трехслойная с монолитной железобетонной оболочкой и полужесткими минераловатными плитами	$\frac{270}{—}$	ММ	1,25	0,8
<i>б</i>	Двухслойная с монолитной железобетонной оболочкой и фибролитом	$\frac{170}{—}$	ММ	1,28	0,78
<i>в</i>	Трехслойная из двух часторебристых железобетонных скорлуп непрерывного вибропроката и минераловатных плит	$\frac{220}{—}$	ММ	1,13	0,88
<i>г</i>	Трехслойная с оболочкой из ребристой преднапряженной железобетонной скорлупы стенового проката и асбестоцементных листов с минераловатными плитами	$\frac{130}{—}$	ММ	1,19	0,84
<i>д</i>	Трехслойная с оболочкой из асбестоцементных листов с минераловатными плитами	$\frac{96}{—}$	ММ	1,57	0,63
<i>е</i>	Однослойная из керамзитобетона с двусторонней штукатуркой	$\frac{210}{700}$	С	1,28	0,78
<i>ж</i>	Однослойная из перлитобетона	$\frac{140}{700}$	С	1,29	0,78
<i>з</i>	Однослойная из автоклавного ячеистого бетона с односторонней штукатуркой	$\frac{235}{800}$	С	1,3	0,77
<i>и</i>	Однослойная из безавтоклавного золотопенобетона с односторонней штукатуркой	$\frac{290}{900}$	С	1,25	0,8
<i>к</i>	Однослойная крупноблочная из шлакобетона с двусторонней штукатуркой	$\frac{800}{1600}$	С	1,25	0,8

Примечание. В таблице даны наиболее характерные промышленные конструкции наружных стен. Подробные сведения о них см. в работе А. М. Шимановича «Теплотехнический расчет ограждающих конструкций» (М., Промстройпроект Госстроя СССР, 1964).

Таблица I.13. Значения R_0 и $1/R_0$ для наружных ограждений промышленных конструкций

Конструкция стены-панели	Объемная масса, $\frac{кг}{м^3}$	Толщина, мм	$R_0, \frac{м^2 \cdot ч \times}{\times \text{°C}} \frac{ккал}{ккал}$	$1/R_0, \frac{м^2 \cdot ч \times}{\times \text{°C}} \frac{ккал}{ккал}$	Массивность
Однослойная керамзитобетонная панель с фактурным слоем толщиной 25 мм и внутренней штукатуркой	700	250	0,99	1,01	ММ
	700	300	1,18	0,84	ММ
	800	250	0,94	1,06	ММ
	800	300	1,12	0,89	ММ
	900	250	0,9	1,11	ММ
	900	300	1,06	0,94	ММ
	1000	250	0,85	1,17	ММ

* В табл. I.12—I.15 приняты следующие обозначения массивности ограждений: М — массивные, С — средней массивности, ММ — малой массивности.

Конструкция стены-панели	Объемная масса, кг/м³	Толщина, мм	R_0 , (м² × ч × °C)/ккал	$1/R_0$, ккал/(м² · ч × °C)	Мас-сив-ность
То же, из ячеистых бетонов	1000	300	1,0	1,0	ММ
	1100	350	1,02	0,98	С
	1100	400	1,16	0,86	С
	1200	350	0,89	1,12	С
	1200	400	1,0	1,0	С
	300	250	1,07	0,93	ММ
	300	300	1,28	0,78	ММ
	700	250	1,01	0,99	ММ
	700	300	1,2	0,83	ММ
	800	250	0,94	1,06	ММ
То же, из газо- и пено-золобетона	800	300	1,12	0,89	ММ
	900	250	0,85	1,17	ММ
	900	300	1,0	1,0	ММ
	1000	350	1,02	0,98	С
	1000	400	1,15	0,87	С
	800	250	1,03	0,97	ММ
	800	300	1,15	0,87	С
	900	350	1,34	0,75	С
	900	400	1,52	0,66	С
	1000	300	1,07	0,93	С
Трехслойная панель в виде железобетонной ребристой оболочки ($\delta_n = 50$ мм и $\delta_b = 100$ мм), заполненная пенопластом	350	250/100	1,04	0,96	ММ
	350	300/150	1,43	0,68	ММ
То же, заполненная минераловатными плитами на битумной связке	400	250/100	0,9	1,11	ММ
	400	300/150	1,25	0,81	ММ
То же, заполненная легкобетонными вкладышами из пеностекла	300	250/100	0,95	1,05	ММ
	300	300/150	1,79	0,56	ММ
То же, заполненная вкладышами из ячеистого бетона	400	250/100	1,12	0,89	ММ
	400	300/150	1,54	0,65	ММ
	500	250/100	0,87	1,15	ММ
	500	300/150	1,55	0,65	ММ
	600	250/100	0,83	1,2	ММ
	600	300/150	0,94	1,06	ММ

Примечания. 1. Значения R_0 указаны с учетом более теплопроводных включений.

2. Для трехслойных панелей указана объемная масса утеплителя; в числителе дана толщина всей конструкции панели, в знаменателе — только утеплителя.

3. При пересчете величины сопротивления теплопередаче R_0 в многослойных панелях изменяется толщина утеплителя, в однослойных — всего массива конструкции панели.

Таблица 1.14. Значения R_0 и $1/R_0$ для наружных стен с внутренней штукатуркой

Конструкция стены *	Толщина		Массивность	$R_0, \frac{м^2 \cdot ч}{ккал} \times$	$1/R_0, \frac{ккал}{м^2 \cdot ч} \times$
	в кирпиче или камнях	в мм			
Сплошная кладка из обыкновенного кирпича (ГОСТ 530—71) на тяжелом растворе ($\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$)	0,5	135	ММ	0,38	2,64
	1	265	ММ	0,57	1,76
	1,5	395	С	0,76	1,32
	2	525	С	0,94	1,06
	2,5	655	М	1,13	0,89
	3	785	М	1,32	0,76
	3,5	915	М	1,5	0,67
То же, на легком растворе ($\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$)	1,5	395	С	0,79	1,26
	2	325	С	0,99	1,01
	2,5	655	М	1,19	0,84
	3	785	М	1,39	0,72
Сплошная кладка из обыкновенного кирпича с воздушной прослойкой ($\delta = 50 \text{ мм}$) вперевязку через каждые 6 рядов на тяжелом растворе ($\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$)	1,5	435	С	0,9	1,11
	2	565	М	1,09	0,92
	2,5	695	М	1,28	0,78
То же, на легком растворе ($\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$)	1,5	435	С	0,93	1,07
	2	565	М	1,14	0,88
	2,5	695	М	1,34	0,75
Сплошная кладка из силикатного кирпича (ГОСТ 379—69) на тяжелом растворе ($\gamma = 1900 \text{ кг/м}^3$)	0,5	135	ММ	0,36	2,78
	1	265	ММ	0,54	1,86
	1,5	395	С	0,71	1,41
	2	525	С	0,88	1,14
	2,5	655	М	1,08	0,93
	3	785	М	1,23	0,81
Сплошная кладка из дырчатого кирпича (ГОСТ 6316—74) на тяжелом растворе ($\gamma = 1360 \text{ кг/м}^3$)	1,5	395	С	0,89	1,12
	2	525	С	1,12	0,89
	2,5	655	С	1,4	0,71
Сплошная кладка из керамических камней (ГОСТ 6316—74)	1,5	395	С	0,9	1,11
	2	525	С	1,15	0,87
	2,5	655	М	1,41	0,71
То же, с облицовкой лицевым кирпичом в 1/2 кирпича	1,5	395	С	0,9	1,11
	2	525	С	1,15	0,87
	2,5	655	М	1,41	0,71
Сплошная кладка из легкобетонных трехпустотных камней (ГОСТ 6928—54) с перевязкой тычковыми рядами ($\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$)	1	405	С	0,78	1,28
	1,5	605	М	1,1	0,91
То же, с засыпкой пустот шлаком	1	405	С	0,97	1,03
	1,5	605	М	1,34	0,75
	0,5	205	ММ	0,61	1,64
	0,75	305	С	0,8	1,25
Сплошная кладка из легкобетонных камней со щелевидными пустотами (ГОСТ 6133—52, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$)	1	405	С	1,01	0,99
	1,25	505	М	1,22	0,82
	—	190	ММ	0,88	1,14
	—	240	ММ	1,03	0,97
Сплошная кладка из пеносиликатных камней ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$) на тяжелом растворе	—	290	ММ	1,17	0,86
	—	340	С	1,35	0,74
	—	390	С	1,51	0,66
	—	300	ММ	1,07	0,93
Стены из крупных шлакобетонных блоков		300	ММ	1,07	0,93

* По конструкциям стен из каменных материалов см. Указания Госстроя СССР (СН 344—65).

Конструкция стены	Толщина		Массивность	$R_0, (M^2 \cdot \gamma \times \frac{1}{K_{кал}}) / (M^2 \cdot \gamma \times \frac{1}{K_{кал}})$	$1/R_0, (M^2 \cdot \gamma \times \frac{1}{K_{кал}}) / (M^2 \cdot \gamma \times \frac{1}{K_{кал}})$
	в кирпиче или камнях	в мм			
с наружным фактурным слоем ($\delta = 20-30$ мм, $\gamma = 1000$ кг/м ³)	—	400	С	1,37	0,73
		500	С	1,65	0,61
		600	С	1,93	0,52
Стены из крупных шлакобетонных блоков с наружным фактурным слоем ($\delta = 20-30$ мм, $\gamma = 1400$ кг/м ³)	—	300	ММ	0,76	1,31
		400	С	0,94	1,06
		500	С	1,12	0,89
Стены из кирпичной кладки с термоизоляционной засыпкой шлаком и растворными армированными диафрагмами через каждые 5 рядов кирпича	1,5	395	С	1,03	0,97
	1,5	435	С	1,16	0,86
	2	525	С	1,49	0,67
Сплошная кладка из бута на тяжелом растворе ($\gamma = 2400$ кг/м ³)	—	565	С	1,63	0,61
		600	М	0,51	1,96
		700	М	0,56	1,78
		800	М	0,61	1,64
		900	М	0,66	1,52
		1000	М	0,71	1,41
То же, с облицовкой изнутри в 1/2 кирпича	—	600	М	0,63	1,59
		700	М	0,68	1,47
		800	М	0,73	1,37
		900	М	0,78	1,28
		1000	М	0,83	1,21
Сплошная кладка из известняка-ракушечника со штукатуркой с обеих сторон на тяжелом растворе ($\gamma = 1400$ кг/м ³)	1	245	ММ	0,63	1,59
	1,5	410	С	0,93	1,07
	2	540	С	1,17	0,86
	2,5	600	М	1,28	0,88
	3	800	М	1,64	0,61
Стены из тесаных камней (арктического туфа) на тяжелом растворе ($\gamma = 1200$ кг/м ³)	1	265	С	0,71	1,41
	1,5	365	С	0,91	1,1
	2	465	М	1,11	0,9
Сплошная кладка из полнотелых грунтобетонных камней ($\gamma = 1800$ кг/м ³)	1	315	С	0,45	2,23
	1,5	475	С	0,68	1,47
	2	625	М	0,89	1,12
То же, из пятистенных грунтобетонных камней	1	315	С	0,48	2,08
	1,5	475	С	0,73	1,37
	2	625	М	0,96	1,04
Колодцевая кладка из полнотелых грунтобетонных камней с засыпкой шлаком ($\gamma = 1800$ кг/м ³ , $b = 1,0$)	1,5	475	М	1,2	0,84
	1,5	625	М	1,95	0,52
Монолитные стены из грунтобетона ($\gamma = 1800$ кг/м ³)	—	315	С	0,45	2,23
	—	415	С	0,59	1,7
	—	515	С	0,73	1,37
Стены из саманных блоков ($\gamma = 1400$ кг/м ³)	—	615	М	0,88	1,14
	1	410	С	0,86	1,16
	1,5	540	С	1,08	0,93
Стены деревянные рубленые	2	700	М	1,35	0,74
	—	200	С	1,33	0,75
	—	220	С	1,45	0,68
Стены брусчатые	—	240	С	1,56	0,64
	—	150	ММ	1,18	0,85
	—	180	С	1,28	0,78
		200	С	1,32	0,76

Конструкция стены	Толщина		Массивность	$R_0, (м^2 \cdot ч \times \text{°C}) / \text{ккал}$	$1/R_0, \text{ккал} / (м^2 \cdot ч \times \text{°C})$
	в кирпиче или камнях	в мм			
Стены каркасно-засыпные с обшивкой досками ($\delta = 22 \text{ мм}$) с двусторонней штукатуркой при засыпке шлаком * ($b = 1,2$) То же, с засыпкой трепелом * ($b = 1,0$)	—	100	ММ	0,93	1,07
		120	ММ	1,0	1,0
	—	150	ММ	1,13	0,89
		100	ММ	1,2	0,83
	—	120	ММ	1,32	0,76
		150	ММ	1,56	0,64

Примечание. Внутренняя штукатурка наружных стен принята известковая толщиной 5 мм с $R = 0,02$

Таблица 1.15. Значения R_0 и $1/R_0$ для перекрытий

Тип перекрытия	Конструктивные слои	Толщина утеплителя, мм	Массивность	$R_0, (м^2 \cdot ч \times \text{°C}) / \text{ккал}$	$1/R_0, \text{ккал} / (м^2 \cdot ч \times \text{°C})$
Чердачные перекрытия					
Деревянное с накатом из пластин и утеплителем-шлаком	Утеплитель, смазка 20 мм, пластины 80 мм, штукатурка по дроби 20 мм	40	ММ	0,92	1,09
		80	ММ	1,0	1,0
		100	ММ	1,16	0,86
		150	С	1,36	0,74
		200	С	1,46	0,69
		250	С	1,76	0,57
То же, с утеплителем-трепелом	То же	40	ММ	1,07	0,93
		60	ММ	1,22	0,82
		100	С	1,53	0,66
		150	С	1,91	0,52
Деревянное с накатом из сборных камышитовых щитов и утеплителем-шлаком	Утеплитель, смазка 20 мм, камышитовый щит 100 мм, штукатурка по дроби 20 мм	40	ММ	1,28	0,78
		60	ММ	1,36	0,74
		80	ММ	1,44	0,69
		100	ММ	1,52	0,66
		140	С	1,68	0,59
		200	С	1,92	0,52
То же, с утеплителем-трепелом	То же	40	ММ	1,39	0,72
		60	ММ	1,52	0,66
		70	ММ	1,65	0,61
		100	ММ	1,79	0,56
Деревянное с накатом из сборных фибролитовых щитов и утеплителем-шлаком	Утеплитель, смазка 20 мм, щит 50 мм, штукатурка 20 мм	60	ММ	0,95	1,05
		100	ММ	1,11	0,9
		150	С	1,31	0,76
		200	С	1,51	0,66
То же, с утеплителем-трепелом	То же	40	ММ	0,98	1,02
		60	ММ	1,11	0,9
		100	С	1,38	0,72
		150	С	1,71	0,58

* В графе «Толщина в мм» дана толщина слоя утеплителя.

Тип перекрытия	Коиструктивные слои	Толщина утеплителя, мм	Массивность	$R_0, (м^2 \cdot ч \times$ $\times ^\circ C)/ккал$	$1/R_0, (м^2 \cdot ч \times$ $\times ^\circ C)/ккал$		
Деревянное с накатом из шлакобетонных или гип- совых плит и утеплите- лем-шлаком То же, с утеплителем- трепелом	Утеплитель, плита 90 мм, пароизоляция, затирка	100	ММ	0,88	1,13		
		150	ММ	1,08	0,92		
		200	ММ	1,28	0,78		
	То же	60	ММ	0,88	1,13		
		100	ММ	1,15	0,87		
		150	ММ	1,48	0,67		
		200	ММ	1,81	0,55		
	Железобетонное из сбор- ных ребристых плит с утеплителем-шлаком	Утеплитель, плита 35 мм, затирка	100	ММ	0,69	1,45	
			150	ММ	0,89	1,12	
			200	ММ	1,09	0,92	
			250	ММ	1,29	0,77	
То же, с утеплителем- трепелом	То же	60	ММ	0,69	1,45		
		100	ММ	0,96	1,04		
		150	ММ	1,29	0,77		
		200	ММ	1,62	0,62		
Перекрытия над проездами и неотапливаемыми подвалами							
Дощатый пол на латах по кирпичным столбикам на железобетонном пере- крытии с утеплителем- шлаком	Пол из досок 37 мм, воз- душная прослойка 30 мм, утеплитель, железобетон- ная плита 35 мм	40	М и С	0,94	1,06		
		60	М и С	1,02	0,98		
		80	М и С	1,1	0,91		
		100	М и С	1,18	0,85		
		150	М и С	1,38	0,72		
		200	М и С	1,58	0,64		
		250	М и С	1,78	0,56		
		300	М и С	1,98	0,51		
		То же, с утеплителем- трепелом	То же	40	М и С	1,05	0,35
				60	М и С	1,18	0,85
80	М и С			1,31	0,76		
100	М и С			1,45	0,69		
150	М и С			1,78	0,56		
То же, с утеплителем- торфом-сфагнумом в на- бивке [$\lambda = 0,06$ ккал/(м $\times$ $\times$ ч $\cdot$ $^\circ C$)]	»	200	М и С	2,11	0,47		
		250	М и С	2,45	0,41		
		40	М и С	1,45	0,69		
		60	М и С	1,78	0,56		
		80	М и С	2,11	0,47		
		100	М и С	2,45	0,41		
		150	М и С	3,28	0,31		
		200	М и С	4,11	0,24		
Паркетный пол по желе- зобетонному перекрытию с утеплителем-шлаком	Паркетная клепка 17 мм, асфальт на бетонной стяж- ке 65 мм, утеплитель, железобетонная плита 35 мм	100	М и С	0,97	1,03		
		150	М и С	1,09	0,92		
		200	М и С	1,29	0,77		
		250	М и С	1,49	0,67		
		300	М и С	1,69	0,59		
		350	М и С	1,89	0,53		
		400	М и С	2,09	0,48		
		То же, с утеплителем- трепелом	То же	100	М и С	1,16	0,86
150	М и С			1,49	0,67		
200	М и С			1,82	0,55		
250	М и С			2,16	0,46		

Примечание Для шлака коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,25$, для трепела, пеноликата и пенобетона — $0,15$ ккал/(м $\cdot$ ч $^\circ$ C); $b = 1,0$ для всех этих материалов

Таблица 1.16. Значение R_0 и $1/R_0$ для заполнений оконных и дверных проемов в деревянных переплетах (по СНиП II-A. 7—71)

Заполнение проема	ГОСТ	Расстояние между стеклами, мм	$R_0, (м^2 \cdot ч \times \text{°C})/ккал$	$1/R_0, ккал/(м^2 \times ч \text{°C})$
Одинарные переплеты (одинарное остекление)	12506—67, 16407—70	—	0,2	5,0
Двойные переплеты спаренные (двойное остекление)	11214—65 *	55	0,4	2,5
	16407—70	50	0,4	2,5
	12506—67	55	0,4	2,5
То же, со стеклопакетом	—	20	0,38	2,7
Двойные переплеты раздельные (двойное остекление)	11214—65 *	110	0,44	2,3
	16407—70	100	0,44	2,3
Тройные переплеты, одинарный + спаренный (тройное остекление)	16289—70	160	0,6	1,7
Вертикальное остекление из пустотелых стеклянных блоков	9272—66	—	0,5	2,0
Магазинная витрина	—	—	0,25	4,0
Наружные двери и ворота деревянные одинарные	—	—	0,25	4,0
То же, двойные	—	—	0,5	2,0
Внутренние двери одинарные	—	—	0,4	2,5

Примечание Значения $1/R_0$ для окон, балконных дверей и фонарей в металлических переплетах и коробках следует увеличивать на 10%

Сопротивление теплопередаче утепленных полов $R_{у.п.}$, расположенных непосредственно на грунте, вычисляют для каждой зоны по формуле

$$R_{у.п.} = R_{н.п.} + \frac{\delta_{у.с.}}{\lambda_{у.с.}}, \quad (1.23)$$

где $\delta_{у.с.}$ и $\lambda_{у.с.}$ — соответственно толщина, м, и коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot \text{°C})$, утепляющего слоя.

Сопротивление теплопередаче конструкции полов на лагах $R_{л.}$ определяют по формуле

$$R_{л.} = \frac{1}{0,85} R_{у.п.} \quad (1.24)$$

При определении теплотерь через полы подвалов продолжение подземной части наружных стен, начиная от уровня земли, рассматривается как полы (лист 1.3, рис. 3, в).

Для удобства расчета теплотерь через неутепленные полы на грунте в табл. 1.17 и 1.18 приведены величины $\Sigma F \frac{1}{R_{н.п.}}$, вычисленные в зависимости от размеров угловых и средних помещений.

Правила обмера ограждений здания при определении поверхности F в $м^2$ для расчета теплотерь показаны на листе 1.3, рис. 3, а, б. Линейные размеры ограждений принимаются с точностью до 0,1 м, а результаты расчетов теплотерь вычисляются с точностью до 5 $ккал/ч$.

Добавочные теплотери через ограждающие конструкции помещений различного назначения исчисляются в процентах к основным, найденным по формуле (1.22), и принимаются в зависимости от вида ограждений по табл. 1.19.

При расчете теплотерь через наружные ограждения общественных зданий их среднее значение не должно превышать величин, указанных в табл. 1.20.

Пример 1.11. Рассчитать теплопотери жилой комнаты в кирпичном одноэтажном доме с черепичной кровлей, сооружаемом в г. Ессентуки (лист 1.4, рис. 1).

При расчете теплопотерь следует учесть надбавки: на ветер — 5%, на угловое помещение — 5% и на страны света — согласно ориентации, указанной на рисунке.

Для угловой жилой комнаты $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$. По табл. 1.3 расчетные наружные температуры для г. Ессентуки следующие: $t_{н} = -17^{\circ}\text{C}$, $t_{х.с} = -21^{\circ}\text{C}$. При разности

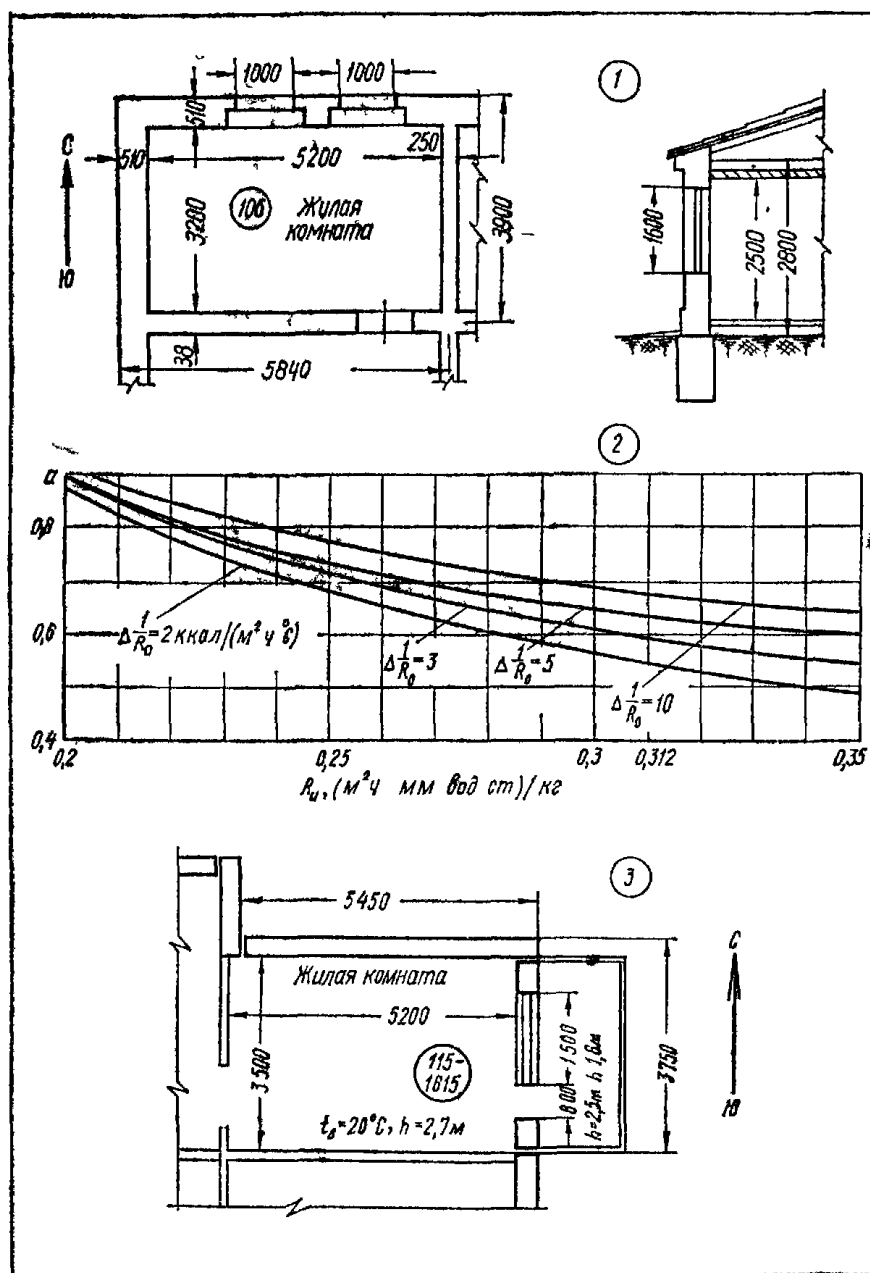
расчетных температур $t_{в} - t_{н} = 20 + 17 = 37^{\circ}\text{C}$ по табл. 1.8 находим величины требуемых сопротивлений теплопередаче $R_o^{тр}$: для кирпичной наружной стены — 0,82; для чердачного перекрытия — 1,09 ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{ккал}$).

Сообразуясь со значениями $R_o^{тр}$ и принятыми по проекту материалами стен и перекрытия, на основании данных табл. 1.14 и 1.15 выбираем строительные конструкции наружных ограждений здания. Кирпичные стены принимаем толщиной в два кирпича на тяжелом растворе с внутренней штукатуркой. Общая толщина стены с учетом швов — 525 мм, $R_o = 0,94$, $1/R_o = 1,06$. Массивность стены — средняя. Чердачное перекрытие принимаем из сборных железобетонных ребристых плит с утеплителем-шлаком объемной массой 1000 кг/м^3 , толщиной 200 мм и $\lambda = 0,25$, $R_o = 1,09$, $1/R_o = 0,92$. Перекрытие малой массивности.

Проверяем принятые конструкции наружных ограждений при значениях $R_o^{тр}$ по табл. 1.8 для уточненной разности расчетных температур. Наружная стена средней массивности при $t_{н} = 20 + (17 + 21) : 2 = 39^{\circ}\text{C}$ имеет $R_o^{тр} = 0,86$. Поскольку $0,86 < 0,94$, конструкция стены отвечает нормам и может быть принята. Чердачное перекрытие при $t_{н} = 20 + 21 = 41^{\circ}\text{C}$ имеет $R_o^{тр} = 1,21$. Поскольку $1,21 > 1,09$, перекрытие надо утеплить. Заменяем шлак трепелом с объемной массой 600 кг/м^3 и $\lambda = 0,15$ толщиной слоя 150 мм при $R_o = 1,29$ и $1/R_o = 0,77$.

При черепичной кровле вводится поправочный коэффициент уменьшения расчетной разности температур $n = 0,9$; для окон с двойным остеклением и стеклопакетом по табл. 1.16 принимаем $1/R_o = 2,7 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Для удобства проверки арифметических вычислений и выявления возможных ошибок рекомендуется такой порядок записи результатов расчета по отдельным помещениям. Сначала в плане здания все отапливаемые помещения нумеруются поэтажно, например, подвал — 1, 2, 3, 4, 5 и т. д., 1-й этаж — 101, 102, 103, 104, 105



Лист 1.4. К расчетам теплопотерь:

1 — к примеру 1.11; 2 — график для определения поправки α; 3 — к примеру 1.12.

Таблица 1.17. Значения $\Sigma F \frac{1}{R_{н.п}}$, ккал/(ч·°С), неутепленных

Ширина помеще- ния, м	Глубина помещения (перпендику									
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
1	0,4	0,6	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,3	
1,5	0,6	0,9	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	
2	0,8	1,2	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,6	
2,5	1	1,5	2	2,3	2,6	2,8	3	3,1	3,3	
3	1,2	1,8	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,8	3,9	
3,5	1,4	2,1	2,8	3,2	3,5	3,9	4,2	4,4	4,6	
4	1,6	2,4	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5	5,2	
4,5	1,8	2,7	3,6	4,1	4,5	5	5,4	5,6	5,9	
5	2	3	4	4,5	5	5,5	6	6,3	6,5	
5,5	2,2	3,3	4,4	5	5,5	6,1	6,6	6,9	7,2	
6	2,4	3,6	4,8	5,4	6	6,6	7,2	7,5	7,8	
6,5	2,6	3,9	5,2	5,9	6,5	7,2	7,8	8,1	8,8	
7	2,8	4,2	5,6	6,3	7	7,7	8,4	8,8	9,1	
7,5	3	4,5	6	6,8	7,5	8,3	9	9,4	9,8	
8	3,2	4,8	6,4	7,2	8	8,8	9,6	10	10,4	
8,5	3,4	5,1	6,8	7,7	8,5	9,4	10,2	10,6	11,1	
9	3,6	5,4	7,2	8,1	9	9,9	10,8	11,3	11,7	
9,5	3,8	5,7	7,6	8,6	9,5	10,5	11,4	11,9	12,4	
10	4	6	8	9	10	11	12	12,5	13	
10,5	4,2	6,3	8,4	9,5	10,5	11,6	12,6	13,1	13,7	
11	4,4	6,6	8,8	9,9	11	12,1	13,2	13,8	14,3	
11,5	4,6	6,9	9,2	10,4	11,5	12,7	13,8	14,4	15	
12	4,8	7,2	9,6	10,8	12	13,2	14,4	15	15,6	
12,5	5	7,5	10	11,3	12,5	13,8	15	15,6	16,3	
13	5,2	7,8	10,4	11,7	13	14,3	15,6	16,3	16,9	
13,5	5,4	8,1	10,8	12,2	13,5	14,9	16,2	16,9	17,6	
14	5,6	8,4	11,2	12,6	14	15,4	16,8	17,5	18,2	
14,5	5,8	8,7	11,6	13,1	14,5	16	17,4	18,1	18,9	
15	6	9	12	13,5	15	16,5	18	18,8	19,5	

полов на грунте для средних помещений

лярная к наружной стене), м

5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5
2,7	2,8	2,9	2,9	3	3	3,1	3,2	3,2	3,3
3,4	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9	4	4	4,1
4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,9
4,7	4,9	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7
5,4	5,6	5,7	5,8	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,6
6,1	6,3	6,4	6,6	6,7	6,8	7	7,1	7,2	7,4
6,8	7	7,2	7,3	7,5	7,6	7,8	7,9	8,1	8,2
7,4	7,7	7,9	8	8,2	8,4	8,5	8,7	8,9	9
8,1	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7	9,8
8,8	9,1	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3	10,4	10,7
9,5	9,8	10	10,2	10,4	10,6	10,9	11,1	11,3	11,5
10,1	10,5	10,7	11	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3
10,8	11,2	11,4	11,7	11,9	12,2	12,4	12,6	12,9	13,1
11,5	11,9	12,2	12,4	12,7	12,9	13,2	13,4	13,7	13,9
12,2	12,6	12,9	13,1	13,4	13,7	14	14,2	14,5	14,8
12,8	13,3	13,6	13,9	14,2	14,4	14,7	15	15,3	15,6
13,5	14	14,3	14,6	14,9	15,2	15,5	15,8	16,1	16,4
14,2	14,7	15	15,3	15,6	16	16,3	16,6	16,9	17,2
14,9	15,4	15,7	16,1	16,4	16,7	17,1	17,4	17,9	18
15,5	16,1	16,4	16,8	17,1	17,6	17,8	18,2	18,5	18,9
16,2	16,8	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	19	19,3	19,7
16,9	17,5	17,9	18,3	18,6	19	19,4	19,8	20,1	20,5
17,6	18,2	18,6	19	19,4	19,8	20,2	20,5	20,9	21,8
18,2	18,9	19,3	19,7	20,1	20,5	20,9	21,3	21,7	22,1
18,9	19,6	20	20,4	20,9	21,3	21,7	22,1	22,6	23
19,6	20,3	20,7	21,2	21,6	22	22,5	22,9	23,3	23,8
20,3	21	21,5	21,9	22,4	22,8	23,3	23,7	24,2	24,6

Т а б л и ц а 1.18. Значения $\Sigma F \frac{1}{R_{н.п}}$, ккал/(ч·°С),

Длина помеще- ния, м	Ширина поме									
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
1	0,8									
1,5	1,2	2,1								
2	1,6	2,4	3,2							
2,5	1,8	2,7	3,6	4,1						
3	2	3	4	4,5	5					
3,5	2,2	3,3	4,4	5	5,5	6,1				
4	2,4	3,6	4,8	5,4	6	6,6	7,2			
4,5	2,6	3,9	5,2	5,9	6,5	7,2	7,8	8,4		
5	2,8	4,2	5,6	6,3	7	7,7	8,4	9,1	9,7	
5,5	3	4,5	6	6,8	7,5	8,3	9	9,7	10,4	
6	3,2	4,8	6,4	7,2	8	8,8	9,6	10,3	11	
6,5	3,4	5,1	6,8	7,7	8,5	9,4	10,2	10,9	11,7	
7	3,6	5,4	7,2	8,1	9	9,9	10,8	11,6	12,3	
7,5	3,8	5,7	7,6	8,6	9,5	10,5	11,4	12,2	13	
8	4	6	8	9	10	11	12	12,8	13,6	
8,5	4,2	6,3	8,4	9,5	10,5	11,6	12,6	13,4	14,3	
9	4,4	6,6	8,8	9,9	11	12,1	13,2	14,1	14,9	
9,5	4,6	6,9	9,2	10,4	11,5	12,7	13,8	14,7	15,6	
10	4,8	7,2	9,6	10,8	12	13,2	14,4	15,3	16,2	
10,5	5	7,5	10	11,3	12,5	13,8	15	15,9	16,9	
11	5,2	7,8	10,4	11,7	13	14,3	15,6	16,6	17,5	
11,5	5,4	8,1	10,8	12,2	13,5	14,9	16,2	17,2	18,2	
12	5,6	8,4	11,2	12,6	14	15,4	16,8	17,8	18,8	
12,5	5,8	8,7	11,6	13,1	14,5	16	17,4	18,4	19,5	
13	6	9	12	13,5	15	16,5	18	19,1	20,1	
13,5	6,2	9,3	12,4	14	15,5	17,1	18,6	19,7	20,8	
14	6,4	9,6	12,8	14,4	16	17,6	19,2	20,3	21,4	
14,5	6,6	9,9	13,2	14,9	16,5	18,2	19,8	20,9	22,1	
15	6,8	10,2	13,6	15,3	17	18,7	20,4	21,6	22,7	

неутепленных полов на грунте для угловых помещений

щения, м										
5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	
11										
11,7	12,4									
12,4	13,1	13,7								
13,1	13,8	14,5	15,3							
13,7	14,5	15,2	16	16,7						
14,4	15,2	16	16,7	17,5	18,2					
15,1	15,9	16,7	17,5	18,2	19	19,8				
15,8	16,6	17,4	18,2	19	19,8	20,6	21,3			
16,4	17,3	18,1	18,9	19,7	20,5	21,3	22,1	22,9		
17,1	18	18,8	19,6	20,2	21,3	22,1	22,9	23,7	24,6	
17,8	18,7	19,5	20,4	21,2	22	22,9	23,7	24,5	25,4	
18,5	19,4	20,3	21,1	22	22,8	23,7	24,5	25,4	26,2	
19,1	20,1	21	21,8	22,7	23,6	24,4	25,3	26,2	27	
19,8	20,8	21,7	22,6	23,4	24,3	25,2	26,1	27	27,8	
20,5	21,5	22,4	23,3	24,2	25,1	26	26,9	27,8	28,7	
21,2	22,2	23,1	24	24,9	25,6	26,8	27,7	28,6	29,5	
21,8	22,9	23,8	24,8	25,7	26,6	27,5	28,5	29,4	30,3	
22,5	23,6	24,5	25,5	26,4	27,4	28,3	29,2	30,2	31,4	
23,2	24,3	25,3	26,2	27,2	28,1	29,2	30	31	31,9	
23,9	25	26	26,9	27,9	28,9	29,9	30,8	31,8	32,8	

Таблица I.19. Величины добавочных теплопотерь (СНиП II-Г. 7—62)

Помещения и здания	Виды ограждений, через которые происходят добавочные теплопотери	Величины добавочных теплопотерь, проц. к основным
Помещения в зданиях любого назначения	Вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) наружные ограждения (стены, двери и светопроемы), обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад	10
	То же, на юго-восток и запад	5
	Вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) наружные ограждения зданий в местностях со средней скоростью ветра до 5 м/с включительно: защищенные от ветра	5
	незащищенные от ветра (в зданиях, расположенных на возвышенностях, у рек, озер, на берегу моря или на открытой местности)	10
То же, при двух и более наружных стенах (угловые)	Наружные стены и окна	5
Здания любого назначения	Наружные двери при открывании их на короткое время для учета проникновения холодного воздуха (<i>n</i> этажей): двойные без тамбура между ними двойные с тамбуром, снабженным дверью одинарные без тамбура	100 <i>n</i> 80 <i>n</i> 65 <i>n</i>
Общественные здания, общежития и гостиницы	Наружные двери главных входов независимо от этажности при пропуске 500—600 человек в 1 ч	400—500

Примечания. 1. В общественных зданиях для помещений высотой более 4 м расчетное значение теплопотерь всех ограждений с включением добавок надлежит увеличивать на 2% на каждый метр высоты сверх 4 м, но не более 15%. Эта добавка не распространяется на производственные помещения и лестничные клетки.

2. Добавки на ветер следует принимать с коэффициентом 2 при расчетной зимней скорости ветра от 5 до 10 м/с и с коэффициентом 3 — при скорости ветра более 10 м/с.

3. Ограждение помещения считается защищенным от ветра, если расстояние между ним и ближайшим ограждением защищающего строения превышает разность между уровнем кровли защищающего его строения и уровнем перекрытия помещения не более чем в 5 раз.

4. Добавочные теплопотери на наружные входы принимаются при отсутствии у них воздушно-тепловых завес.

5. При разработке типовых проектов добавочные теплопотери на страны света и ветер следует принимать в размере 16%.

Таблица I.20. Средние величины теплопотерь в общественных зданиях через наружные ограждения, ккал/(м²·ч) (СНиП II-Л. 2—72)

Назначение зданий	Виды ограждений		
	Стены	Покрытия	Перекрытия
Больницы	65	30	12
Поликлиники, детские сады-ясли	65	30	15
Санатории, дома отдыха	65	35	15
Школы, профессионально-технические училища	75	35	15
Научно-исследовательские институты, проектные организации, средние специальные и высшие учебные заведения, здания управления, зрелищные предприятия, учреждения искусств	80	35	15

Назначение зданий	Виды ограждений		
	Стены	Покрытия	Перекрытия
Торговые здания, предприятия общественного питания и бытового обслуживания, спортивные сооружения	90	35	15

и т.д., 5-й этаж — 501, 502, 503, 504, 505 и т. д., лестницы — А, Б, В, Г и т. д. Здесь порядковый номер указывает, на каком этаже расположено данное отапливаемое помещение.

Полученные результаты расчета теплопотерь удобно записывать в бланк по форме, приведенной в табл. I.21. Точность расчета — до 5 ккал/ч.

Таблица I.21. Расчет теплопотерь

Страны света	Ограждения					$t_{в} - t_{н},$ °C	Множи- тель над- бавки	Q, ккал/ч
	Название	Размеры, мм	Коли- чество	Площадь $F_0, м^2$	$\frac{1}{R_0}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
З	НС	3,90 × 2,8	1	10,92	1,06	37	1,15	490
С	НС	5,84 × 2,8	1	16,45	1,06	37	1,2	785
С	ДО	1,0 × 1,6	2	3,2	1,64	37	1,2	235
—	ПЛ	5,32 × 3,39	1	18,03	7,5	37	—	280
—	ПТ	5,32 × 3,39	1	18,03	0,77	37·0,9	—	460
Итого								2250

Примечание. В графе 2 приняты обозначения: НС — наружная стена; ДО — окно с двойным остеклением; ПЛ — пол; ПТ — потолок.

В графе 6 проставляется разность значений $1/R_0$ для стены и окна. Например, при значении его для окна 2,7 и для наружной стены 1,06 в расчетную таблицу заносят разность $2,7 - 1,06 = 1,64$, поскольку теплопотери ранее были учтены по всей площади стены без вычета площади окон.

При расчете теплопотерь через сплошные полы на грунте удобно пользоваться вспомогательной табл. I.18 для угловых помещений. При размерах комнаты $5,2 \times 3,2 \text{ м}$ $\Sigma F_0 \frac{1}{R_{нп}} = 7,5$, что и заносим в графу 6. Теплопотери потолка — это произведение величины 0,77 и разности температур с поправкой 0,9 (графа 7).

В графе 8 записывается общий суммарный множитель надбавки в процентах к основным теплопотерям на основании данных табл. I.19. Например, добавка на север 10%, на ветер 5%, на угловое помещение 5%, всего 20%. Отсюда общий множитель надбавок — 1,2.

В графу 9 заносят результаты вычисления суммарных теплопотерь со всеми добавками, т. е. произведение величин в графах 5, 6, 7 и 8 для каждого ограждения, за исключением сплошных полов на грунте. Аналогично находят теплопотери во всех остальных помещениях и суммируют их, получая теплопотери для всего здания. Теплопотери в лестничных клетках определяют как для одного помещения независимо от этажности здания.

Расчет теплопотерь в зданиях повышенной этажности

Теплопотери в зданиях повышенной этажности рассчитывают обычным порядком по формуле (I.22), но с учетом дополнительных потерь тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха, проникающего в отапливаемые помещения через наружные ограждения здания.

Таблица 1. 22. Добавки $\Delta \frac{1}{R_0}$ при расчете теплопотерь

v, м/с	t _н , °C	Рассчитываемый							
		1	2	3	4	5	6	7	
Окна с раздельными									
0	0	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	
	—10	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,1	
	—20	4,0	3,9	3,7	3,5	3,3	3,0	2,8	
	—30	4,9	4,6	4,4	4,2	3,9	3,6	3,3	
	—40	5,3	5,1	4,9	4,6	4,3	4,1	3,7	
5	0	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	
	—10	3,7	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	2,9	
	—20	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	3,8	3,6	
	—30	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,3	4,1	
	—40	5,8	5,7	5,4	5,2	5,0	4,9	4,5	
10	0	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	
	—10	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	
	—20	5,5	5,4	5,3	5,3	5,2	5,1	5,1	
	—30	6,1	6,0	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	
	—40	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6,0	5,9	
15	0	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,2	6,2	
	—10	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	6,6	6,6	
	—20	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	
	—30	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
	—40	7,9	7,9	7,9	7,8	7,8	7,8	7,8	
Окна со спаренными									
0	0	2,9	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	2,1	
	—10	3,9	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	
	—20	4,9	4,7	4,5	4,3	4,0	3,8	3,5	
	—30	5,9	5,7	5,4	5,1	4,8	4,4	4,4	
	—40	6,7	6,4	6,2	5,8	5,5	5,1	4,7	
5	0	3,7	3,6	3,5	3,5	3,4	3,3	3,2	
	—10	4,5	4,4	4,3	4,0	3,9	3,8	3,7	
	—20	5,6	5,4	5,2	5,0	4,9	4,6	4,4	
	—30	6,6	6,4	6,1	5,8	5,6	5,3	5,1	
	—40	7,1	6,8	6,6	6,3	6,1	6,0	5,6	
10	0	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
	—10	6,0	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,8	
	—20	6,7	6,6	6,6	6,5	6,5	6,4	6,3	
	—30	7,6	7,5	7,3	7,2	7,0	6,9	6,8	
	—40	8,1	8,0	7,9	7,7	7,5	7,4	7,2	
15	0	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5	7,7	7,7	
	—10	7,9	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1	8,3	
	—20	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,8	8,8	
	—30	9,4	9,4	9,4	9,4	9,3	9,3	9,3	
	—40	10,0	9,9	9,9	9,8	9,8	9,7	9,7	

через окна для 16-этажных зданий, ккал/(м²·ч·°С)

этаж									
8	9	10	11	12	13	14	15	16	
переплетами									
1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	
1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,5	0,2	
2,5	2,2	2,0	1,8	1,5	1,3	1,0	0,7	0,4	
3,0	2,7	2,4	2,1	1,7	1,5	1,1	0,8	0,5	
3,4	3,0	2,7	2,3	1,9	1,6	1,3	1,0	0,5	
2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	
2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,2	
3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,6	2,4	2,4	2,5	
3,9	3,6	3,4	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5	2,5	
4,2	4,0	3,8	3,4	3,1	2,9	2,7	2,6	2,7	
4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,7	
4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,9	
5,0	5,0	4,9	4,8	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	
5,4	5,3	5,2	5,1	5,0	5,0	5,0	5,1	5,3	
5,7	5,6	5,5	5,4	5,2	5,2	5,2	5,2	5,4	
6,3	6,3	6,4	6,5	6,6	6,6	6,7	6,9	7,3	
6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,7	
7,1	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,3	7,4	7,9	
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,7	8,2	
7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,9	8,4	
переплетами									
2,0	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,8	0,5	0,2	
2,5	2,3	2,1	1,8	1,5	1,3	1,0	0,7	0,4	
3,2	2,9	2,7	2,3	2,0	1,6	1,3	1,0	0,6	
3,7	3,3	3,0	2,7	2,4	2,0	1,5	1,1	0,6	
4,4	4,0	3,6	3,2	2,8	2,3	1,9	1,3	0,7	
3,1	3,0	3,0	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	
3,5	3,4	3,3	3,2	3,0	2,9	2,7	2,7	2,6	
4,1	3,9	3,7	3,4	3,3	3,2	3,0	3,0	3,0	
4,8	4,4	4,2	3,8	3,6	3,4	3,4	3,2	3,1	
5,2	4,9	4,7	4,1	3,8	3,7	3,3	3,3	3,3	
5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,9	
5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8	6,1	
6,2	6,2	6,1	6,0	6,0	6,0	6,0	6,2	6,3	
6,8	6,6	6,5	6,4	6,3	6,3	6,2	6,3	6,6	
7,1	7,0	6,9	6,7	6,5	6,5	6,4	6,5	6,8	
7,8	7,9	8,0	8,1	8,3	8,4	8,5	8,6	9,1	
8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7	8,8	9,0	9,4	
8,8	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1	9,3	9,8	
9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,4	9,5	9,7	10,2	
9,7	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,7	9,9	10,5	

Расходы тепла на инфильтрацию весьма значительны: чем выше здание, тем больше на дополнительные теплопотери за счет инфильтрации оказывают влияние перепад давлений между внутренним и наружным воздухом, а также воздействие ветра на наружные ограждения. При подаче нагретого приточного воздуха в лестничную клетку и лифтовую шахту эти теплопотери снижаются.

Рекомендации по учету добавочных теплопотерь за счет инфильтрации наружного воздуха предусматривают увеличение коэффициентов теплопередачи окон в зависимости от этажности здания, расчетной температуры наружного воздуха и скорости ветра в данной местности *. Расчетные коэффициенты теплопередачи окон в $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ с учетом инфильтрации для рассматриваемого этажа находят по формуле

$$k_p = k_0 + \Delta k_0 \text{ или } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_0} + \Delta \frac{1}{R_0} \quad (\text{I.25})$$

Приведем методику расчета теплопотерь в зданиях повышенной этажности, предложенную ЦНИИЭП жилища.

Расход тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха в $\text{ккал}/\text{ч}$ находят по формуле

$$Q_{\text{и}} = AcJ\Delta t = \Delta k_0 F_0 \Delta t = \Delta \frac{1}{R_0} F_0 \Delta t, \quad (\text{I.26})$$

где $\Delta k_0 = \frac{\Sigma AcJ}{F_0}$ — увеличение коэффициента теплопередачи окон, учитывающее

суммарную инфильтрацию наружного воздуха в помещение через щели оконных и дверных проемов, стыковые соединения конструктивных соединений панелей и пр., $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

A — поправка на влияние встречного потока тепла;

$c = 0,24$ — массовая теплоемкость воздуха, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

J — количество инфильтрующегося воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$;

$\Delta t = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$ — расчетная разность внутренней и наружной температуры воздуха, $^\circ\text{C}$;

F_0 — площадь окон, м^2 .

Для зданий, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, с обычной планировкой лестнично-лифтовых узлов и естественной вентиляцией при сопротивлении воздухопроницанию окон $R_{\text{и}} = 0,182 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм вод. ст})/\text{кг}$ добавки на инфильтрацию $\Delta \frac{1}{R_0}$ принимают по табл. I.22—I.25. Эти добавки даны в зависимости от этажности здания (16, 12, 9 и 5 этажей), расчетной температуры наружного воздуха $t_{\text{н}}$ (от -10 до -40°C) и скоростей ветра v (0, 5, 10 и 15 $\text{м}/\text{с}$). Если скорость ветра отличается от табличных значений, величину добавок $\Delta \frac{1}{R_0}$ принимают по линейной интерполяции. Если этажность проектируемого здания отличается от приведенной в таблицах, добавки $\Delta \frac{1}{R_0}$ следует принимать для зданий бóльшей этажности.

При сопротивлении воздухопроницанию окон, отличающемся от принятого в таблицах ($R_{\text{и}} = 0,182$), табличные значения добавок $\Delta \frac{1}{R_0}$ находят по формуле

$$\Delta \frac{1}{R'_0} = a \Delta \frac{1}{R_0}, \quad (\text{I.27})$$

где a — поправка, найденная по графику на листе I.4, рис. 2.

Табличные значения $\Delta \frac{1}{R_0}$ не учитывают бытовые тепловыделения, поскольку по СНиП II-Г.7—62 в помещениях предусматривается поддержание внутренней температуры воздуха $t_{\text{в}}$ только за счет системы отопления.

* Госстрой СССР, ЦНИИЭП жилища. Временные указания по определению расходов тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха в зданиях повышенной этажности. М., 1969; МПСМ СССР. НИИ санитарной техники. Рекомендации по учету добавочных теплопотерь в жилых зданиях повышенной этажности. М., 1969.

Таблица 1.23. Добавки $\Delta \frac{1}{R_0}$ при расчете теплопотерь через окна для 12-этажных зданий, ккал/(м²·ч·°С)

v, м/с	t _н , °С	Рассчитываемый этаж											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Окна с раздельными переплетами													
0	0	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3
	—10	2,8	2,6	2,4	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	0,9	0,7	0,4
	—20	3,6	3,4	3,1	2,0	2,6	2,3	2,1	1,7	1,5	1,2	0,9	0,4
	—30	4,3	4,0	3,8	3,5	3,2	2,8	2,5	2,1	1,8	1,4	1,1	0,6
	—40	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7	2,3	2,0	1,6	1,2	0,7
5	0	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0
	—10	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1
	—20	4,2	4,0	3,8	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,3
	—30	4,8	4,6	4,2	4,1	3,9	3,6	3,3	3,1	2,9	2,9	2,5	2,4
	—40	5,2	5,0	4,7	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0	2,8	2,6	2,4
10	0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,3
	—10	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,4	4,5
	—20	5,1	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,6	4,7
	—30	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7	4,7	4,9
	—40	6,0	5,9	5,8	5,6	5,5	5,4	5,3	5,1	5,0	4,9	4,9	5,0
15	0	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,7
	—10	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8
	—20	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8	6,9	7,0	7,2
	—30	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,2	7,5
	—40	7,5	7,5	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,3	7,3	7,3	7,4	7,7
Окна со спаренными переплетами													
0	0	2,5	2,3	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,3	1,0	0,8	0,6	0,3
	—10	3,4	3,2	3,0	2,7	2,5	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2	0,8	0,5
	—20	4,3	4,1	3,8	3,5	3,2	2,8	2,5	2,1	1,8	1,4	1,0	0,5
	—30	5,2	4,9	4,6	4,2	3,8	3,4	3,0	2,6	2,2	1,8	1,3	0,8
	—40	5,7	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,3	2,9	2,4	2,0	1,5	0,9
5	0	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4
	—10	4,2	4,1	3,9	3,8	3,6	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
	—20	5,0	4,9	4,6	4,4	4,2	4,0	3,7	3,5	3,2	2,9	2,9	2,8
	—30	5,8	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0	2,9
	—40	6,3	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0
10	0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,3
	—10	5,6	5,6	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3	5,4	5,5
	—20	6,3	6,2	6,2	6,1	6,0	5,9	5,8	5,7	5,7	5,6	5,6	5,8
	—30	7,0	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,2	6,1	5,9	5,9	5,9	6,0
	—40	7,4	7,3	7,1	7,0	6,8	6,7	6,5	6,4	6,2	6,1	6,1	6,2
15	0	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,3
	—10	7,6	7,7	7,7	7,7	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0	8,3	8,3	8,6
	—20	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,9
	—30	8,9	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,9	9,3
	—40	9,3	9,3	9,2	9,2	9,2	9,2	9,1	9,1	9,1	9,1	9,2	9,5

Таблица 1.24. Добавки $\Delta \frac{1}{R_0}$ при расчете теплопотерь через окна для 9-этажных зданий, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$

v, м/с	t _н , °C	Рассчитываемый этаж								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Окна с раздельными переплетами										
0	0	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,1
	—10	2,4	2,2	2,0	1,8	1,5	1,3	1,0	0,8	0,4
	—20	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	0,9	0,4
	—30	3,6	3,3	3,0	2,7	2,3	1,9	1,6	1,2	0,7
	—40	4,0	3,7	3,4	3,0	2,6	2,2	1,7	1,3	0,8
5	0	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8
	—10	3,1	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0
	—20	3,7	3,5	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2
	—30	4,2	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,7	2,4	2,3
	—40	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,2	2,8	2,6	2,4
10	0	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0
	—10	4,3	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2
	—20	4,8	4,7	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4
	—30	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7	4,7	4,5	4,5
	—40	5,5	5,4	5,3	5,1	5,0	4,9	4,7	4,7	4,7
15	0	5,5	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,9	6,0	6,2
	—10	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,5
	—20	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,7
	—30	6,6	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	7,0
	—40	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1
Окна со спаренными переплетами										
0	0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,7	0,5	0,1
	—10	3,0	2,7	2,4	2,2	1,9	1,6	1,3	0,9	0,5
	—20	3,6	3,4	3,1	2,7	2,4	2,0	1,6	1,1	0,6
	—30	4,4	4,1	3,6	3,2	2,8	2,4	1,9	1,4	0,8
	—40	5,0	4,6	4,2	3,7	3,3	2,7	2,2	1,6	1,0
5	0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2
	—10	3,8	3,6	3,4	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5
	—20	4,5	4,2	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
	—30	5,1	4,8	4,5	4,1	3,9	3,6	3,3	3,0	2,8
	—40	5,6	5,3	4,9	4,6	4,2	3,9	3,5	3,1	2,9
10	0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	5,0
	—10	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,2
	—20	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4
	—30	6,4	6,3	6,2	6,0	5,9	5,8	5,7	5,6	5,6
	—40	7,0	6,8	6,5	6,4	6,2	6,0	5,9	5,9	5,9
15	0	6,8	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3	7,7
	—10	7,4	7,4	7,5	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9
	—20	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0	8,0	8,1	8,3
	—30	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,7
	—40	9,1	9,0	9,0	8,9	8,9	8,9	8,9	9,0	9,1

Таблица I. 25. Добавки $\Delta \frac{1}{R_0}$ при расчете теплопотерь через окна 5-этажных зданий, ккал/(м²·ч·°С)

$v, \text{ м/с}$	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	Окна с раздельными переплетами					Окна со спаренными переплетами				
		Рассчитываемый этаж									
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	0	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	1,46	1,25	1,03	0,76	0,49
	—10	1,6	1,4	1,1	0,8	0,5	2,00	1,70	1,70	1,70	0,58
	—20	2,0	1,7	1,4	1,1	0,7	2,43	2,05	1,64	1,15	0,66
	—30	2,5	2,2	1,8	1,3	0,8	3,11	2,66	2,17	1,61	0,84
	—40	2,9	2,5	2,0	1,5	0,9	3,47	2,95	2,42	1,81	1,04
5	0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	2,38	2,27	2,17	2,07	1,97
	—10	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9	3,01	2,81	2,62	2,42	2,26
	—20	2,9	2,7	2,5	2,2	2,0	3,49	3,20	2,94	2,67	2,41
	—30	3,3	3,0	2,7	2,5	2,1	3,95	3,60	3,27	2,93	2,61
	—40	3,7	3,4	3,0	2,6	2,2	4,26	3,89	3,49	3,10	2,74
10	0	3,4	3,4	3,4	3,5	3,6	4,24	4,24	4,27	4,33	4,44
	—10	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	4,70	4,65	4,63	4,60	4,65
	—20	4,2	4,1	4,1	4,0	4,0	5,19	5,10	5,00	4,95	4,95
	—30	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2	5,6	5,4	5,3	5,2	5,2
	—40	5,0	4,8	4,6	4,4	4,4	6,1	5,8	5,6	5,5	5,4
15	0	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	6,46	6,57	6,65	6,78	6,98
	—10	5,6	5,6	5,7	5,8	5,9	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3
	—20	5,9	5,9	6,0	6,0	6,1	7,35	7,38	7,43	7,43	7,61
	—30	6,3	6,3	6,3	6,3	6,4	7,8	7,8	7,8	7,8	9,0
	—40	6,5	6,6	6,6	6,6	6,7	8,2	8,1	8,1	8,1	8,2

При расчете теплопотерь надбавки на ветер согласно табл. I.19 на окна не учитывают.

Пример I.12. Рассчитать теплопотери угловой жилой комнаты секции 16-этажного дома в г. Ереване на 1, 8, 12 и 16-м этажах (см. лист I.4, рис. 3). Наружные ограждения здания малой массивности: стены и перекрытия из сборных железобетонных панелей. Здание имеет чердак с асбестоцементной кровлей и неотапливаемый подвал без окон.

По табл. I.3 расчетные температуры наружного воздуха для г. Еревана $t_n = -19^\circ\text{С}$ и $t_{x.c} = -20^\circ\text{С}$; средняя скорость ветра за январь $v = 2,5 \text{ м/с}$; для угловой комнаты $t_b = 20^\circ\text{С}$.

Руководствуясь готовыми значениями величин R_0^{TP} (см. табл. I.8) для наружных ограждений, при разности расчетных температур $t_b - t_{x.c} = 20 + 20 = 40^\circ\text{С}$ требуемое сопротивление теплопередаче по табл. I.8 определим следующим образом: для наружных стен из слоистых панелей с учетом надбавки 20% при $\Delta t^n = 6^\circ\text{С}$ $R_0^{\text{TP}} = 0,88 \cdot 1,2 = 1,05 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)/ккал}$; для чердачного перекрытия при $\Delta t^n = 4^\circ\text{С}$ $R_0^{\text{TP}} = 1,18 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)/ккал}$; для перекрытия над неотапливаемым подвалом при $\Delta t^n = 2^\circ\text{С}$ $R_0^{\text{TP}} = 1,06 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)/ккал}$.

На основании табл. I.13 и I.15 принимаем такие конструкции:

наружные стены из трехслойных панелей в виде железобетонной оболочки, заполненной ячеистым бетоном ($\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$, $\delta = 100 \text{ мм}$); общая толщина панели $\delta = 250 \text{ мм}$; $R_0 = 1,12$, $1/R_0 = 0,89$;

чердачное перекрытие из многослойных железобетонных плит, утепленных трепелом ($\delta = 150 \text{ мм}$); $R_0 = 1,29$, $1/R_0 = 0,77$;

перекрытие над подвалом — паркетный пол по асфальтовой мастике, утепленный трепелом ($\delta = 100$ мм) по железобетонным сборным плитам; $R_0 = 1,16$, $1/R_0 = 0,86$;

окна и балконные двери с двойными спаренными переплетами по табл. I.16 имеют $1/R_0 = 2,7$.

Далее по табл. I.22 находим значение добавок для окон и балконных дверей при спаренных переплетах ($t_n = -20^\circ \text{C}$, $v = 5$ м/с), которые соответственно равны: для 1-го этажа — 4,6; для 8-го — 3,4; для 12-го — 2,6 и для 16-го этажа — 2,5. При расчете теплопотерь приняты надбавки по табл. I.19: на ветер — 5%, на угловое помещение — 5% и на страны света — согласно ориентации здания, указанной на листе I.4, рис. 3. Для окон надбавки на ветер не учитываются. Результаты расчета теплопотерь для жилых комнат при $t_v = 20^\circ \text{C}$ приведены в табл. I.26.

Таблица I.26. Расчет теплопотерь в здании повышенной этажности

Номер помещения	Ограждения								Множитель надбавки	Q, ккал/ч
	Страны света	Название	Размеры, м	Площадь F, м²	$\frac{1}{R_0}$	$\Delta \frac{1}{R_0}$	$\frac{1}{R_p}$	$t_v - t_n$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
115	С	НС	5,45×2,7	14,7	0,89	—	—	39	1,2	610
	В	НС	3,75×2,7	12,5	0,89	—	—	39	1,2	520
	В	ДО	1,5 × 1,8	2,7	1,81	4,6	6,41	39	1,15	775
	—	ПЛ	5,2 × 3,5	18,2	0,86	—	—	39	0,4	245
Σ										2150
815	С	НС	5,45×2,7	14,7	0,89	—	—	39	1,2	610
	В	НС	3,75×2,7	12,5	0,89	—	—	39	1,2	520
	В	ДО	1,5 × 1,8	2,7	1,81	3,4	5,21	39	1,15	630
	В	БД	0,8 × 2,5	2,0	1,81	3,4	5,21	39	1,15	470
Σ										2230
1215	С	НС	5,45×2,7	14,7	0,89	—	—	39	1,2	610
	В	НС	3,75×2,7	12,5	0,89	—	—	39	1,2	520
	В	ДО	1,5 × 1,8	2,7	1,81	2,6	4,41	39	1,15	535
	В	БД	0,8 × 2,5	2,0	1,81	2,6	4,41	39	1,15	395
Σ										2070
1615	С	НС	5,45×2,7	14,7	0,89	—	—	39	1,2	610
	В	НС	3,75×2,7	12,5	0,89	—	—	39	1,2	520
	В	ДО	1,5 × 1,8	2,7	1,81	2,5	4,31	39	1,15	520
	В	БД	0,8 × 2,5	2,0	1,81	2,5	4,31	39	1,15	385
	—	ПТ	5,2 × 3,5	18,2	0,77	—	—	39·0,9	—	490
Σ										2525

Примечания 1 БД — балконная дверь. Все остальные обозначения расшифрованы в примечании к табл. I.21.

2. В графе 6 дана разность расчетных величин $1/R_0$ окон, балконных дверей и наружных стен

II. ПЕЧНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ПЕЧЕЙ

Классификация печей

В районах, где отсутствуют сети централизованного теплоснабжения, печное отопление допускается устраивать в одно- и двухэтажных жилых зданиях (СНиП II-Л.1—71), одноэтажных клубах со зрительными залами на 200 мест и менее (СНиП II-Л.16—71), одноэтажных банях вместимостью 50 мест и менее (СНиП II-Л.13—62) и в других одноэтажных зданиях, если это разрешается соответствующими главами СНиП. Не допускается устройство печного отопления в спальнях корпусах для детей (СНиП II-Л.12—68), а также в зданиях и помещениях, отнесенных по пожарной опасности к категории А, Б и В.

Применяемые печи классифицируют следующим образом.

По назначению:

отопительные;

отопительно-варочные;

кухонные плиты квартирного типа с отопительными щитками;

русские печи.

По теплостойкости:

теплостойкие — с активным объемом 0,2 м³ и более и толщиной внешних стенок не менее 6 см в области топливника и 4 см в прочих местах; могут быть толстостенные с толщиной стенок топливника 12 см и более (табл. II.1, разд. I, II, III, V, VI) и тонкостенные с толщиной стенок топливника до 12, — а остальных наружных стенок до 7 см (табл. II.1, разд. IV, VII—XII). Активный объем печи (без вычета пустот) определяется как произведение площади горизонтального сечения кладки и активной высоты печи (от площади колосниковой решетки или дна дымооборота до верхней плоскости перекрыши при толщине ее не более 14 см или до нижней плоскости перекрыши при толщине более 14 см);

нетеплостойкие — с активным объемом менее 0,2 м³ в основном переносные металлические, иногда снабженные футеровкой толщиной до 4 см (табл. II.3).

По температуре нагрева стенок:

умеренного прогрева — с максимальной температурой в отдельных точках наружной поверхности до 80—90° С (табл. II.1, разд. I—VI);

повышенного прогрева — с максимальной температурой в отдельных точках наружной поверхности стенок до 120° С при средней температуре всей поверхности до 90° С (табл. II.1, разд. VII—XII);

высокого прогрева — с более высокими температурами поверхности (нетеплостойкие печи, табл. II.3).

По длительности горения топлива:

с кратковременной периодической топкой продолжительностью от 1 до 3 и 1—2 раза в сутки (табл. II.1, разд. I—X);

длительного (непрерывного) горения с загрузкой топлива 1—2 раза в сутки (табл. II.1, разд. XI—XII);

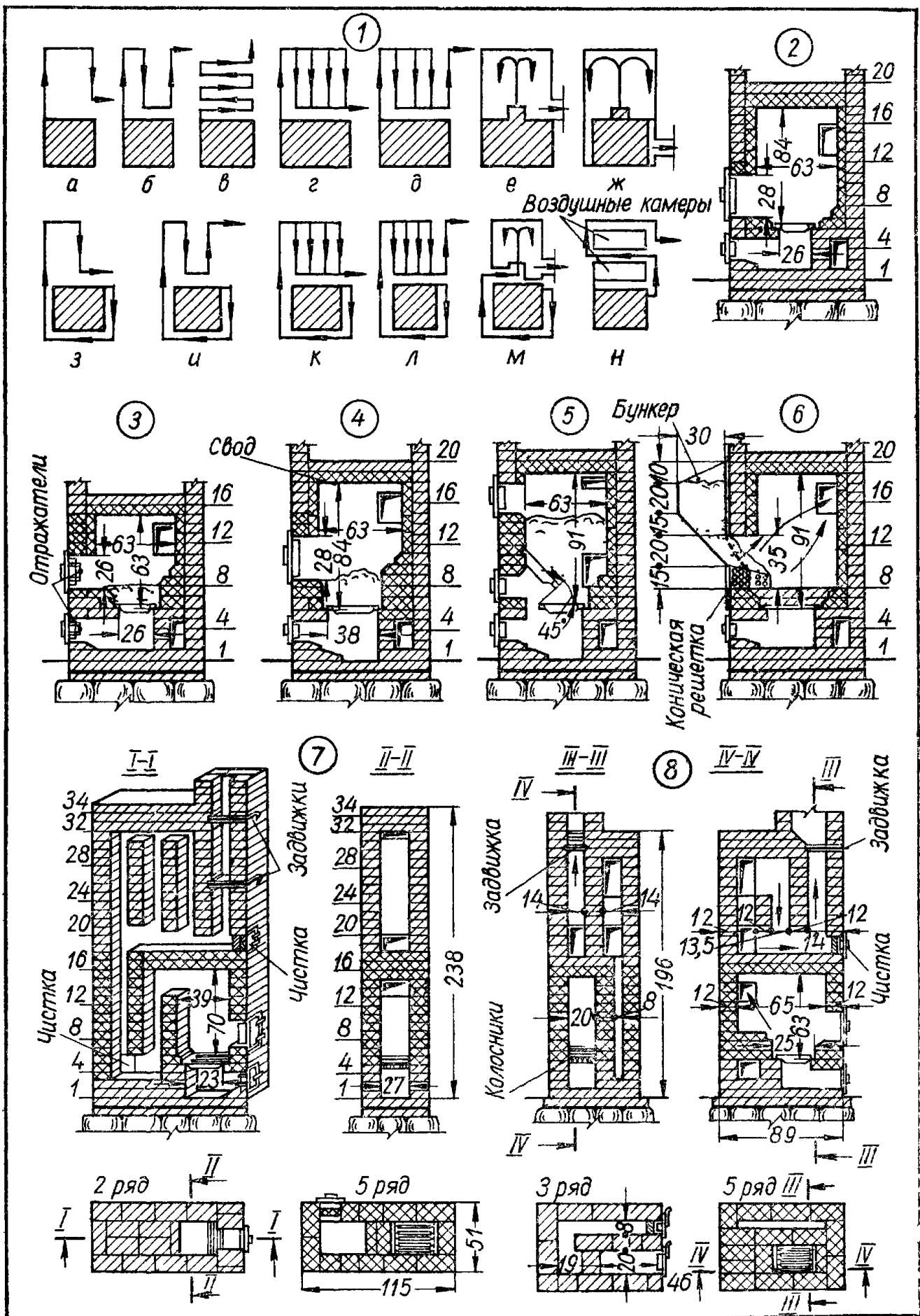
затяжного горения за счет уменьшения подачи воздуха (табл. II.3, печи № 4, 5).

По схеме движения дымовых газов:

с каналами, соединенными последовательно (однооборотные — лист II.1, рис. 1, а и двухоборотные — лист II.1, рис. 1, б), например, печи ОПТ-1, ОПТ-2, № 2, ОКПП-1, МВМС-61 и МВМС-62 в табл. II.1;

с каналами, соединенными параллельно (однооборотные — лист II.1, рис. 1, г и двухоборотные — лист II.1, рис. 1, д), например, печи ОКПП-2, ОКПП-3, ОКПП-4, МВМС-65, МВМС-303, МВМС-306, МВМС-307, МВМС-403, МВМС-406, МВМС-407, ББУ-2, ББУ-3 и ББУ-4 в табл. II.1;

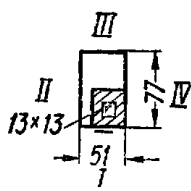
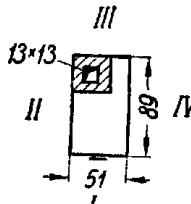
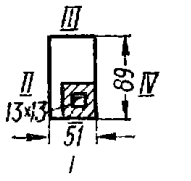
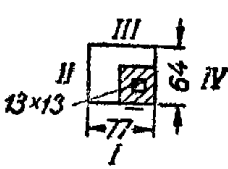
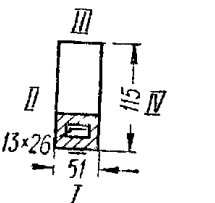
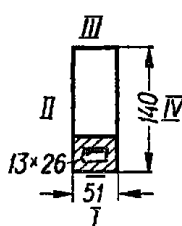
многооборотные (лист II.1, рис. 1, е) в перечень рекомендованных не включены, так как обладают рядом недостатков;



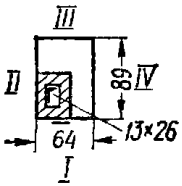
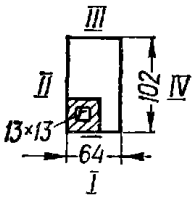
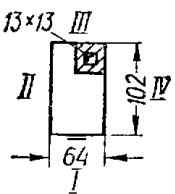
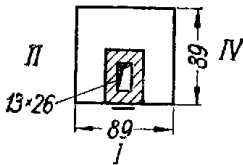
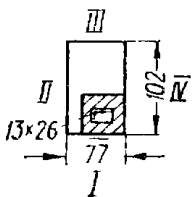
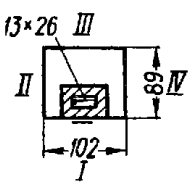
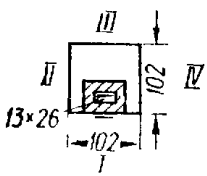
Лист II.1. Отопительные печи:

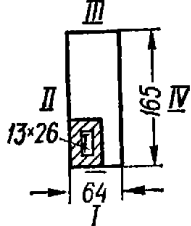
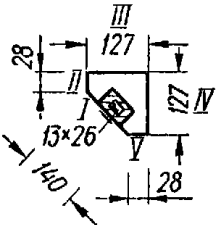
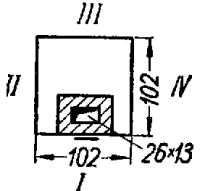
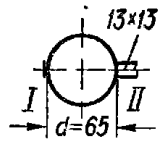
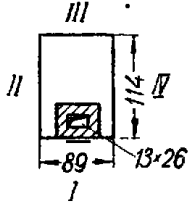
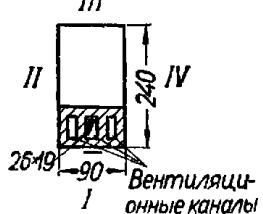
I — схемы движения дымовых газов в печах, 2 — топливник для дров, 3 — топливник для антрацита марки АК, 4 — топливник для бурого угля марки БК и кускового торфа с влажностью до 25%, 5 — топливник для торфа повышенной влажности, 6 — топливник для лузги и опилок, 7 — печь ОПТ 3, 8 — печь № 6.

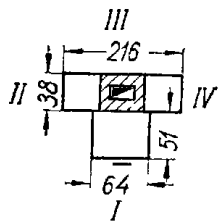
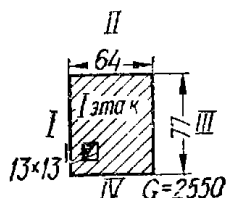
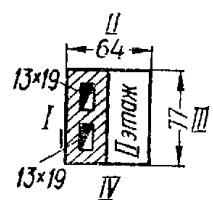
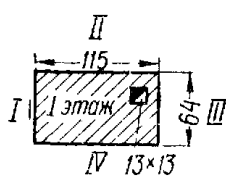
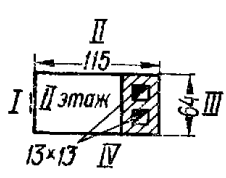
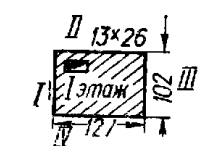
Таблица II.1. Теплоемкие отопительные печи

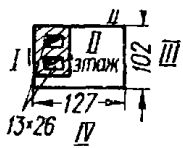
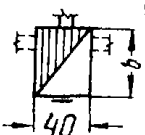
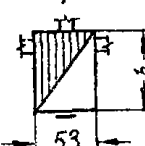
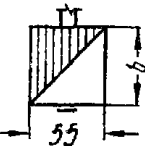
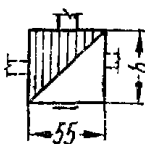
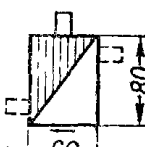
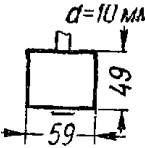
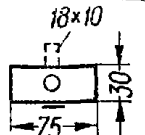
Марка и план печи	Стенка печи (см. эскиз)	Среднечасовая теплоотдача *, ккал/ч	
		Q ₁	Q ₂
I. Печи кирпичные, прямоугольные, толстостенные, оштукатуренные, с насадной трубой			
ОПТ-1 	I	205	340
	II	325	540
	III	205	340
	IV	325	540
	Всего	1060	1760
ОПТ-2 	I	200	335
	II	380	635
	III	200	335
	IV	380	635
	Всего	1160	1940
№ 2 	I	265	400
	II	460	700
	III	265	400
	IV	460	700
	Всего	1450	2200
№ 4 	I	410	670
	II	320	520
	III	410	690
	IV	310	520
	Всего	1450	2400
ОПТ-3 	I	170	285
	II	530	880
	III	170	285
	IV	530	880
	Всего	1400	2330
ОПТ-4 	I	170	280
	II	550	920
	III	170	280
	IV	550	920
	Всего	1440	2400

* Среднечасовая теплоотдача приведена при одной (Q_1) и двух (Q_2) топках в сутки

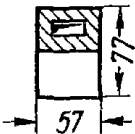
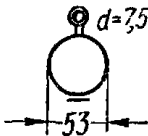
Марка и план печи	Стенка печи (см. эскиз)	Среднечасовая теплоотдача, ккал/ч	
		Q_1	Q_2
№ 6 	Всего На 1 м периметра	1800 593	2700 882
ОПТ-5 	I II III IV	270 575 310 575	415 900 475 900
	Всего	1730	2690
ОПТ-6 	I II III IV	310 575 270 575	475 900 415 900
	Всего	1730	2690
ОПТ-7 	Всего На 1 м периметра	1860 520	2870 810
ОПТ-8 	I II III IV	405 595 405 595	610 900 610 900
	Всего	2000	3020
ОПТ-9 	I II III IV	530 600 530 600	800 910 800 910
	Всего	2260	3420
ОПТ-10 	I II III IV	660 625 625 625	1000 950 950 950
	Всего	2535	3850

Марка и план печи	Стенка печи (см. эскиз)	Среднечасовая теплоотдача, ккал/ч	
		Q_1	Q_2
ОПТ-11 	I II III IV	330 1060 350 1060	490 1430 520 1570
	Всего	2800	4150
II. Печь кирпичная, угловая, толстостенная, оштукатуренная, с насадной трубой			
ОУТ-1 	I II III IV V	1200 200 1020 1020 200	1800 300 1550 1550 300
	Всего	3640	5500
III. Печь толстостенная, изразцовая, квадратная			
ОПТИ-1 	Всего	2700	4150
	На 1 м периметра	660	1015
IV. Печи кирпичные в металлическом футляре			
ОЦФ-1 	I II	480 420	800 700
	Всего	900	1500
ОПФ-1 	Всего	2350	3920
	На 1 м периметра	575	960
ОПФ-2 	Всего	3330	5550
	На 1 м периметра	500	835

Марка и план печи	Стенка печи (см. эскиз)	Среднечасовая теплоотдача, ккал/ч	
		Q ₁	Q ₂
V. Печь кирпичная, толстостенная с выносным топливником, оштукатуренная, с насадной трубой			
ОВТТ-1 	I	740	1240
	II	140	230
	III	1080	1800
	IV	140	230
	Всего	2100	3500
VI. Печи двухъярусные, кирпичные, прямоугольные, толстостенные, оштукатуренные			
ОПТД-1, 1-й ярус 	I	410	670
	II	320	520
	III	410	690
	IV	310	520
	Всего	1450	2400
То же, 2-й ярус 	I	335	560
	II	240	400
	III	350	580
	IV	275	460
	Всего	1200	2000
ОПТД-2, 1-й ярус 	I	370	560
	II	680	1040
	III	370	560
	IV	680	1040
	Всего	2100	3200
То же, 2-й ярус 	I	305	480
	II	510	800
	III	95	150
	IV	580	910
	Всего	1490	2340
ОПТД-3, 1-й ярус 	I	720	1100
	II	860	1300
	III	660	1000
	IV	860	1300
	Всего	3100	4700

Марка и план печи	Стенка печи (см. эскиз)	Среднечасовая теплоотдача, ккал/ч	
		Q_1	Q_2
ОПТД-3, 2-й ярус 	I	490	770
	II	580	900
	III	640	1000
	IV	770	1200
	Всего	2480	3870
VII. Печи повышенного прогрева каркасные			
 ОКПП-1 МВМС-61 МВМС-62	Всего	550	1000
		700	1300
 ОКПП-2, МВМС-63 ОКПП-3, МВМС-64 МВМС-65 ОКПП-4, МВМС-66	Всего	900	1500
		1200	2000
		1500	2500
		1800	3000
VIII. Печи повышенного прогрева из изразцовых блоков			
 МВМС-303 МВМС-306 МВМС-307	Всего	1080	1800
		1800	3000
		2400	4000
IX. Печи повышенного прогрева из изразца «Монолит»			
 МВМС-403 МВМС-406 МВМС-407	Всего	1080	1800
		1800	3000
		2400	4000
X. Печи повышенного прогрева — сборные из бетонных блоков (конструкции ЦНИЛ-3)			
 ББУ-2 ББУ-3 ББУ-4	Всего	1200	2000
		1800	3000
		2400	4000
XI. Печи длительного горения для твердого топлива			
 АКХ-9	Всего	200 *	—
 ИБД-1 ИБД-2	Всего	1650 *	—
		2000 *	—

* Максимальная теплоотдача при длительном горении.

Марка и план печи	Стенка печи (см эс-кнз)	Среднечасовая теплоотдача, к ₁ ал/ч	
		Q ₁	Q ₂
XII. Газовые печи длительного горения			
 АКХ-14	Всего	3000*	—
 АКХ-СМ1		1700*	—

Примечания 1 Рабочие чертежи печей помещены в следующих литературных источниках: Альбом отопительных и бытовых печей, ч I Печи отопительные. М., Госстройиздат, 1961 (печи марок ОПТ, ОУТ, ОЛГИ, ОУФ, ОЛФ, ОБТТ, ОП1Д, ОКПП, ББУ, АКХ, ИБД) Л. А. Семенов Печное отопление М., Госстройиздат, 1968 (печи марок МВМС, № 2, 4, 6, АКХ-14, АКХ СМ1), Ю. П. Соснин Газовые отопительные и отопительно-варочные печи М., Стройиздат, 1965 (печь марки АКХ СМ1)

2 Чертежи каркасных печей повышенного прогрева (индекс ОКПП) имеются также и для варианта печи в футляре из кровельной стали

3 Печи ОПТ-5, ОПТ-6, ОЦФ-1, АКХ-9 следует применять только для тощих углей, антрацита и кокса. Все остальные печи, кроме газовых, пригодны для сжигания длиннопламенного топлива (дров, торфа, торфяных брикетов)

4 Большинство приведенных в таблице печей вошло в Перечень рекомендованных печей для жилых и общественных зданий Центрального института информации по строительству Госстроя СССР (М., Госстройиздат, 1952)

5. Высота толстостенных печей и печей в металлическом футляре (разделы I—VI) может меняться в зависимости от высоты помещения

6. Ширина печей b указана в табл II 2.

бесканальные колпаковые (лист II.1, рис. 1, *е, ж*), например, печи ОПТ-5, ОПТ-6 и ОЦФ-1 в табл II.1;

смешанные комбинированные нижнего прогрева (лист II.1, рис. 1, *з, и, к, л, м*), например, печи ОПТ-3, ОПТ-7, ОПТ-8, ОПТ-9, ОПТ-10, ОПТ-11, ОУТ-1, ОПТИ-1, ОПФ-1, ОПФ-2, ОПТД-1, ОПТД-2, ОПТД-3, № 4 и 6 в табл II.1;

с воздухонагревательными камерами (лист II.1, рис. 1, *н*), например, печь ОПТД-2 в табл II.1.

Классификация печей по форме в плане, этажности, характеру отвода дыма, материалу и отделке внешней поверхности указана в табл. II 1

Печи оборудуются топливниками, приспособленными для сжигания с наименьшими потерями заданного вида топлива. В современных печах топливник для сжигания всех видов твердого топлива имеет колосниковую решетку и поддувало для равномерного подвода воздуха в толщу топлива, сгорающего на колосниковой решетке. Количество поступающего воздуха регулируется поддувальной дверцей и задвижкой на дымоотводящем канале печи. Топливники с глухим подом применять не следует. Перекрытие топочной камеры целесообразно устраивать глухим, а отверстие для выхода продуктов сгорания (хайло) располагать в стенке. При такой схеме перекрытие, накаляясь, способствует дожиганию летучих продуктов сгорания, а при повороте в хайло они лучше перемешиваются с воздухом, что увеличивает полноту сгорания.

Размеры основных элементов топливника зависят от свойств и количества сжигаемого топлива и определяются тепловым расчетом печи с обязательным последующим лабораторным испытанием

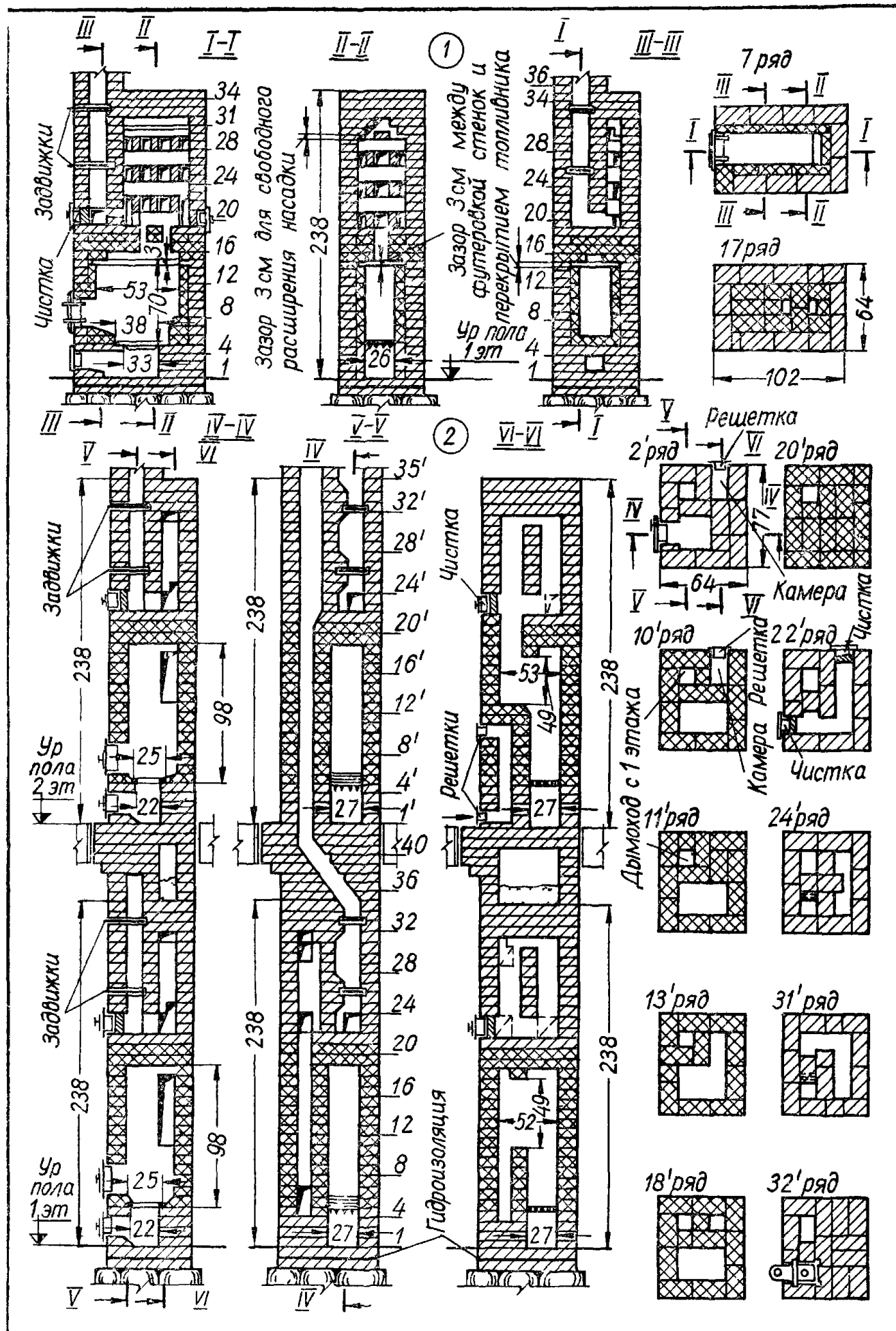
Топливники большинства рекомендованных конструкций отопительных печей в достаточной мере универсальны и допускают сжигание нескольких видов топлива.

* Максимальная теплоотдача при длительном горении.

Т а б л и ц а П.2. Показатели теплоемких отопительных печей

Марка печи	G , кг	M_1	M_2	Марка печи	b , см	H , см	h , см	G , кг	M_1	M_2
ОПТ-1	1380	0,94	0,42	ОКПП-1	40	146	68	320	2,0	0,95
ОПТ-2	1686	0,75	0,29	МВМС-61	40	146	68	320	2,0	0,95
№ 2	1500	0,8	0,3	МВМС-62	52	146	68	378	1,8	0,85
№ 4	1600	0,7	0,25	ОКПП-2	53	163	80	610	1,3	0,6
ОПТ-3	2670	0,8	0,32	МВМС-63						
ОПТ-4	2150	0,7	0,27	ОКПП-3	66	163	80	730	1,1	0,5
№ 6	1500	—	~ 0,2	МВМС-64						
ОПТ-5	2550	0,55	0,2	МВМС-65	79	163	80	800	1,0	0,44
ОПТ-6	2550	0,55	0,2	ОКПП-4	79	200	80	1020	0,9	0,4
ОПТ-7	2800	0,5	0,2	МВМС-66	55	174	100	610	—	0,45
ОПТ-8	3000	0,6	0,23	МВМС-303	77	196	100	1050	—	0,32
ОПТ-9	3670	0,55	0,19	МВМС-306	99	210	90	1450	—	0,28
ОПТ-10	3670	—	0,17	МВМС-307	55	174	100	590	—	0,5
ОПТ-11	3720	0,5	0,18	МВМС-403	77	204	114	950	—	0,4
ОУТ-1	4600	—	0,14	МВМС-406	99	218	90	1400	—	0,38
ОПТИ-1	3550	0,47	0,15	МВМС-407						
ОЦФ-1	1090	0,75	0,29	ББУ-2	—	160	85	930	—	0,5
ОПФ-1	2750	0,76	0,3	ББУ-3	—	205	120	1200	—	0,4
ОПФ-2	6150	0,45	0,13	ББУ-4	—	250	150	1450	—	0,38
ОВГТ-1	3540	—	0,12	АКХ-9	—	105	—	320	—	—
ОПТД-1	2550	0,7	0,27	ИБД-1	—	132	—	380	—	—
	1640	0,7	0,27	ИБД-2	—	159	—	460	—	—
ОПТД-2	3660	0,6	0,22	АКХ-14	—	203	—	1200	—	—
	2600	0,6	0,22	АКХ-СМ1	—	102	—	108	—	—
ОПТД-3	5700	—	0,14							
	4600	—	0,15							

П р и м е ч а н и е. Принятые буквенные обозначения: G — масса печи, M_1 и M_2 — коэффициенты неравномерности теплоотдачи печи при одной и двух топках в сутки (при топке антрацитом M уменьшается на 25%), H — высота от пола до низа дымохода, h — высота печи, b — ширина печи по эскизам табл. II.1.



Лист II 2. Печи умеренного прогрева:
1 — ОПТ 5, 2 — двухъярусная ОПТД 1

Однако для таких видов топлива, как бурый уголь, торф повышенной влажности мелкие отходы и газовое топливо требуются топливники со специальными приспособлениями, иногда с частичным изменением конструкции печи. Отличительные особенности топливников печей периодического действия для разных видов твердого топлива приведены на листе II.1, рис. 2—6.

Отопительные печи

Из большого числа теплосъемных отопительных печей допускается применять только печи, прошедшие лабораторные испытания и проверенные на практике (табл. II.1 и II.2, лист II.1, рис. 7, 8 и листы II.2 и II.3).

Основные размеры и теплоотдача испытанных и проверенных конструкций и теплосъемных отопительных печей и присоединенных к ним труб указана в табл. II.3 и II.4. Пример установки нетеплосъемной печи высокого прогрева во временном помещении приведен на листе II.5, рис. 6.

Таблица II.3. Показатели нетеплосъемных печей (по данным Л. А. Семенова)

Тип печи и размеры, мм	Расход дров, кг/	Коэффициент полезного действия η	Теплоотдача, ккал/ч	Поверхность нагрева, м ²	Особенности конструкции
Цилиндрическая из кровельной стали: модель № 1 ($d = 445$; $h = 700$)	4,8	0,5	8000	1,0	Без футеровки
	3,0	0,45	4500	1,0	С футеровкой в 1/4 кирпича
модель № 2 ($d = 330$; $h = 700$)	3,6	0,5	6000	0,7	Без футеровки
модель № 3 ($d = 330$; $h = 420$)	3,0	0,45	4500	0,4	То же
«Циклон»: модель № 1 ($d_{\text{топл}} = 405$; $d_{\text{циклона}} = 450$; $h = 950$)	3,5	0,7	8000	2,3	Без футеровки
	3,1	0,69	7000	2,3	С футеровкой в 4 см
модель № 2 ($d_{\text{топл}} = 270$; $d_{\text{циклона}} = 310$; $h = 900$)	2,5	0,75	6000	1,48	Без футеровки
Цилиндрическая чугунная ($d \approx 350$, $h \approx 600$)	2,7	0,14	4000	0,45	То же
Цилиндрическая с шамотными вкладышами ($d = 370$; $h = 930$)	—	—	2000—3000	—	С футеровкой
Печь-временка затяжного горения ($d = 465$; $h = 790$) для опилок влажностью 34 %	—	—	1370	—	Без футеровки

Цилиндрическая печь из кровельной стали наиболее простой конструкции отапливается дровами. К печи можно присоединить до 8 м труб, увеличивающих теплоотдачу. В зависимости от основных размеров печь может быть трех моделей.

Печь «Циклон» из кровельной стали — разборной конструкции (удобна для транспортирования) и предназначена для топки дровами. Благодаря наличию циклона-экономайзера она имеет повышенный коэффициент полезного действия и не дает искр. Циклон-экономайзер соединен с топливником патрубком.

Таблица II.4. Средняя теплоотдача стальных труб, присоединяемых к нетеплоемким печам, приведенным в табл. II.3

Диаметр трубы, мм	Средняя теплоотдача 1 м трубы, ккал/ч	Диаметр трубы, мм	Средняя теплоотдача 1 м трубы, ккал/ч
80	250	120	380
90	280	130	410
100	310	140	440
110	350		

Цилиндрическая чугунная печь отапливается каменным углем и антрацитом.

Цилиндрическая печь затыжного горения с футеровкой шамотными вкладышами пригодна для сжигания антрацита, кокса, брикетов, бурого и каменного угля. Продолжительность горения одной загрузки бурого угля массой 8—10 кг составляет 10—12 ч.

Печь-временка затыжного горения предназначена для сжигания мелких отходов и применяется для отопления временных помещений и сушки зданий.

Отопительно-варочные печи

Отопительно-варочная печь представляет собой сочетание в одном массиве отопительной печи с кухонным очагом. В конструкциях этих печей обычно предусматривается возможность (путем переключения соответствующих задвижек) в летнее время пользоваться только очагами, а в зимнее время одновременно обогревать весь массив печи. Пары и газы, выделяющиеся в процессе приготовления пищи, конструкцией печи предусмотрено удалять в дымовой канал, но лучше во избежание ухудшения тяги устраивать отдельный канал (рядом с дымовым). Достоинство таких печей заключается в компактности и экономии топлива.

Отопительно-варочные печи бывают толстостенными (лист II 4, рис. 1) и тонкостенными в металлическом каркасе (лист II.4, рис. 2).

Основные сведения по проверенным и испытанным отопительно-варочным печам приведены в табл. II 5.

Кухонные плиты квартирного типа и отопительные щитки

Широко распространены кухонные плиты квартирного типа, коэффициент полезного действия которых не превышает 0,5—0,6. Наиболее рациональны плиты заводского изготовления, что соответствует современным требованиям к оборудованию кухонь индивидуальных квартир. Применяются плиты тонкостенные в стальном каркасе и толстостенные кирпичные и сборно-блочные из жароупорных блоков.

Комбинируя плиты с отопительными щитками, можно использовать до 35% тепла, уходящего из плиты с дымовыми газами, что составляет 200—300 ккал/ч. В случае необходимости увеличения теплоотдачи можно применять щиток с самостоятельной топкой.

Основные показатели плит и отопительных щитков к ним приведены в табл. II 6. Конструкция плиты КП-4 дана на листе II.4, рис. 3.

Комбинированные плиты, состоящие из плиты для приготовления пищи и котла-водонагревателя, получили значительное распространение. Более подробные сведения и конструкции комбинированных плит приведены в разделе IV «Горячее водоснабжение».

Русские печи

Русская печь является универсальным тепловым прибором для отопления и различных хозяйственных целей. Она обеспечивает хорошую вентиляцию помещения, а по затрате тепла на приготовление пищи весьма экономична.

Таблица II.5. Характеристика некоторых конструкций отопительно-варочных печей

№ п.п.	Название печи и ее размеры, см	$\frac{Q_2}{M_2}$	Оборудование
Печи толстостенные оштукатуренные с насадной трубой			
1	Ш-1, Л. А. Коробанова и Н. И. Самарина (102×77×231)	$\frac{3200}{0,23}$	Чугунная плита 80×41 см; духовой шкаф 35×50×35 см
2	Ш-2, Т. Ф. Волкова (102×89××224)	$\frac{3400}{0,22}$	Плита 50×50 см; духовой шкаф 30×50×26 см; водогрейная коробка
3	И. И. Белякова (113×63×182)	$\frac{2700}{—}$	Плита; два духовых шкафа
4	Ш-6 двухъярусная: верхний ярус (102×64××224)	$\frac{2300}{0,25}$	Плита 50×40 см; духовой шкаф 35×50×26 см (возможен вариант и без духового шкафа)
	нижний ярус (102×64××224)	$\frac{2800}{0,25}$	То же
5	Ш-5 одноярусная (102×64××224)	$\frac{2800}{0,25}$	»
Печи тонкостенные с отводом дыма в стенной канал или коренную трубу			
6	Укргипросельстроя (50×75××201)	$\frac{1850}{—}$	Плита в открытой с двух сторон вентилируемой камере; духовка; водогрейная коробка
7	МВМС-103 (52×52×155)	$\frac{1500}{0,6}$	Духовой шкаф-термос 25×40××25 см
8	МВМС-204 (64×64×168)	$\frac{2500}{0,55}$	Чугунная плита 50×36 см; духовой шкаф 32×32×20 см; водогрейная коробка на 18 л; тепловой сушильный шкаф
9	МВМС-208 (70×60×158)	$\frac{2000}{0,65}$	Чугунная плита 55×60 см — на нижнем массиве печи, духовой шкаф 35×30×32 см — на верхнем массиве; водогрейная коробка на 9 л

Примечания. 1. Чертежи печей 1, 2, 4 и 5 приведены в Альбоме отопительных и бытовых печей. ч. II (М., Госстройиздат, 1962); чертежи печей 7, 8 и 9 — в книге Л. А. Семенова. «Печное отопление» (М., Госстройиздат, 1968), чертежи печей 3 и 6 — в книге В. П. Протопопова «Печные работы» (К., Госстройиздат УССР, 1961).

2. Печь Укргипросельстроя оштукатуренная, не индустриальная. Печи типа МВМС в металлическом каркасе, облицованные асбофанерой. Плиты печей 1—4 и 8 расположены в камере с дверцами и вытяжным отверстием.

3. Печи 7—9 выполняются с отводом дыма сзади или сбоку.

4. Для печи 3 возможны четыре режима топки.

Русские печи бывают различных конструктивных решений; некоторые из них представлены на листе II.4, рис. 5, 6, 7. Существенным недостатком таких печей является отсутствие прогрева нижнего пояса, что не обеспечивает прогрев нижней зоны помещения. Этот недостаток устранен в печах № 3, 4, 5 и 6 (табл. II.7).

Основной частью всех конструкций русских печей является варочная камера, используемая для приготовления пищи, выпечки хлеба, сушки овощей и т. п., а также применяемая как термос для длительного сохранения пищи в нагретом состоянии. В варочной камере можно сжигать дрова, кусковой торф, хворост, солом, камыш. Некоторые конструкции печей снабжаются дополнительной

топкой с колосниковой решеткой для сжигания любого топлива, в том числе и каменного угля. Ряд конструкций комбинируется с плитой, имеющей отдельную топку, со щитком или нижним обогревателем.

Т а б л и ц а П. 6. Характеристика конструкций плит и отопительных щитков на твердом топливе

Характеристика и марка	Размеры, см	Теплоотдача Q_2 , ккал/ч	Дополнительные устройства	Способ изгото- вления
Кухонные плиты				
Конструкции НИИСТ и Кировского чугуноли- тейного завода (ПБ-3)	66×60×85	850	Духовой шкаф	Заводской
Модель Ужгородского завода «Газоаппарат» МКТ	97×60×85	—		
КП-2	107×69×74	800		
В каркасе	79×54×78	—		Полузавод- ской
Толстостенная, кирпич- ная КП-3	102×64×77	900		
То же, КП-4 (лист II.4, рис 3)	115×64×77	1000	Духовой шкаф и водогрейная коробка	Выполняет- ся на месте
То же, КПОЩ со щит- ком с подтопком	140×102×77 (высота щитка — 217)	3100	Духовой шкаф, водогрейная коробка и вен- тиляционный канал	
Отопительные щитки				
В каркасе ОЩК-1	73×34×193	500—1200 *	Вентиляцион- ный канал	Полузавод- ской
Толстостенный, кирпич- ный ОЩ-1 (лист II.4, рис. 4)	89×38×224	200—300		Выполняет- ся на мес- те
То же, двухъярусный ОЩ-3	115×38×224 (каждого яруса)	200—300 (каждого яруса)		

П р и м е ч а н и е Чертежи всех плит и щитков кроме плиты в каркасе, приведены в Альбоме отопительных и бытовых печей, ч. II (М., Госстройиздат, 1962), а плиты в каркасе — в книге Л. А. Семенова «Печное отопление» (М., Госстройиздат, 1968)

* Теплоотдача зависит от продолжительности топки.

Таблица II.7. Характеристика конструкций русских печей

№ п.п.	Тип печи	Размеры в плане, см	Высота, см		Теплоотдача, ккал/ч		Дополнительные устройства
			основной части	фасадной части	Q_1	Q_2	
1	Обыкновенная (лист II.4, рис. 5)	127×165	154	238	2100	3000	—
2	Улучшенная (лист II.4, рис. 6 и 7)	153×165 и 140×165	154	238	3600	5100	Плиты с топкой, водогрейная ко- робка, щиток или щиток с топкой
3	Конструкции В. П. Протопопова	120×150	147	175	—	—	Плита с топкой, щиток с топкой, водогрейная ко- робка
4	Конструкции И. С. Подгородни- кова: «Теплушка-2»	129×168	154	224	2800	4000	Дополнительная топка, нижний обогреватель, во- догрейная корб- ка
	«Теплушка-4»	128×128	154	224	3000	—	То же, и плита с топкой
5	Конструкции И. И. Ковалевско- го	128×145	189	231	4500	—	Дополнительная топка, обогрева- тель, плита с топ- кой

Примечания 1 Коэффициент неравномерности теплоотдачи печей при одной топке в сут-
ки $M_1 = 0,35$, при двух топках $M_2 = 0,1$

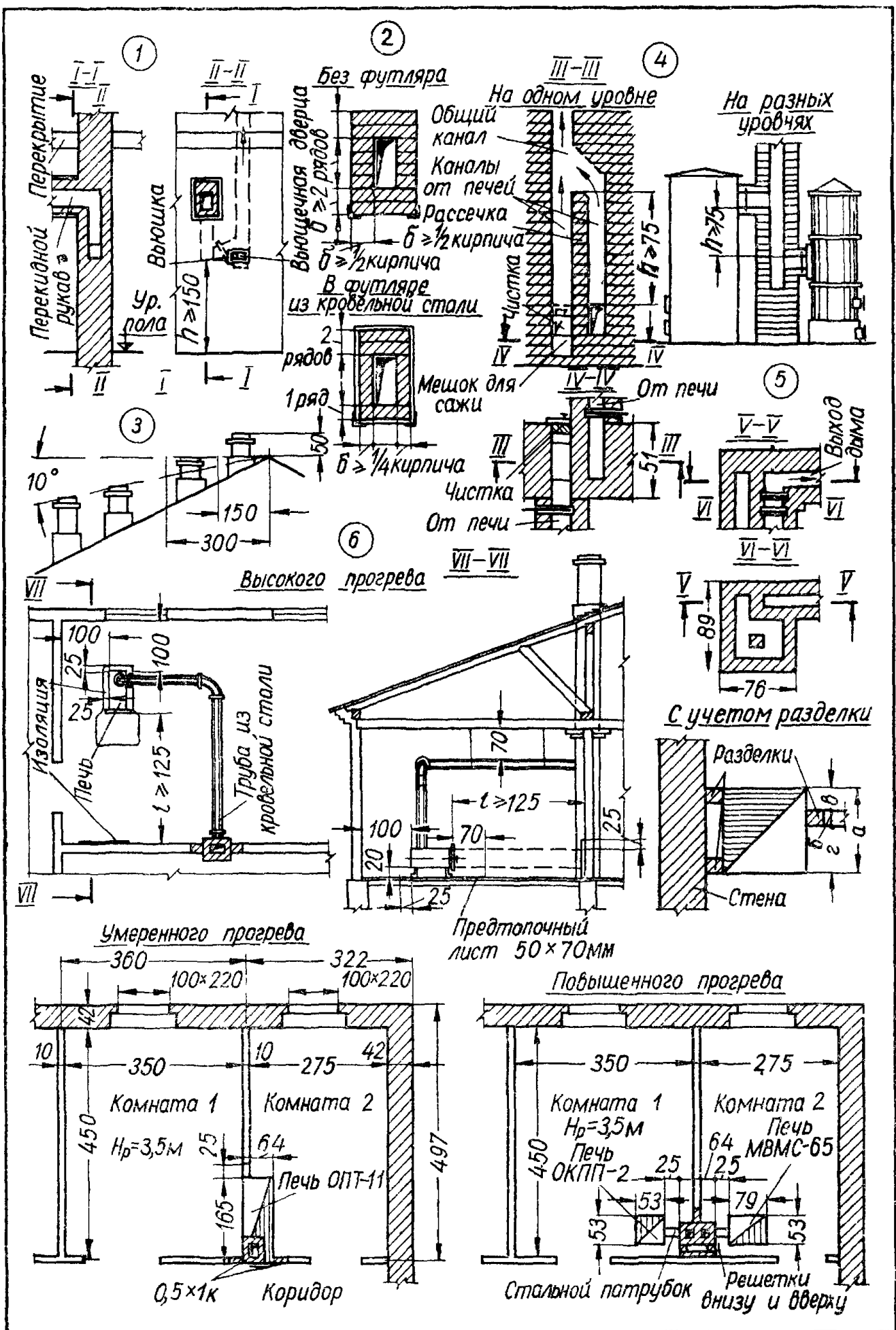
2 Чертежи печей 1 и 2 приведены в книге Л. А. Семенова «Печное отопление» (М, Гос-
стройиздат, 1968), печей 4 и 5 — в работе И. С. Подгородникова «Русские печи» (М, изд.
МКХ РСФСР, 1957), печей 5 и 6 — в Альбоме отопительных и бытовых печей, ч. II (М, Гос-
стройиздат, 1962), печи 3 — в работе В. П. Протопопова «Печные работы» (Киев, Госстрой-
издат УССР, 1961)

ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И РАСЧЕТУ

Отвод дыма и установка печей

Наиболее целесообразен отвод дымовых газов от печей в стеновые каналы. Если такие каналы нельзя устроить в стенах, применяют печи с насадными трубами и коренные трубы. В сейсмических районах насадные трубы не допускаются. Если конструкция печи разработана с насадной трубой, то дым можно отводить в стеновой канал или канал в коренной трубе (лист II.5, рис. 5). Двухъярусные печи с пропуском дыма от печи первого яруса через канал, проходящий в массиве печи второго яруса, удобны и рациональны в двухэтажных зданиях без капитальных стен, но не допускаются в сейсмических районах.

Каждая печь и кухонная плита должны иметь отдельный дымовой канал с раздельным выводом выше крыши. В исключительных случаях разрешается присоединять к одному каналу два очага при выполнении требований, указанных на листе II.5, рис. 4.



Лист II.5. Установка печей:

- 1 — включение перекидного рукава в дымовой канал, 2 — сечения перекидных рукавов;
 3 — расположение дымовых труб над крышей, 4 — присоединение печей к одному каналу;
 5 — приспособление печи для отвода дыма в канал (при конструкции с насадной трубой);
 6 — расположение печей в помещениях.

В проектах необходимо разрабатывать рабочие чертежи разверток стен с расположением каналов, уводов (под углом до 30° к вертикали и откосом не более 1 м) и горизонтальных участков (не более 0,5) для вьюшек и задвижек с прочистками. На чертежах следует указывать также перекидные рукава (допускаемая длина — не более 2 м) и их примыкание к вертикальным каналам (лист II.5, рис. 1, 2).

Нагрузку от печей и коренных труб необходимо передавать на отдельные фундаменты, не связанные с фундаментами стен здания. Печи, трубы и фундаменты под них должны быть указаны на строительных чертежах с необходимыми привязочными размерами. Печи второго этажа могут опираться непосредственно на перекрытие, рассчитанное на прочность, при этом должны соблюдаться противопожарные требования. Соответствующие типовые решения приведены в альбомах печей.

Не разрешается располагать каналы (включая вентиляционные) в наружных стенах. При необходимости отступления от этого правила следует предусматривать утепление их с наружной стороны стены. Вентиляционные каналы кухонь и санузлов располагают рядом с дымовыми каналами.

Высоту от колосниковой решетки до устья трубы принимают не менее 5 м, а высоту труб над поверхностью крыши — в зависимости от их расстояния от конька (лист II.5, рис. 3). Располагать их следует возможно ближе к коньку крыши.

Сечение дымовых каналов следует принимать: $1/2 \times 1/2$ кирпича — для печей с теплоотдачей 3000—4000 ккал/ч и $1/2 \times 1$ — с теплоотдачей 4500—6000 ккал/ч.

Коренные дымовые трубы применяют при отсутствии капитальных стен для размещения в них дымовых каналов или при невозможности устройства насадных труб (в печах повышенного прогрева и при строительстве в сейсмических районах). Коренные трубы дороже насадных и занимают полезную площадь в здании, поэтому помещения планируют так, чтобы к одной коренной трубе можно было присоединить две-три печи. При сборном домостроении с применением промышленных печей повышенного прогрева кирпичные коренные трубы целесообразно заменять сборно-блочными.

Противопожарные мероприятия

Проекты печного отопления требуется разрабатывать с учетом противопожарных мероприятий. Типовые конструкции узлов и деталей, приведенные в различных альбомах отопительных печей, привязываются к местным условиям и включаются в состав проекта.

Необходимые размеры горизонтальных и вертикальных противопожарных разделок, отступок, способы термоизоляции стен и перегородок, выходящих в отступки, а также допускаемые расстояния от верха перекрытия печи до сгораемого потолка приведены в табл. II.8 и II.9.

Противопожарные разделки необходимо устраивать также и у вентиляционных каналов, проходящих рядом с дымовыми. В стенках, заделывающих закрытые отступки, сверху и внизу устанавливают решетки с площадью живого сечения не менее 150 см^2 каждая.

Металлические и железобетонные балки должны отстоять от внутренней поверхности дымоходов не менее чем на 13 см. Не допускается располагать деревянные балки в кирпичной кладке между печами нижнего и верхнего этажей.

Расстояние от топочной дверки до противоположной стены или перегородки должно быть не менее 1,25 м. К сгораемому полу и плинтусу у топочной дверки прибивают металлический лист для защиты от возгорания. Сгораемую стену, примыкающую под углом к фронту печи, необходимо также защищать от возгорания.

Устройство боровов на чердаке не допускается.

Все остальные требования пожарной профилактики необходимо соблюдать при производстве работ по устройству печного отопления.

Расстояние от верхней плоскости перекрытия тепломой печи до потолка, незащищенного от возгорания, допускается принимать не менее 35 см, защищенного — не менее 25 см, а от верхней плоскости перекрытия нетепломой печи до потолка, не защищенного от возгорания, — не менее 100 см, защищенного — не менее 70 см. Толщина верхнего перекрытия (перекрыши) печи должна составлять не менее трех рядов кладки. При меньшей толщине перекрытия расстояние между верхом печи и потолком соответственно увеличивается. Потолок может быть защищен от возгорания асбестовым картоном толщиной 8 мм или штукатуркой толщиной 25 мм.

Т а б л и ц а II.8. Разделки у дымовых каналов

Печные устройства	Расстояния, см, от внутренней поверхности дымового канала до сгораемой конструкции	
	не защищенной от возгорания	защищенной от возгорания
Отопительные печи периодического действия с продолжительностью топки до 3 ч	38	25
То же, более 3 ч	51	38
Печи, отапливаемые газом, с расходом его более 2 м³/ч	38	25
Отопительные печи длительного горения	38	25
Квартирные кухонные плиты, работающие на твердом топливе	38	25
Газовые водонагреватели квартирного типа	25	25
Кухонные плиты в предприятиях общественного питания и общежитиях	51	38
Комбинированные кухонные плиты со встроенными котелками и отдельные котелки квартирного отопления	38	25

Примечания. 1. Металлические дымовые трубы через сгораемые перекрытия прокладывать не допускается.

2. В детских и лечебных учреждениях разделка до сгораемой конструкции, не защищенной от возгорания, принимается равной 51 см, до конструкции, защищенной от возгорания, — 38 см

Т а б л и ц а II.9. Отступки и способы защиты сгораемых конструкций

Печи	Вид отступки	Расстояние между печью и сгораемой стеной или перегородкой, см	Способы защиты сгораемых конструкций
Печи квартирного типа со стенками толщиной в 1/2 кирпича при продолжительности топки до 3 ч	Открытая или закрытая с одной стороны	13	Известковая или известково-цементная штукатурка толщиной 25 мм, асбестовермикулитовые плиты толщиной не менее 25 мм, асбестовый картон и др.
	Закрытая с двух сторон		Кирпичная облицовка в 1/4 кирпича на глиняном растворе или асбестовермикулитовые плиты толщиной 40 мм и др.
Печи квартирного типа со стенками толщиной в 1/4 кирпича	Открытая с двух сторон	32	Известково-гипсовая штукатурка толщиной 25 мм, асбестовермикулитовые плиты толщиной 40 мм и др.
Бетонные печи с толщиной стенок 4—6 см			
Отопительные печи длительного горения		26	

Печи	Вид отступки	Расстояние между печью и сгораемой стеной или перегородкой, см	Способы защиты сгораемых конструкций
Печи и кухонные плиты со стенками толщиной в $\frac{1}{2}$ кирпича при продолжительности топки более 3 ч	Открытая	26	То же, или облицовка в $\frac{1}{4}$ кирпича на глиняном растворе
	Закрытая		Кирпичная облицовка в $\frac{1}{2}$ кирпича на глиняном растворе
Металлические печи без футеровки	Открытая	100	Штукатурка толщиной 25 мм
То же, с футеровкой		70	

Примечания 1 Воздушные промежутки (отступки) у печей со стенками толщиной 7 см и менее нужно оставлять открытыми. Высота и ширина изоляции у печей и труб должны быть больше их габаритов на 15 см, а высота над кухонными плитами — на 50 см.

2 В общественных столовых, лечебных учреждениях, общежитиях между кухонной плитой и сгораемой стеной и перегородками делается закрытая отступка в 26 см, облицовка конструкций — в $\frac{1}{2}$ кирпича. В лечебных учреждениях открытые воздушные промежутки у печей оставлять не разрешается.

Размещение печей

В зависимости от назначения помещений выбираются следующие типы печей: в лечебных учреждениях — умеренного прогрева (теплоемкие толстостенные); в жилых, школьных и других помещениях постоянного назначения — умеренного и повышенного прогрева, а также длительного горения (теплоемкие толстостенные и тонкостенные);

в помещениях временного характера и с периодическим кратковременным пребыванием людей — высокого прогрева (нетеплоемкие любого типа).

Размещение печей намечается одновременно с планировкой помещений. В зависимости от конкретных условий принимают покомнатную установку небольших печей или устанавливают одну большую печь на 2—3 комнаты. Покомнатные небольшие печи удобны в следующих случаях: при заселении комнат отдельными жильцами, эксплуатирующими печи самостоятельно; в местностях с переменным климатом и неустойчивым отопительным сезоном; при индустриальном изготовлении их и возможности отвода дыма от нескольких печей в стенные каналы или коренную трубу индустриального изготовления. Эти печи не требуют устройства фундаментов (при массе до 750 кг).

Одна общая большая печь на 2—3 комнаты с насадной трубой или с отводом дыма в стенной канал занимает меньшую площадь, чем отдельные печи с коренными трубами; поэтому такую установку применяют при отсутствии печей индустриального изготовления, но только при заселении квартиры одной семьей.

Печи в помещениях размещаются с учетом планировки, назначения и конструкции здания.

В классах, лабораториях, операционных, перевязочных, зрительных залах, лестничных клетках, киноаппаратных, перемotoчных, а также в помещениях, где могут находиться легковоспламеняющиеся материалы, не допускается располагать печи с топкой из этих помещений.

При коридорной планировке прогон, на который опираются поперечные балки перекрытий, обычно проходит вдоль перегородки, отделяющей комнаты от коридора. В этом случае приходится применять печи с насадными трубами на тыльной стенке

или отодвигать их от плоскости перегородки коридора, устраивая в ней нишу на всю высоту помещения. Первое решение менее удобно, так как доступ к дымовым задвижкам со стороны комнаты создает затруднения при обслуживании печей, и в ряде случаев не может быть допущено.

В помещениях для хранения ценных или легковоспламеняющихся материалов и оборудования топки печей располагают в специальных тамбурах с наружными входами, а печи устраивают в стальных футлярах.

Вьюшки и задвижки располагают в тех же помещениях, из которых топят печи, и обеспечивают к ним удобный доступ.

При покомнатных печах помещения целесообразно планировать так, чтобы около одной коренной трубы можно было сгруппировать несколько печей. Печи располагают в глубине комнаты, вблизи двери, но так, чтобы открывание ее не мешало топке печи.

Печи повышенного прогрева устанавливают с открытой отступкой; а умеренного прогрева можно устанавливать с закрытой отступкой, но с обязательным устройством сверху и внизу решеток с площадью живого сечения не менее 150 см^2 , соединяющих отступку с помещением.

Общие печи на 2—3 комнаты устанавливают так, чтобы теплоотдача каждой печи распределялась пропорционально теплопотерям каждой комнаты. При этом на плане указывают размеры, определяющие расположение печи по отношению к перегородкам (лист II.5, рис. 6).

В небольших индивидуальных квартирах не всегда возможно отопление уборных, передних и кладовых обогревательными поверхностями печей. В таких случаях эти помещения рассматривают как одно целое с кухней или жилой комнатой; при этом уборные не должны иметь наружных стен. Отопление жилой комнаты, смежной с кухней, в южных районах можно обеспечить от плиты отопительным щитком. При кратковременном понижении наружной температуры необходимое увеличение теплоотдачи отопительного щитка достигается непрерывной топкой плиты.

Применяется следующая отделка наружных поверхностей печей:

облицовка изразцами — в печах повышенного прогрева заводского изготовления, а в печах умеренного прогрева — только при повышенных санитарных требованиях к отделке помещений;

штукатурка или затирка поверхностей печей умеренного прогрева — в жилых и общественных помещениях;

стальные футляры из кровельной стали — в сейсмических районах и помещениях с повышенной пожарной опасностью;

облицовка асбофанерой и керамическими плитками — для печей в каркасе (повышенного прогрева).

Расчет печного отопления и подбор печей

Среднечасовая теплоотдача печей должна быть равна теплопотерям помещения при расчетной наружной температуре для центрального отопления (по табл. I.3 — средней температуре наиболее холодной пятидневки); допускаемое отклонением $\pm 15\%$. Расчетная величина теплоотдачи печей с периодической топкой принимается, исходя из отопления их два раза в сутки, а печей длительного горения — с коэффициентом, учитывающим перерывы в работе печи на время чистки и загрузки топливника.

Колебания температуры внутреннего воздуха в отапливаемых печами помещениях жилых домов и общественных зданий (больницах, поликлиниках и школах) не должны превышать $\pm 3^\circ \text{C}$ в течение суток. Величина амплитуды колебания температуры воздуха зависит от коэффициента неравномерности теплоотдачи печи и теплотехнических показателей ограждающих конструкций помещения. Теплотехнические показатели ограждающих конструкций при печном отоплении должны соответствовать требованиям СНиП II-A.7—71.

Коэффициент неравномерности теплоотдачи печи определяется при лабораторных испытаниях печей по формуле

$$M = \frac{Q_{\text{макс}} - Q_{\text{мин}}}{2Q_{\text{ср}}},$$

где $Q_{\text{макс}}$, $Q_{\text{мин}}$ и $Q_{\text{ср}}$ — соответственно максимальная, минимальная и средняя теплоотдачи печи за период активной теплоотдачи, *ккал/ч*.

Величина коэффициента неравномерности теплоотдачи печи зависит от ее активного объема, толщины стенок и количества топок в сутки.

При повышении наружной температуры против расчетной, когда переходят к топке печи один раз в сутки, амплитуда колебания температуры воздуха в помещении оказывается несколько большей, чем при топке два раза в сутки. В связи с этим для подбора печей при двухразовой топке в сутки (при расчетной наружной температуре для центрального отопления) в расчете следует принимать несколько меньшую величину амплитуды колебания температуры ($\pm 2,5^\circ \text{C}$).

Амплитуда колебания температуры воздуха определяется по формуле

$$A_t = \frac{0,7M_2Q}{\Sigma BF_0}, \quad (\text{II.2})$$

где M_2 — коэффициент неравномерности теплоотдачи печи при двух топках в сутки;

Q — теплопотери помещения, *ккал/ч*;

B — коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности ограждения при двух топках в сутки, *ккал/(м² · ч · °C)* *;

F_0 — площадь внутренней поверхности ограждения (наружного и внутреннего), *м²*.

Расчет печного отопления (при печах с периодической топкой) производится в соответствии с общими положениями.

Для каждого помещения при расчетной наружной температуре для центрального отопления определяются теплопотери в *ккал/ч*. Далее определяется допускаемое максимальное значение коэффициента неравномерности теплоотдачи печи при двух топках в сутки $M_2^{\text{ТР}}$ и допускаемой амплитуде колебания температуры воздуха в помещении по формуле

$$M_2^{\text{ТР}} = 3,57 \frac{\Sigma BF_0}{Q}, \quad (\text{II.3})$$

где Q — теплопотери помещения, *ккал/ч*, при расчетной наружной температуре для центрального отопления;

ΣBF_0 — теплопоглощение внутренними поверхностями ограждений помещения при периоде 12 ч, *ккал/(ч · °C)*.

Печи подбирают с коэффициентом неравномерности теплоотдачи $M_2 \leq M_2^{\text{ТР}}$ и со среднечасовой теплоотдачей Q с точностью $\pm 15\%$ по табл. II.1 и II.2.

По исследованиям Л. А. Семенова, для печей с коэффициентом неравномерности теплоотдачи при двух топках в сутки $M_2 = 0,4 \div 0,2$ теплоустойчивость необходимо проверять только для угловых помещений. Если $M_2 < 0,2$, проверять теплоустойчивость не нужно и для угловых помещений.

В некоторых случаях по условиям теплоустойчивости приходится применять печи со средней теплоотдачей, превышающей теплопотери. Вместо этого иногда рационально изменить конструкцию ограждений, повысив коэффициенты теплоусвоения внутренних поверхностей ограждений или увеличив сопротивление теплопередаче R_0 наружных ограждений.

К величине теплоотдачи боковых поверхностей печей, обращенных в отступки, вводятся поправочные коэффициенты, указанные в табл. II.10. При этом ширина отступок менее 7 см не допускается. Отступки печей со стенками толщиной в 1/4 кирпича должны быть открытыми.

Если зеркало печи закрывает вертикальная разделка, теплоотдачу зеркалом рекомендуется уменьшить, умножая на величину $1 - b/a$ при $b/a > 1/6$ (лист II.5, рис. 6, где b — толщина разделки, a — ширина зеркала).

Уменьшение теплоотдачи зеркала вертикальными разделками не учитывается, если разделки закрывают поверхность зеркала у самых углов ($\varphi = 0$ или $\varphi = 90^\circ$) или занимают некоторое среднее положение, но ширина их меньше или равна 1/6

* Вычисляется по методике, изложенной в книге Л. А. Семенова «Печное отопление» (М., Стройиздат, 1968).

Таблица II.10. Поправочные коэффициента к теплоотдаче поверхностей печей

Поверхности печей	Размеры и конструкции отступок, камер и перекрыш	Поправочный коэффициент
Поверхности, обращенные в отступки и воздушные камеры	Шириной 13 см и более, открытые с обеих сторон	1,0
	Шириной 7—13 см, открытые с обеих сторон	0,75
	Закрытые с боков и со дна, с нижней решеткой и открытые вверх	0,75
	Закрытые, с нижней и верхней решетками	0,5
	Закрытые с боков, но открытые вверх и вниз	1,0
Перекрыша при высоте печи 2,1 м и менее	Толщина 14 см и менее	0,75
	Толщина свыше 14 до 21 см включительно	0,5

полной ширины зеркала ($b/a \leq 1/6$). При обслуживании одной печью смежных помещений размеры b и a назначаются такими, чтобы теплоотдача печью распределялась пропорционально теплотерям этих помещений.

Теплоотдающими считаются следующие поверхности печи:

поверхность стенок, находящихся в пределах активной высоты и омываемая с одной стороны воздухом, а с другой прогреваемая газами или соприкасающаяся с горящим топливом;

перекрыша при полной высоте печи не более 2,1 м;

поверхность стенок воздухонагревательных камер;

дно печи на ножках, если оно с одной стороны омывается воздухом, а с другой — горячими газами.

Пример II.1. Подобрать печь умеренного прогрева с топкой из коридора для отопления двух жилых помещений в одноэтажном жилом доме при расчетной наружной температуре для центрального отопления $t_n = -25^\circ \text{C}$. Ограждения поме-

Таблица II.11. Теплотехнические показатели ограждений

Конструкция ограждений	Сопrotивление теплопередаче $R_0, (м^2 \cdot ч \times ^\circ \text{C}) / \text{ккал}$	Коэффициент теплопоглощения при топке два раза в сутки $B, \text{ккал} / (м^2 \times ч \cdot ^\circ \text{C})$
Наружная стена (средней массивности) из кирпичной кладки с термоизоляционной засыпкой шлаком ($\lambda = 0,25 \text{ ккал} / (м \cdot ч \cdot ^\circ \text{C})$), оштукатуренная изнутри (толщина 435 мм)	1,16	4,47
Чердачное перекрытие деревянное с накатом из камышитовых щитов ($\delta = 100 \text{ мм}$), утепленное шлаком ($\delta = 80 \text{ мм}$), со штукатуркой по дрaни ($\delta = 20 \text{ мм}$)	1,44	3,71
Окна двойные	0,44	2,3
Пол на лагах	—	2,57
Внутренние перегородки, деревянные со штукатуркой	—	3,62
Двери внутренние	—	2,5

Таблица II.12. Расчетные величины для подбора печей

Определяемые величины	Комната	
	1	2
Теплопотери Q при $t_{\text{в}} = 18^\circ \text{C}$, ккал/ч	1400	2030
Теплопоглощение ΣBF_0 , ккал/(ч·°C)	272	246
Допустимое максимальное значение коэффициента неравномерности теплоотдачи печи M_2^{TP} по формуле (II.3)	0,7	0,43

щений характеризуются показателями, приведенными в табл. II.11. Размеры помещений приведены на листе II.5, рис. 6.

Результаты расчетов, соответствующих исходным данным, приведены в табл. II.12.

По табл. II.1 и II.2 выбрана печь ОПТ-11 умеренного прогрева с коэффициентом неравномерности теплоотдачи при двух топках в сутки $M_2 = 0,18$, который значительно меньше допускаемого $M_2^{\text{TP}} = 0,43$ (для комнаты 2). Следовательно, печь удовлетворяет требованиям ограничения амплитуды колебания температуры воздуха в помещении.

Теплоотдача стенки II, выходящей в комнату 1, при двух топках в сутки равна 1430 ккал/ч и превышает теплопотери на $\frac{1430 - 1400}{1400} \cdot 100 = 2,1\%$. Теплоотдача стенок III и IV, выходящих в комнату 2, равна $520 + 1570 = 2090$ ккал/ч и превышает теплопотери на $\frac{2090 - 2030}{2030} \cdot 100 = 3\%$.

Следовательно, выбранная печь и ее размещение в плане удовлетворяют условиям возмещения теплопотерь и теплоустойчивости помещений. Проверку теплоустойчивости можно было не производить, так как коэффициент неравномерности теплоотдачи печи при двух топках в сутки $M_2 = 0,18$, что меньше 0,2.

Пример II.2. Подобрать печи повышенного прогрева для двух помещений по данным примера II.1 (лист II.5, рис. 6).

Руководствуясь найденными в примере II.1 теплопотерями помещений и максимальнодопустимыми коэффициентами неравномерности теплоотдачи, на основании показателей табл. II.1 и II.2 следует принять:

для комнаты 1 — печь ОКПП-2 (МВМС-63) с теплоотдачей при двух топках в сутки $Q_2 = 1500$ ккал/ч и $M_2 = 0,6 < 0,7$. Запас в теплоотдаче составляет $\frac{1500 - 1400}{1400} \cdot 100 = 7\%$;

для комнаты 2 — печь МВМС-65 с теплоотдачей при двух топках в сутки $Q_2 = 2500$ ккал/ч и $M_2 = 0,44 > 0,43$, что находится в пределах точности расчета. Запас в теплоотдаче составляет $\frac{2500 - 2030}{2030} \cdot 100 = 23\%$.

По теплоотдаче можно было бы принять печь ОКПП-3, но для этой печи $M_2 = 0,5 > 0,43$, следовательно, она не удовлетворяет требованиям теплоустойчивости.

III. ЦЕНТРАЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

ВЫБОР СИСТЕМ И ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Область применения

В жилищно-гражданском строительстве широко применяются центральные системы водяного, парового и воздушного отопления, а также системы панельного и лучистого отопления с различными теплоносителями. Кроме того, применяются системы газо- и электровоздушного отопления, отопления инфракрасными высокотемпературными излучателями.

Наибольшее распространение получила водяная система отопления, как наиболее гигиеничная, совершенная в эксплуатации и регулируемая в широких пределах в зависимости от температуры наружного воздуха. Паровая система не гигиенична из-за пригорания пыли на поверхности приборов, почти не поддается регулировке, поэтому применяется как исключение, в коммунальных и промышленных предприятиях. На воздушные системы отопления расходуется меньше металла, чем на водяные и паровые; применяются они главным образом для отопления помещений большого объема. Температура воздуха в отдельных помещениях жилых зданий, обслуживаемых центральной системой воздушного отопления, плохо поддается регулировке, что ограничивает ее применение. Панельное и лучистое отопление особенно удобно в крупноблочных зданиях, где нагревательные приборы и трубопроводы скрыты в толще конструктивных элементов строительной части здания.

При устройстве систем центрального отопления руководствуются СНиП II-Г.7—62 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования», а для отдельных зданий — соответствующими нормами и правилами (см. табл. I.4).

Систему отопления и параметры теплоносителя выбирают на основании технико-экономического обоснования в соответствии с требованиями санитарных и противопожарных норм и в зависимости от назначения здания и режима его эксплуатации (СН 245—71 и СНиП II-A.5—70). При этом предельные значения допускаемых температур на поверхности нагревательных приборов любых типов и конструкций $t_{н.п.}$ принимают по нормам, указанным в табл. III.1.

Расчетную разность температур горячей и охлажденной воды (температурный перепад $\Delta t = t_g - t_o$) обычно принимают равной 25°C , а при панельных системах отопления с целью сокращения типоразмеров нагревательных приборов ее допускается уменьшать до 15°C . В зданиях, присоединяемых к ТЭЦ, такое снижение расчетной разности температур приводит к перерасходу сетевой воды. В современных однотрубных системах водяного отопления с П-образными стояками она может быть увеличена до 35°C . В двухтрубных системах водяного отопления, наоборот, увеличение расчетной разности температур воды более чем на 25°C способствует недопустимой вертикальной разрегулировке системы отопления, вызванной влиянием естественного давления.

Двухтрубные системы по сравнению с однотрубными обладают меньшими возможностями индустриализации монтажных работ, поэтому их применение весьма ограничено. В связи с этим водяное отопление многоэтажных зданий с применением местных нагревательных приборов, как правило, устраивают по однотрубной схеме. С увеличением температурного перепада Δt уменьшается расход теплоносителя и снижаются диаметры и масса труб. Однако в однотрубных системах водяного отопления увеличение Δt ведет к некоторому перерасходу нагревательных приборов.

По санитарно-гигиеническим нормам в жилых зданиях обычно применяют теплоноситель с температурой горячей воды $95\text{—}105^\circ\text{C}$, в лечебных и детских учреждениях — не более 85°C .

Согласно СН 419—70 *, для снижения металлоемкости систем водяного отопления в жилых и общественных зданиях разрешается использовать высокотемператур-

* Госстрой СССР. Указания по проектированию и расчету радиаторных однотрубных систем водяного отопления с нижней разводкой магистралей (СН 419—70).

Т а б л и ц а III.1. Выбор систем отопления жилых и общественных зданий и сооружений

№ п. п.	Здания и сооружения	Система отопления		До ш. н.
		рекомендуемая	допускаемая	
1	Жилые дома, общежития, гостиницы, дома отдыха, санатории, учебные заведения, административные здания, научные и проектные учреждения, конструкторские бюро, поликлиники, амбулатории, здравпункты, пионерские лагеря	Водяная с радиаторами и конвекторами (в школах — конвекторы только для вспомогательных помещений) Панельная с замоноличенными столбами и нагревательными элементами	Квартирная воздушная, совмещенная с вентиляцией, при централизованном теплоснабжении в жилых домах из блок-квартир и блок-комнат, а также в жилых домах до 2 этажей Воздушная, совмещенная с вентиляцией, в зданиях с числом этажей 5 и более и в помещениях большого объема Квартирная водяная и воздушная (с генератором тепла) для жилых домов до 2 этажей без централизованного теплоснабжения и при топливе, не требующем непрерывного надзора за горением. Печное отопление в зданиях до 2 этажей	95
2	Детские ясли-сады	Водяная с радиаторами Панельная с замоноличенными столбами и нагревательными элементами	Печное в одноэтажных зданиях не более чем на 50 мест в сельской местности Лучистое отопление (теплоноситель — воздух)	85
3	Больницы, родильные дома и другие лечебные учреждения	Панельная с замоноличенными столбами и нагревательными элементами Водяная с радиаторами и стальными панелями	Печное в одноэтажных зданиях в сельской местности Воздушная, совмещенная с вентиляцией	85
4	Гимнастические залы, бассейны, крытые стадионы и другие отапливаемые спортивные сооружения	Воздушная, совмещенная с вентиляцией	Паровая низкого давления при основном теплоносителе — паре	До 150

№ п. п.	Здания и сооружения	Система отопления		До 150
		рекомендуемая	допускаемая	
4	Гимнастические залы, бассейны, крытые стадионы и другие отапливаемые спортивные сооружения	Панельная с замкнутыми стояками и нагревательными элементами Водяная с радиаторами и конвекторами	Печное в небольших зданиях в сельской местности	До 150
5	Бани, прачечные, душевые павильоны; раздевалки и мыльные помещения бань на 200 и более мест, душевые павильоны не более чем на 25 мест	Водяная со стальными панелями и гладкими трубами Паровая низкого давления с радиаторами Воздушная, совмещенная с вентиляцией, в раздевалках и мыльных бань и цехах прачечных	Печное в зданиях сельской местности (бани не более чем на 50 мест)	До 150
6	Рестораны, столовые, кафе, буфеты, магазины	Водяная с радиаторами и конвекторами Панельная с замкнутыми стояками и нагревательными элементами Воздушная, совмещенная с вентиляцией, в помещениях большого объема (обеденные и торговые залы)	Паровая низкого давления в зданиях объемом до 500 м ³ Печное отопление в зданиях высотой до 2 этажей и числе посадочных мест до 200, а также в одноэтажных зданиях магазинов площадью до 50 м ² в сельской местности	До 150
7	Железнодорожные вокзалы, аэропорты	Воздушная, совмещенная с вентиляцией Водяная с радиаторами, конвекторами и стальными панелями	Панели с обогреваемой поверхностью пола (в вестибюлях и проходах) Печное в одноэтажных зданиях вокзалов вместимостью до 50 пассажиров Паровая низкого давления	До 150

8	Зрелищные предприятия, клубы и кинотеатры с количеством мест в зрительных и других залах: до 200 200 и более Театры вместимостью 800—1500 мест То же, менее 800	Водяная с радиаторами, конвекторами, стальными панелями и гладкими трубами То же То же и воздушная, совмещенная с приточной вентиляцией То же	Печное отопление в одноэтажных зданиях, возводимых в сельской местности, со зрительным залом до 200 мест Водяная и паровая низкого давления с радиаторами и конвекторами при числе мест до 500 и как дежурная при большей вместимости залов Воздушная, совмещенная с вентиляцией Паровая низкого давления	До 150
9	Музеи, картинные галереи, книгохранилища, читальные залы, архивы, библиотеки, выставки	Воздушная, совмещенная с вентиляцией, и кондиционирование воздуха Водяная с радиаторами и стальными панелями Панельная с замоноличенными столбами и нагревательными элементами	Печное отопление в библиотечных одноэтажных зданиях с читальным залом до 100 мест в сельской местности Воздушное отопление	95
10	Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий: административно-конторские помещения, конструкторские бюро, пункты питания, здравпункты, помещения общественных организаций и др.	При теплоносителе — воде для промышленности и радиаторами, а при теплоносителе — паре — паровая низкого давления с такими же нагревательными приборами при суммарном объеме помещений 1500 м³ и менее Панельная с замоноличенными столбами и нагревательными элементами, а также с приставными панелями для зданий объемом более 1500 м³	Печное в зданиях высотой не более 2 этажей	95

п п №	Здания и сооружения	Система отопления		До 150
		рекомендуемая	допускаемая	
10	бытовые помещения, независимо от их объема	Водяная и паровая высокого и низкого давления с радиаторами и конвекторами	—	До 150

П р и м е ч а н и я 1 В системах панельного отопления в качестве теплоносителя можно применять и высокотемпературную воду. Отопительные панели следует предусматривать встроенными в наружные стены, перегородки, полы и потолки. В помещениях зданий, указанных в п 2, должны предусматриваться панели с обогреваемой поверхностью полов. В помещениях плавательных бассейнов (п 4) предусматриваются панели с обогреваемой поверхностью пола, а в помещениях зданий, указанных в п 3, — панели с обогреваемой поверхностью потолков в операционных, родовых и наркозных По нормам СНиП II-Г.7—62 температуру на поверхности панели $t_{н.п}$ принимают с учетом места установки панелей и направления теплового потока излучения, °C (не более):

Для греющего потолка при высоте помещения, м.

2,5—2,8	28
2,9—3	30
3,1—3,4	33

Для греющего пола в помещениях:

детских яслей и садов	24
плавательных бассейнов при температуре воздуха 25—26° C	34
То же, в других помещениях	30

Для греющих стен и перегородок на высоте от уровня пола, м:

до 1	95
более 1	45

2. В системах отопления может применяться теплоноситель с избыточным давлением, достаточным для обеспечения циркуляции, который используется для технологических нужд, если это допустимо по санитарно-гигиеническим правилам и по прочности нагревательных приборов.
3. В целях унификации оборудования, приборов и материалов в системах отопления следует принимать единый теплоноситель.
4. В системах воздушного отопления для подогрева воздуха можно применять горячую воду, пар и газ.
5. Системы отопления с инфракрасными и высокотемпературными излучателями, а также системы газового отопления в настоящей таблице не указываются.
6. Предельные температуры $t_{н.п}$ указаны для нагревательных приборов, расположенных на высоте до 1 м от уровня пола.
7. Выбор систем отопления принят по Справочнику проектировщика. Часть 1 Отопление, водопровод, канализация (М., Стройиздат, 1976).

ную воду (105°C). В отдельных же зданиях перегрев воды доводят до 150°C (табл. III.2). При необходимости уменьшения температуры теплоносителя местные системы водяного отопления зданий присоединяют к наружным тепловым сетям через смешивающее устройство (элеватор) по зависимой схеме или теплообменник — по независимой схеме (см. раздел VI «Тепловые сети»).

Таблица III.2. Температурные перепады теплоносителя систем водяного отопления

Отапливаемые здания	Температура воды, $^{\circ}\text{C}$		Температурный перепад Δt , $^{\circ}\text{C}$
	горячей (t_g)	охлажденной (t_o)	
Жилые здания различного назначения	105	70	35
	95	70	25
Лечебные и детские учреждения	85	65	20
Музеи, картинные галереи, библиотеки, книгохранилища, архивы	95	70	25
Спортивные сооружения, бани-прачечные, предприятия общественного питания, вокзалы, аэропорты, кинотеатры, театры, клубы, бытовые помещения промышленных предприятий	До 150	70	80

В зависимости от радиуса действия рекомендуются следующие величины давления пара в разомкнутых системах парового отопления низкого давления*:

Радиус действия, м . . . 50 100 200 300 500
Давление пара, кгс/см^2 . . 0,05 0,05—0,1 0,1—0,2 0,2—0,3 0,5—0,7

В замкнутых системах пароснабжения давление пара назначают по специальному расчету (см. стр. 243).

В системах отопления и пароснабжения высокого давления допускается давление пара до 5 кгс/см^2 в зависимости от прочности и предельной температуры поверхности нагревательных приборов. В необходимых случаях давление пара на вводе в здание снижают дросселированием.

В открытых системах воздушного отопления температуру приточного воздуха, подаваемого непосредственно в отапливаемые помещения, нормируют в зависимости от места расположения приточных отверстий. Для закрытых систем температуру воздуха, циркулирующего по каналам, определяют расчетом в зависимости от допускаемой температуры нагревательных элементов. В системах воздушного отопления наибольшая допустимая температура воздуха, подаваемого в нижнюю зону помещения, на высоте до 3,5 м от уровня пола и расстоянии 2 м от рабочих мест составляет 45°C , свыше 3,5 м — не более 70°C . В необходимых случаях метеорологические условия в помещении согласно СН 245—71 проверяют расчетом.

В табл. III.3—III.5 приведены необходимые физические параметры воды и пара при различных условиях.

Таблица III.3. Параметры воды при температуре $100\text{—}150^{\circ}\text{C}$

Температура t , $^{\circ}\text{C}$	Давление p , кгс/см^2	Плотность γ , кг/м^3	Температура t , $^{\circ}\text{C}$	Давление p , кгс/см^2	Плотность γ , кг/м^3
100	1,03	958,3	120	2,02	943,1
105	1,26	955,1	130	2,75	934,8
110	1,46	951	140	3,68	926,1
115	1,73	947,4	150	4,85	916,9

* По терминологии, принятой в отопительной технике, пар низкого давления — до $0,7 \text{ кгс/см}^2$, высокого — свыше $0,7 \text{ кгс/см}^2$. Здесь и далее в справочнике величины кгс/см^2 и кгс/м^2 выражают избыточное давление рассматриваемой среды.

Т а б л и ц а III.4. Плотность (объемная масса) воды γ , кг/м^3 , при температуре 40—100°С (через каждые 0,1°С) и давлении 760 мм рт. ст

t	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
40	992,24	992,2	992,17	992,13	992,09	992,05	992,01	991,97	991,94	991,9
41	991,86	991,82	991,78	991,74	991,7	991,66	991,62	991,58	991,55	991,51
42	991,47	991,43	991,39	991,35	991,31	991,27	991,23	991,19	991,15	991,11
43	991,07	991,03	990,99	990,94	990,9	990,86	990,82	990,78	990,74	990,7
44	990,66	990,62	990,58	990,54	990,5	990,46	990,42	990,38	990,33	990,29
45	990,25	990,21	990,16	990,12	990,07	990,03	989,99	989,95	989,9	989,86
46	989,82	989,78	989,74	989,69	989,65	989,61	989,57	989,53	989,48	989,44
47	989,4	989,36	989,31	989,27	989,22	989,18	989,13	989,09	989,05	989
48	988,98	988,92	988,87	988,83	988,78	988,71	988,7	988,65	988,61	988,56
49	988,52	988,47	988,43	988,38	988,34	988,29	988,25	988,2	988,16	988,11
50	988,07	988,02	987,97	987,92	987,89	987,84	987,8	987,75	987,71	987,66
51	987,62	987,57	987,52	987,48	987,43	987,38	987,33	987,29	987,23	987,19
52	987,15	987,1	987,06	987,01	986,97	986,92	986,87	986,83	986,79	986,74
53	986,69	986,64	986,59	986,55	986,5	986,45	986,4	986,35	986,31	986,26
54	986,21	986,16	986,11	986,07	986,02	985,97	985,92	985,87	985,83	985,78
55	985,73	985,68	985,63	985,59	985,54	985,49	985,44	985,39	985,35	985,3
56	985,25	985,2	985,15	985,1	985,05	985	984,95	984,9	984,85	984,8
57	984,75	984,7	984,65	984,6	984,55	984,5	984,45	984,4	984,35	984,3
58	984,25	984,2	984,15	984,1	984,05	984	983,95	983,9	983,85	983,8
59	983,75	983,7	983,65	983,6	983,55	983,5	983,45	983,4	983,34	983,29
60	983,24	983,19	983,14	983,08	983,03	982,98	982,93	982,88	982,83	982,77
61	982,72	982,67	982,62	982,57	982,51	982,46	982,41	982,36	982,31	982,26
62	982,2	982,15	982,1	982,05	981,99	981,94	981,89	981,83	981,78	981,72
63	981,67	981,62	981,57	981,51	981,46	981,4	981,35	981,29	981,24	981,18
64	981,13	981,07	981,02	980,97	980,91	980,86	980,81	980,76	980,71	980,65
65	980,59	980,53	980,48	980,42	980,37	980,32	980,26	980,21	980,16	980,1
66	980,05	979,99	979,93	979,87	979,82	979,77	979,72	979,67	979,61	979,56
67	979,5	979,44	979,39	979,33	979,28	979,22	979,16	979,11	979,06	979
68	978,94	978,88	978,82	978,77	978,71	978,66	978,61	978,55	978,5	978,44
69	978,38	978,32	978,27	978,21	978,16	978,1	978,04	977,98	977,93	977,87
70	977,81	977,75	977,7	977,64	977,58	977,52	977,46	977,4	977,35	977,29

71	977,23	977,17	977,12	977,08	977,01	976,95	976,9	976,84	976,78	976,72
72	976,66	976,6	976,54	976,48	976,42	976,36	976,3	976,25	976,19	976,13
73	976,07	976,01	975,95	975,89	975,83	975,77	975,71	975,66	975,6	975,54
74	975,48	975,42	975,36	975,3	975,24	975,18	975,13	975,07	975,01	974,95
75	974,89	974,83	974,77	974,71	974,65	974,59	974,53	974,47	974,41	974,35
76	974,29	974,23	974,16	974,1	974,04	973,98	973,92	973,86	973,8	973,73
77	973,68	973,62	973,55	973,49	973,43	973,37	973,31	973,25	973,19	973,13
78	973,07	973,01	972,95	972,88	972,82	972,76	972,7	972,63	972,57	972,51
79	972,45	972,39	972,33	972,26	972,2	972,14	972,08	972,02	971,96	971,89
80	971,83	971,77	971,71	971,65	971,58	971,52	971,46	971,4	971,33	971,27
81	971,21	971,14	971,08	971,02	970,96	970,89	970,83	970,77	970,7	970,63
82	970,57	970,5	970,44	970,38	970,32	970,25	970,19	970,13	970,06	970
83	969,94	969,87	969,81	969,75	969,68	969,62	969,56	969,5	969,48	969,37
84	969,3	969,24	969,18	969,11	969,06	968,98	968,91	968,84	968,77	968,71
85	968,65	968,58	968,52	968,46	968,39	968,33	968,27	968,2	968,14	968,07
86	968	967,93	967,86	967,8	967,74	967,67	967,61	967,54	967,48	967,41
87	967,34	967,28	967,21	967,14	967,08	967,01	966,95	966,88	966,81	966,75
88	966,68	966,62	966,55	966,48	966,41	966,35	966,28	966,21	966,14	966,08
89	966,01	965,95	965,88	965,82	965,75	965,68	965,61	965,54	965,48	965,41
90	965,34	965,28	965,21	965,15	965,08	965,01	964,94	964,88	964,81	964,74
91	964,67	964,61	964,54	964,47	964,4	964,33	964,26	964,19	964,13	964,06
92	963,99	963,92	963,85	963,78	963,71	963,65	963,58	963,51	963,44	963,37
93	963,3	963,23	963,16	963,1	963,03	962,96	962,89	962,82	962,75	962,68
94	962,61	962,54	962,47	962,4	962,34	962,27	962,2	962,13	962,06	961,99
95	961,92	961,85	961,78	961,71	961,62	961,57	961,5	961,43	961,36	961,29
96	961,22	961,15	961,08	961,01	960,94	960,87	960,8	960,73	960,66	960,59
97	960,51	960,44	960,37	960,3	960,23	960,16	960,09	960,02	959,95	959,88
98	959,81	959,74	959,67	959,6	959,53	959,46	959,39	959,32	959,24	959,17
99	959,09	959,02	958,95	958,88	958,81	958,74	958,67	958,6	958,52	958,45
100	958,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Т а б л и ц а III.5. Параметры насыщенного пара

Абсолютное давление p , кгс/см ²	Температура насыщения $t_{\text{нас}}$, °C	Удельный объем пара V , м ³ /кг	Плотность пара γ , кг/м ³	Теплосодер- жание i , ккал/кг	Теплота ис- парения r , ккал/кг	Абсолютное давление p , кгс/см ²	Температура насыщения $t_{\text{нас}}$, °C	Удельный объем пара V , м ³ /кг	Плотность пара γ , кг/м ³	Теплосодер- жание i , ккал/кг	Теплота ис- парения r , ккал/кг
0,1	45,45	14,95	0,0668	617	571,6	2	119,62	0,9018	1,109	646,3	526,4
0,2	59,67	7,789	0,1284	623,1	563,4	2,5	126,79	0,7318	1,367	648,7	521,5
0,3	68,68	5,324	0,1878	626,8	558,1	3	132,88	0,6169	1,621	650,7	517,3
0,4	75,42	4,066	0,2459	629,5	554,1	3,5	138,19	0,5338	1,873	652,4	513,5
0,5	80,86	3,299	0,3031	631,6	550,7	4	142,92	0,4709	2,124	653,9	510,2
0,6	85,45	2,782	0,3595	633,5	548	4,5	147,2	0,4215	2,373	655,2	507,1
0,7	89,45	2,408	0,4153	635,1	545,6	5	151,11	0,3817	2,62	656,3	504,2
0,8	92,99	2,125	0,4706	636,4	543,3	6	158,06	0,3214	3,111	658,3	498,9
0,9	96,18	1,903	0,5255	637,6	541,3	7	164,17	0,2778	3,6	659,9	494,2
1	99,09	1,725	0,5797	638,8	539,6	8	169,61	0,2448	4,085	661,2	489,8
1,1	101,76	1,578	0,6337	639,8	537,9	9	174,53	0,2189	4,568	662,3	485,8
1,2	104,25	1,455	0,6873	640,7	536,3	10	179,04	0,198	5,051	663,3	482,1
1,3	106,56	1,35	0,7407	641,6	534,9	11	183,2	0,1808	5,531	664,1	478,4
1,4	108,74	1,259	0,7943	642,3	533,4	12	187,08	0,1663	6,013	664,9	475,1
1,5	110,79	1,191	0,8467	643,1	532,1	13	190,71	0,154	6,494	665,6	472
1,6	112,73	1,111	0,9001	643,8	530,8	14	194,13	0,1434	6,974	666,2	468,9
1,7	114,57	1,05	0,9524	644,5	529,7	15	197,36	0,1342	7,452	666,7	469,9

Водяное отопление

Водяные системы отопления различают по способу циркуляции воды (с естественным и искусственным побуждением), по месторасположению разводящих магистралей (с верхней или нижней разводкой), по способу прокладки разводящих магистралей к отопительным стоякам (тупиковые и с попутным движением воды), по конструкции стояков и схеме присоединения к ним нагревательных приборов (двух- и однотрубные).

Системы с естественной циркуляцией воды (двух- и однотрубные) допускаются в зданиях с индивидуальной котельной при радиусе действия до 30 м и расстоянии по вертикали от центра прибора первого этажа до центра котла не менее 3 м (лист III.1). Водяные системы с естественной циркуляцией выполняются только с тупиковой разводкой магистралей. В малоэтажных жилых домах можно применять квартирную систему водяного отопления с верхней и нижней разводками и естественной циркуляцией. В остальных случаях водяное отопление устраивают с насосным побуждением циркуляции воды.

Верхнюю разводку с прокладкой подающих трубопроводов по тупиковой схеме следует применять при естественной циркуляции, сложности устройства подпольных каналов и отсутствии подвалов. Однотрубные вертикальные системы монтируют с верхней разводкой и нижней с П-образными стояками. Нижняя разводка трубопроводов особенно удобна в зданиях различной этажности и с плоской кровлей, а также при скоростном строительстве, когда по графику производства работ требуется обогрев помещения по мере готовности этажей здания. Тупиковая схема разводки имеет наименьшую протяженность и минимальные сечения магистральных трубопроводов.

При значительной протяженности циркуляционных колец, когда нет перерасхода труб на общих участках магистралей, в насосных симметричных системах можно применять схему разводки с попутным движением воды (лист III.2, рис. 1). На листе III.2, рис. 2 показаны горизонтальные системы водяного отопления в помещениях большой протяженности.

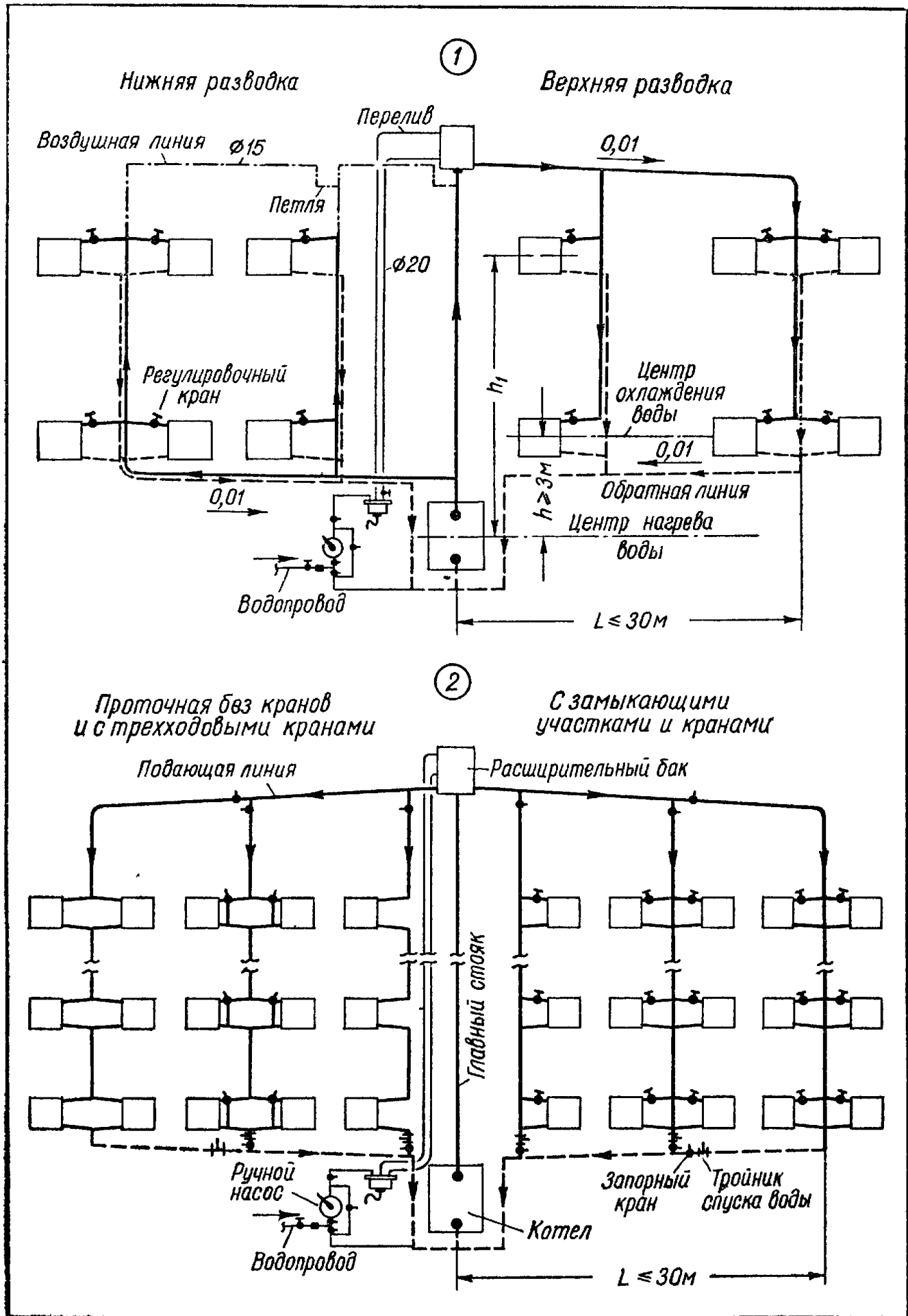
Двухтрубные системы по сравнению с однотрубными более сложны в монтаже, а при верхней разводке менее гидравлически устойчивы по вертикали, поэтому применяются они, как исключение, в зданиях высотой до 2 этажей.

Однотрубные системы более совершенны, чем двухтрубные — проще в монтаже и гидравлически устойчивы. Они бывают регулируемые и нерегулируемые, вертикальными и горизонтальными. Наибольшее распространение получили вертикальные однотрубные системы со смещенными и осевыми замыкающими участками и регулирующей арматурой на подводках отопительных приборов, а также нерегулируемые однотрубные проточные системы.

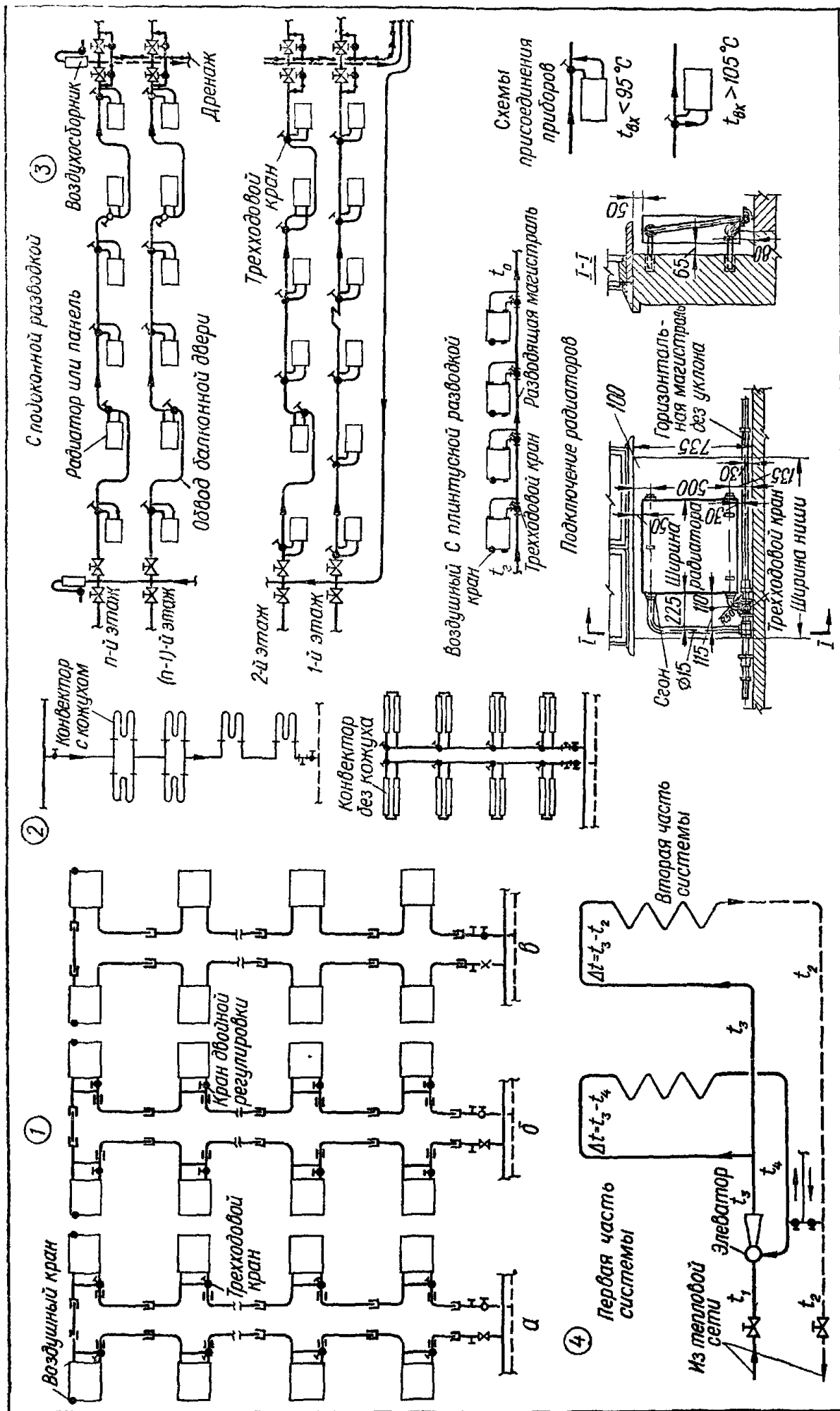
Однотрубные стояки со смещенными замыкающими участками и трехходовыми кранами в радиаторных узлах несколько снижают расход нагревательных приборов и обеспечивают компенсацию тепловых деформаций. Для повышения степени индустриализации заготовительно-монтажных работ однотрубные стояки рекомендуется выполнять с односторонним присоединением приборов (лист III.3, рис. 1).

В современных многоэтажных жилых и общественных зданиях следует устраивать вертикальные однотрубные проточно-регулируемые системы водяного отопления со смещенными замыкающими участками и трехходовыми кранами у нагревательных приборов — радиаторов, конвекторов и бетонных греющих панелей. На подводках к приборам можно устанавливать также краны двойной регулировки. Однотрубные проточные (нерегулируемые) системы водяного отопления наиболее экономичны, но применяются лишь в зданиях, где не требуется регулирование температуры воздуха отдельных помещений. Эти системы применяются в коммунальных и производственных зданиях в качестве дежурного отопления, если в помещениях имеются теплоизбытки, а также допускаются в театрах, кинотеатрах и клубах (зрительные залы обслуживаются отдельными ветвями системы отопления).

Для отопления зданий с плоскими кровлями без чердаков или с совмещенными кровлями широко применяют вертикальные однотрубные проточно-регулируемые системы с нижней разводкой магистралей. В этих системах с П-образными однотрубными стояками и трехходовыми кранами у нагревательных приборов можно постепенно наращивать стояки для поэтажного пуска системы отопления по мере возведения здания (лист III.3, рис. 1). Нормы СН 419—70 рекомендуют применение П-образных стояков в зданиях до 12 этажей; в зданиях большей этажности во избе-



Лист III.1. Системы водяного отопления с естественной циркуляцией;
1 — двухтрубные; 2 — однотрубные.



III.3. Однотрубные системы отопления высокотемпературной водой:

1 — вертикальные с П-образными стойками (а, б — со смещенными замыкающими участками; в — проточный, или нерегулируемый); 2 — стойки с конвекторами; 3 — горизонтальные; 4 — с двумя перепадами температур в циркуляционных кольцах.

жание увеличенных расходов теплоносителя приходится применять верхнюю разводку однотрубных стояков. Проточные и проточно-регулируемые однотрубные стояки применяют при устройстве конвекторов (лист III.3, рис. 2).

В жилищном строительстве успешно внедряются системы с высоким гидравлическим сопротивлением при скорости воды в трубах более 0,5 м/с — однотрубная с нижней разводкой и греющими бетонными панелями, горизонтально-проточная с разнообразными приборами, в которых при повышенных скоростях теплоносителя воздух выносится из разводящих магистралей в стояки с воздухоотводчиками. Такие системы могут работать при обычных температурных перепадах 95—70° С и высокотемпературной воде, например, горизонтальные проточно-регулируемые однотрубные системы с поэтажным расположением разводящих труб по периметру здания под окнами или по плинтусам (лист III.3, рис. 3). Устройство самостоятельных горизонтальных однотрубных ветвей от основной системы отопления целесообразно, например, в магазинах многоэтажных зданий, вестибюлях вокзалов, в спортивных сооружениях и т. д.

Представляет интерес система водяного отопления с двумя перепадами температур теплоносителя в циркуляционных кольцах (работает от элеваторного узла и имеет две части). Охлажденный теплоноситель из первой части системы поступает в элеватор, где смешивается с горячей водой из тепловой сети, и возвращается в тепловую сеть, минуя элеватор (лист III.3, рис. 4). Такая схема работы системы отопления позволяет получить экономию поверхности нагревательных приборов*.

Отопление с чугунными, стальными штампованными радиаторами и греющими бетонными панелями или конвекторами с высокотемпературной водой осуществляется при насосной циркуляции по разнообразным схемам питания приборов теплоносителем. Температура воды, циркулирующей в чугунных радиаторах, в зависимости от схемы питания и расхода теплоносителя, на 8—12° С выше температуры наружной поверхности приборов. Это объясняется охлаждением и малой теплопроводностью слоя воды у стенок радиаторов, вследствие чего температура поверхности прибора значительно ниже температуры ядра потока.

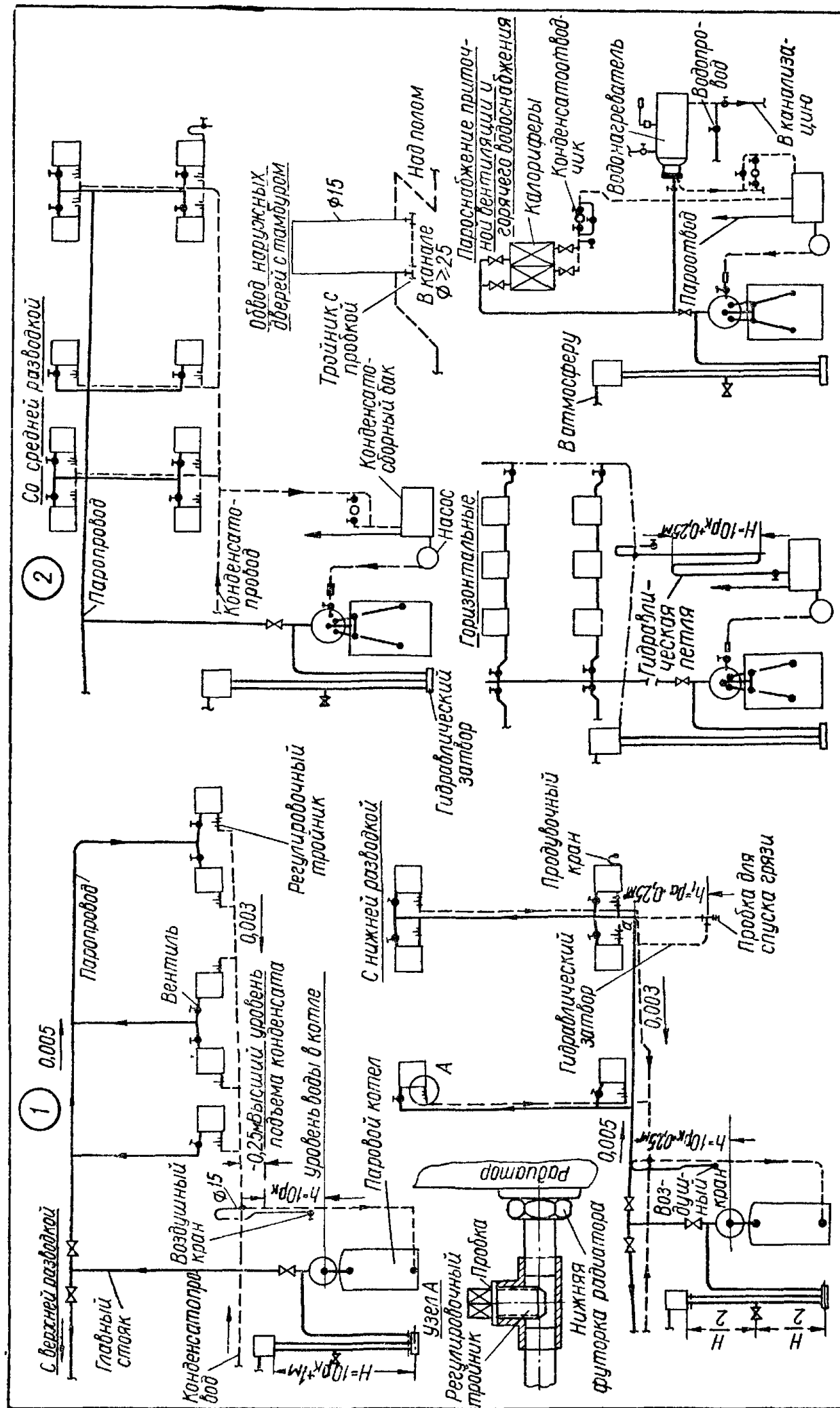
Питание нагревательных приборов при температуре воды 95° С следует осуществлять по схемам «сверху — вниз» или «снизу — вверх», а при температуре более 95° С — главным образом по схеме «снизу — вверх» (в зависимости от требуемой температуры поверхности приборов). Воду с температурой $t_t \geq 105^\circ \text{С}$ наиболее целесообразно подавать от ТЭЦ или районных котельных, так как при индивидуальных котельных, которые оборудованы малометражными котлами, работающими на низкокалорийном топливе, получить высокотемпературную воду трудно. Питание обычной системы отопления (параметры 95—70° С) высокотемпературной водой (до 150° С) от ТЭЦ осуществляется с предварительным снижением температуры горячей воды (при зависимой схеме). Для этого в узлах управления тепловых вводов теплосети в здания (в тепловых пунктах) устанавливают водоструйные элеваторы для подмешивания в высокотемпературную воду охлажденной воды из местной системы отопления с температурой 70° С.

Давление на вводе тепловой сети в здание должно обеспечивать надежную работу элеваторного узла и циркуляцию воды во всех частях системы отопления. В необходимых случаях предусматривают установку насосов для повышения циркуляционного давления в системе (например, при независимой схеме с теплообменником). Величина суммарного статического и динамического давлений в системе водяного отопления не должна превосходить давления допускаемого механической прочностью принятых к установке нагревательных приборов.

Паровое отопление

Обычно применяются двухтрубные системы парового отопления низкого давления с верхней или нижней разводкой (лист III.4, рис. 1). В двухэтажных зданиях (например, в банях, прачечных и т. д.) целесообразно использовать среднюю разводку с прокладкой парогроводов под потолком 1-го этажа (лист III.4, рис. 2). В зданиях с индивидуальной котельной в подвале паровое отопление низкого давления

* Госстрой УССР. Временные указания по проектированию и монтажу водяных элеваторных систем отопления с двумя перепадами температур теплоносителя по кольцам системы (РСН 259—73).



Лист III.4. Системы парового отопления низкого давления:
1 — замкнутые; 2 — разомкнутые.

желательно устраивать в виде наиболее простой, замкнутой системы без питательных насосов для перекачки конденсата в паровые котлы.

Замкнутые паровые системы отопления с верхней или нижней разводкой могут работать при таком расположении нагревательных приборов над уровнем воды в котле, когда столб воды высотой h уравнивает рабочее давление пара в котле p_k в кгс/см^2 и преодолевает сопротивление в питательной линии, обеспечивая самотек конденсата в котел, т. е. когда $h = 10 p_k + 0,25 \text{ м}$. В низшей точке на переломе конденсатопровода устраивают воздушную трубку на $0,25 \text{ м}$ выше уровня конденсата в вертикальной трубе, идущей к котлу.

При нижней разводке для отвода попутного конденсата из паропроводов и вертикальных паровых стояков в концевых точках системы устраивают гидравлические затворы (лист III. 4, рис. 1), представляющие собой петлю, в которой во время работы системы поддерживается разность высот столбов воды $h_1 = 10 p_a + 0,25 \text{ м}$, уравнивающая давление пара p_a в точке a . Стекающий конденсат, по мере скопления его в петле, выжимается паром в сборную конденсационную магистраль. Система парового отопления низкого давления с нижней разводкой дает наибольшую экономию металла. Однако при этой схеме, особенно в однотрубных вертикальных системах, из-за противотока пара и попутного конденсата наблюдаются гидравлические удары в паропроводах.

Система с верхней разводкой удобна в эксплуатации, так как работает почти бесшумно, без устройства гидравлических затворов и петель, требующих систематического надзора.

При небольшой высоте котельной и установке парового котла на одном уровне с отапливаемыми приборами или в случае расположения нагревательных приборов на незначительной по отношению к котлу высоте приходится применять более дорогую систему парового отопления — разомкнутую с искусственной перекачкой конденсата в котлы (лист III.4, рис. 2). Из системы парового отопления конденсат поступает самотеком в сборный бак котельной. Общую конденсационную линию в ней запирают гидравлическим затвором-петлей высотой h , уравнивающей давление пара в котле с запасом $0,25 \text{ м}$, или конденсатоотводчиком при давлении пара перед ним не менее $0,3 \text{ кгс/см}^2$.

На листе III.4, рис. 2 показаны вертикальная и горизонтальная с поэтажными ветвями системы парового отопления низкого давления по разомкнутой схеме, которые дают большую экономию металла. Для централизованного отвода воздуха перед гидравлической петлей монтируют воздушный кран. Недостатком этих систем является возможность образования гидравлических ударов при движении пара и конденсата по одной разводящей ветви трубопровода, а также появления течи в резьбовых соединениях при жестком соединении прибора с трубопроводом. Эти системы, как исключение, могут применяться при коротких поэтажных ветвях (не более $20—25 \text{ м}$).

Все перечисленные системы парового отопления низкого давления сообщаются с атмосферой, поэтому называются открытыми.

Давление пара для систем парового отопления высокого давления зависит от прочности нагревательных приборов и допустимой температуры на их поверхности. Оно должно составлять $1—5 \text{ кгс/см}^2$. В необходимых случаях давление пара на вводе в здание снижают дросселированием специальным клапаном-редуктором (лист III.5, рис. 1). Однако при редуцировании происходит осушка и перегрев пара, что снижает коэффициенты теплопередачи нагревательных приборов и теплообменников.

Практический интерес представляет использование теплоты перегретого конденсата для получения пара вторичного вскипания как теплоносителя паровых систем отопления низкого давления (например, для отопления бытовых и вспомогательных помещений промышленных предприятий). Для получения такого пара устанавливают закрытые расширительные баки-сепараторы (давление в них достигает $0,5 \text{ кгс/см}^2$), куда поступает конденсат от потребителей пара высокого давления. Бак оборудуют водомерным стеклом и предохранительным устройством. При давлении пара более $0,5 \text{ кгс/см}^2$ бак снабжают грузовым клапаном, а при давлении менее $0,5 \text{ кгс/см}^2$ — гидравлическим затвором.

На листе III.5, рис. 2 показана принципиальная схема использования пара вторичного вскипания для отопления. Количество такого пара в зависимости от начального давления p_1 перед теплообменником (калорифером, водонагревателем и др.) и конечного p_2 в баке-сепараторе можно найти из табл. III.6.

Таблица III.6. Количество пара вторичного вскипания, кг на 1 т пара, прошедшего через теплообменник

Давление пара перед теплообменником p_1 , кгс/см ²	Количество пара, кг/т, при давлении в точке отбора p_2 , кгс/см ²											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2
0,3	11	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,4	16	10	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	21	16	10	5	—	—	—	—	—	—	—	—
0,6	25	20	14	9	4	—	—	—	—	—	—	—
0,7	30	24	19	14	9	4	—	—	—	—	—	—
0,8	34	28	23	18	13	9	4	—	—	—	—	—
0,9	38	33	27	22	17	13	9	4	—	—	—	—
1	42	36	31	26	21	17	13	8	4	—	—	—
1,5	60	55	49	45	40	35	31	27	23	19	—	—
2	76	71	66	61	56	52	48	43	39	35	17	—
2,5	91	86	81	76	71	67	62	58	54	50	32	15
3	105	100	94	60	85	81	76	72	68	64	45	29
3,5	118	113	107	103	98	94	90	85	82	78	59	43
4	130	125	120	115	110	105	102	98	94	90	71	55
5	153	148	143	138	133	129	125	121	117	114	95	80

Примечание Данные таблицы не учитывают пролетного пара, примешивающегося к пару вторичного вскипания в связи с неизбежными пропусками пара (3—5%) конденсатоотводчиками.

Перегретый конденсат иногда целесообразно использовать в теплообменниках, например, горячего водоснабжения или водяного отопления. Охладившись до температуры 70—80° С, конденсат возвращается в котельную самотеком или перекачивается насосом.

Пар высокого давления, получаемый от производственных котельных, можно использовать в гражданских зданиях для отопления с устройством комбинированных пароводяных систем и с централизованным подогревом воды (лист III.5, рис. 3). В этом случае, обычно в подвале здания, устанавливают пароводяные скоростные или емкие водонагреватели с подачей в них пара с давлением до 5—6 кгс/см² (в зависимости от прочности змеевиков).

В случае присоединения потребителей пара высокого давления непосредственно к наружной теплосети целесообразно использовать закрытые схемы пароснабжения с возвратом конденсата на тепловой центр по напорному конденсатопроводу. Конденсат возвращается под действием остаточного давления или перекачивается насосом (лист III.5, рис. 4). Напорные конденсатопроводы в меньшей степени подвержены коррозии труб, чем самотечные.

Практический интерес представляет отопление отдельных помещений пароводяными приборами с децентрализованным подогревом воды в радиаторах, который осуществляется при помощи особых патронов из труб диаметром 15 мм, установленных в нижней пробке прибора. В патроны-нагреватели пар подают по тупиковой или проточной схеме с присоединением приборов к двух- или однотрубным стоякам (лист III.5, рис. 5). Приборы заполняют конденсатом по верхней подводке от парового стояка. Применение пароводяной системы с децентрализованным подогревом воды рекомендуется, как исключение (при соответствующем обосновании), для отопления административных помещений, магазинов, помещений охраны, столовых, душевых, амбулаторий и производственных цехов, где нежелательно использование пара.

Воздушное отопление

В воздушной системе отопления воздух нагревают огневыми, паровыми или водяными воздухонагревателями — калориферами. В отапливаемые помещения его подают при помощи естественного (теплого) или искусственного (вентиляторного) побуждения.

Система воздушного отопления работает с полной рециркуляцией воздуха, если нагретый воздух по охлаждении в отапливаемом помещении возвращается обратно в калорифер для повторного подогрева. Если при этом добавляется некоторое количество наружного воздуха (такая система совмещена с вентиляцией и работает с частичной рециркуляцией), система является более гигиеничной в эксплуатации (лист III 6, рис 1)

Радиус действия систем воздушного отопления с естественным побуждением не превышает 10 м, поэтому их применяют в многоквартирных жилых домах с установкой в подвале здания разнообразных конструкций огневых калориферов на твердом, жидком или газообразном топливе (лист III 6, рис 2)

В общественных зданиях (музеях, клубах, кинотеатрах, театрах, торговых предприятиях) воздушные системы отопления устраивают с вентиляторным побуждением

Воздушные системы отопления, совмещенные с приточной вентиляцией, рекомендуются применять в помещениях большого объема (театрах, кинотеатрах и клубах со зрительным залом), не имеющих наружных стен. Кроме того, допускается их устройство в многоэтажных жилых домах. Внедрение этих систем в жилищном строительстве ограничивается из-за сложности регулировки температуры воздуха в отдельных помещениях (лист III 6, рис 3)

Для отопления жилого многоэтажного здания воздух нагревают централизованно калориферными установками с естественным и вентиляторным побуждением, расположенными в подвале, или децентрализованно местными агрегатами, установленными в каждой квартире (лист III 6, рис 4). Такие агрегаты (например, типа КДМ-56С) устанавливают под потолком коридора. Они имеют теплопроизводительность 5000 ккал/ч при объеме подаваемого наружного воздуха 150 м³/ч и параметрах теплоносителя 95—70°С.

Агрегат состоит из центробежного вентилятора Ц-13-50, размещенного на одной оси с электродвигателем АОЛ Б 12-4 мощностью 180 Вт при 1400 об/мин, фильтра для очистки воздуха и воздухонагревателя из спирально-навивных трубчатых элементов. Установка может работать на рециркуляцию и с частным подмешиванием наружного воздуха для вентиляции. Металлоемкость квартирного воздушного отопления примерно в три раза меньше радиаторных систем центрального отопления*.

Для воздушного отопления лестничных клеток многоэтажных жилых домов широко используют конвекторы из чугунных ребристых труб или нагревательных элементов плинтусных приборов. Конвекторы с естественным побуждением устанавливают в подполье или на площадке у входных дверей (лист III 6, рис 3)

Конструктивные детали и расчет воздушного отопления приведены в разделе VII «Вентиляция».

Панельно-лучистое отопление

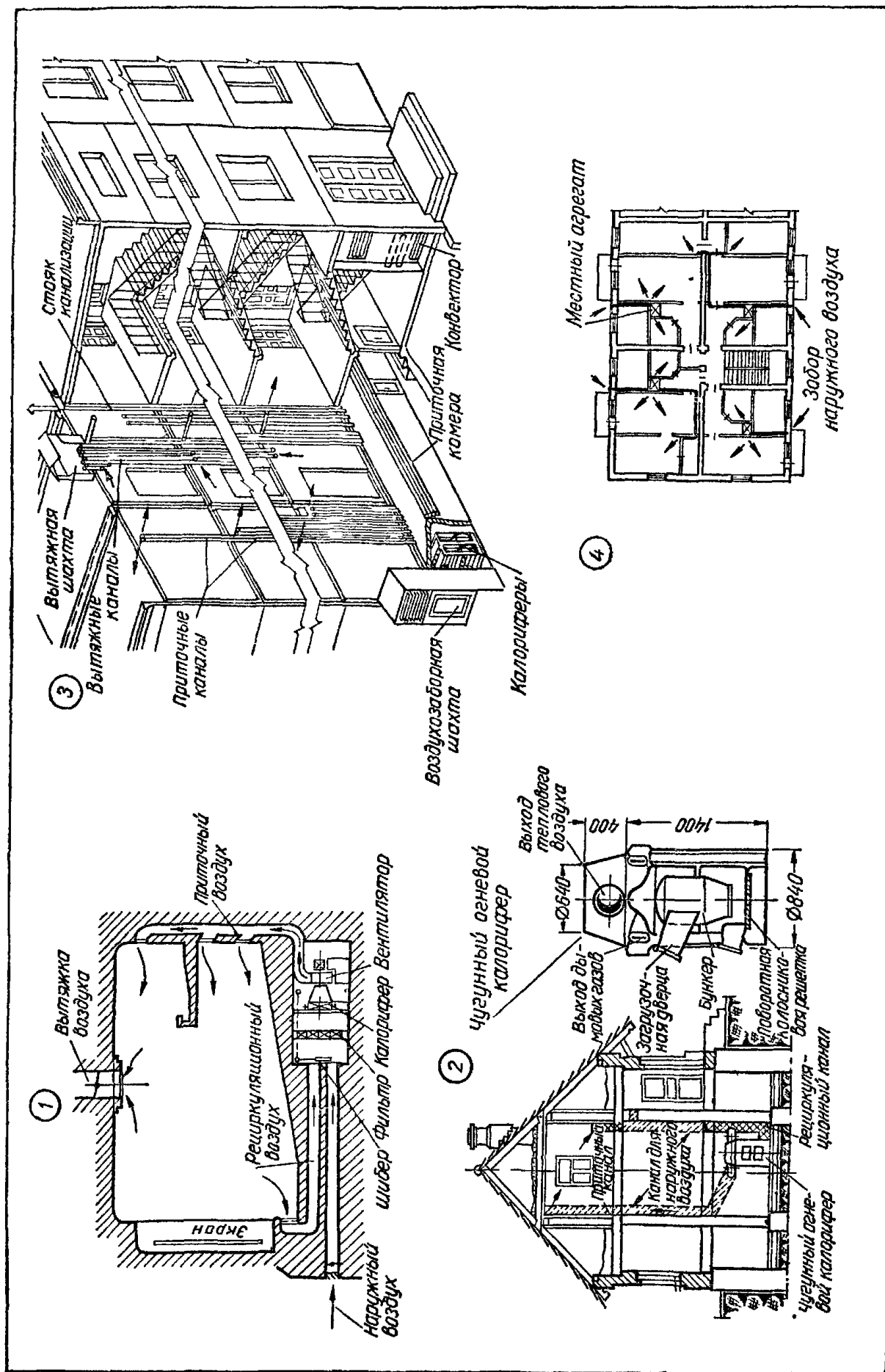
Обогрев помещений при панельно-лучистом отоплении происходит за счет излучения тепла гладкими поверхностями греющих панелей в потолке, полу и стенах. Так, греющий потолок излучает тепла до 80%, пол — до 50, а вертикальные панели стен — до 55% полной теплоотдачи панелей. Остальное количество тепла передается в отапливаемое помещение за счет конвекции. Средняя радиационная температура всех поверхностей выше температуры воздуха в этих помещениях. Поэтому при таком отоплении температура воздуха в комнате может быть более низкой, чем при конвективном (например, радиаторном)**.

При панельном отоплении температура воздуха по высоте помещения более равномерна, чем при системах с чугунными радиаторами. Устройство гладких греющих панелей, заделанных в одной плоскости с внутренними поверхностями конструкции ограждения здания, наиболее гигиенично и не нарушает архитектурной отделки помещения.

В качестве теплоносителя для обогрева панелей используют горячую воду, пар и нагретый воздух с температурой, принимаемой по санитарно-гигиеническим нормам в зависимости от назначения здания. В жилищно-гражданском строительстве

* Главмосстрой. Отопительно-вентиляционный агрегат КДМ 56С для квартирного воздушного отопления. М., изд. Мосгорспецстроя, 1964.

** Ф. А. Миссенар. Лучистое отопление и охлаждение. М., Госстройиздат, 1961.



Лист III.6. Воздушное отопление:

1 — кинотеатра (совмещенное с вентиляцией); 2 — многоквартирного дома; 3 — многоэтажного жилого дома с централизованным подогревом воздуха; 4 — то же, с децентрализованным подогревом воздуха (вытяжные каналы вентиляции не показаны).

в качестве теплоносителя для панельно-лучистого отопления с греющими элементами в потолке и полу применяют горячую воду с параметрами, обеспечивающими нормируемую температуру наружных поверхностей приборов (см. табл. III.1). Вертикальные стеновые панели с греющими элементами рассчитывают для теплоносителей по данным табл. III.1 и III.2. В летнее время при подаче в греющие элементы панелей артезианской воды систему панельно-лучистого отопления можно использовать для частичного охлаждения помещений.

Греющий потолок и пол могут быть выполнены в виде монолитных или сборных железобетонных плит с заделанными в них змеевиками из стальных труб. Вертикальные греющие панели применяются в виде отдельных элементов или в стеновых панелях (наружных стен и перегородок).

Схемы трубопроводов в зависимости от параметров теплоносителя и конструктивных особенностей здания проектируют в виде двух- и однотрубных систем с верхней или нижней разводкой. При этом отдельные элементы греющих панелей рассматриваются как обычные нагревательные приборы.

Систему водяного отопления с греющими потолками желательно устраивать с нижней разводкой и подачей теплоносителя по схеме «снизу — вверх» для более интенсивного удаления воздуха (лист III.7, рис. 1). Отвод воздуха обеспечивается через проточные и центральные воздухоотборники с автоматическими воздухоотводчиками.

На листе III.7, рис. 2 представлена комбинированная система панельного и радиаторного отопления, в которой охлажденная вода от радиаторов циркулирует через змеевики панелей.

Система прокладки греющих одиночных труб по контуру поперечных железобетонных перегородок здания (лист III.7, рис. 3) названа контурным отоплением. Она повышает тепловое напряжение металла, значительно упрощает заготовительно-монтажные операции и снижает металлоемкость системы*.

В крупнопанельных зданиях можно применять комбинированную систему воздушно-лучистого отопления**. У наружной стены помещений устраивают конвективные каналы из сборных железобетонных гладких плит с замоноличенными в них трубами с циркулирующим теплоносителем. У пола и потолка каналы имеют отверстия с решетками, через которые циркулирует воздух помещения, предварительно нагретый в полости конвективного канала. Обращенная в комнату нагретая поверхность каналов отдает тепло конвекцией и излучением. Конвективные каналы не сообщаются между этажами (лист III.7, рис. 4).

В предлагаемой системе отопления в качестве первичного теплоносителя целесообразно использовать высокотемпературную воду с подачей ее в однотрубные П-образные стояки с нижней разводкой.

При использовании греющих трубчатых змеевиков в качестве рабочей арматуры бетонных панелей в жилищном строительстве целесообразно применять потолочно-напольное отопление***.

Системы отопления с греющими бетонными панелями можно применять в зданиях любого назначения. При использовании в панельном отоплении теплоносителей с повышенными параметрами получается значительная экономия металла на трубах и радиаторах. Недостатки этих систем — сложность ремонта и большой расход стальных труб для изготовления змеевиков.

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Типы приборов

По санитарно-гигиеническим требованиям в жилых и общественных зданиях устанавливают нагревательные приборы с гладкой поверхностью, удобной для очистки от пыли, а также с оребренной поверхностью, где это возможно по условиям эксплуатации.

* И. С. Шаповалов. Проектирование панельно-лучистого отопления. М., Госстройиздат, 1966.

** М. Т. Ральчук. Підвищення ефективності систем опалення будинків. Київ, «Будівельник», 1970.

*** Н. С. Стонгин. Панельные перекрытия с потолочно-напольным отоплением. М., Стройиздат, 1975.

Наибольшее распространение получили металлические приборы: гладкие чугунные или штампованные радиаторы панельного типа из листовой стали, гнутые или сварные регистры из гладких труб, чугунные ребристые трубы, а также конвекторы разнообразных конструкций с нагревательными элементами из оребренных стальных труб. Все больше применяются подоконные, стеновые и перегородочные греющие бетонные панели с замоноличенными в них змеевиками из стальных труб.

Поверхность отопительных приборов определяют в эквивалентных квадратных метрах (экм). 1 экм — поверхность прибора с теплоотдачей 435 ккал/ч при разности средней температуры теплоносителя и воздуха в помещении $t_{\text{пр}} - t_{\text{в}} = 64,5^\circ \text{C}$ и подаче воды в прибор в количестве 17,4 кг/ч · экм по схеме «сверху—вниз». В проектах и сметах величину поверхности нагревательных приборов указывают с точностью до 0,1 экм. Тепловое напряжение металла (отношение теплоотдачи к массе) в ккал/ч · кг характеризует эффективность конструкции нагревательного прибора.

В табл. III.7—III.14 приведены показатели нагревательных приборов, выпускаемых промышленностью для систем центрального отопления*.

Таблица III.7. Чугунные радиаторы

Марка прибора	Размеры одной секции, мм				Поверхность нагрева одной секции		Коэффициент a для пересчета м^2 в экм	Показатели на 1 экм	
	h	h_1	b	l	м^2	экм		Масса, кг	Емкость, л
М-140 М-140-АО	582	500	140	96	0,254	0,31	1,22	23,5	4,6
					0,299	0,35	1,17	25,4	4,07
М-140-АО-300	382	300			0,17	0,217	1,27	25,63	5,07
М-90 РД-90С	582	500	79 90		0,2 0,203	0,261 0,275	1,3 1,35	25,2 26,53	4,34 5,45

Примечание. Диаметр ниппеля для всех типов радиаторов составляет 32 мм.

Чугунные радиаторы (лист III.8, рис. 1 и табл. III.7) изготавливаются из чугунного литья секционные двухканальные. Они бывают общего назначения (М-140, М-140-АО) и малой глубины (РД-90С). В зависимости от расстояния между центрами ниппельных отверстий по ГОСТ 8960—59 различают высокие ($h_1 = 1000$ мм), средние ($h_1 = 500$ мм) и низкие ($h_1 = 300$ мм) радиаторы; заводы выпускают средние и в ограниченном количестве низкие. Собирают их из отдельных секций в приборы требуемой поверхности нагрева на ниппелях из ковкого чугуна с прокладками, материал которых зависит от вида и параметров теплоносителя.

Радиаторы испытывают на заводе-изготовителе гидравлическим давлением 9 кгс/см². Они же рассчитаны на рабочее давление 6 кгс/см².

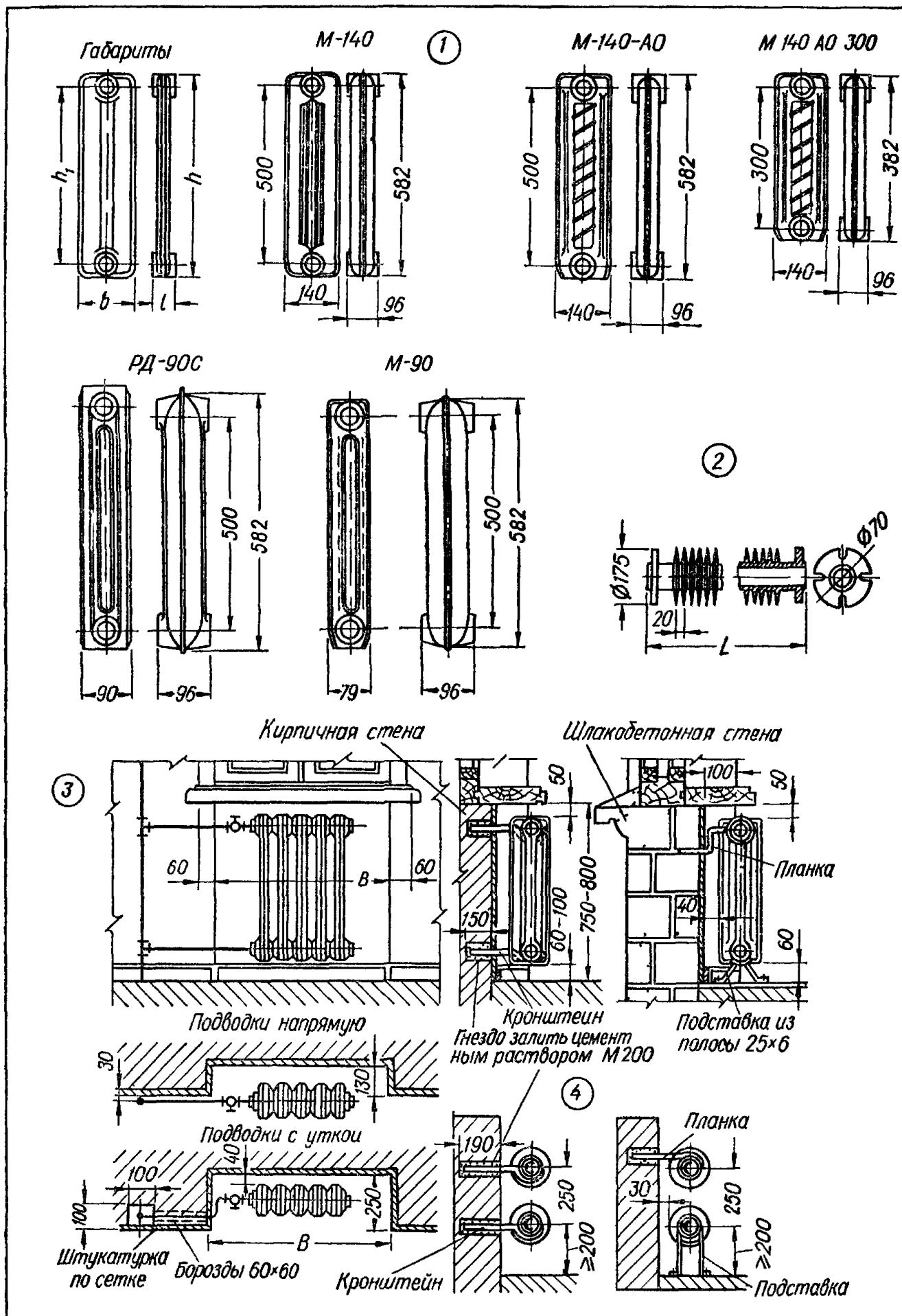
Чугунные ребристые трубы (лист III.8, рис. 2 и табл. III.8) изготавливают цельноотлитыми с круглыми ребрами и собирают в приборы требуемой поверхности нагрева. Монтаж их выполняют с одно- и многорядным расположением по

Таблица III.8. Чугунные ребристые трубы

Строительная длина L , мм	Поверхность нагрева		Показатели на одну трубу		Количество ребер
	м^2	экм	Масса, кг	Емкость, л	
750	1,5	1,03	26,3	2,88	29
1000	2	1,38	35	3,85	43
1500	3	2,07	52,5	5,8	68
2000	4	2,76	70	7,7	93

Примечание. Коэффициент пересчета поверхности нагрева $a = 0,69$.

* Госстрой СССР. Нагревательные приборы. Материалы для проектирования (А6—54). М., изд. Сантехпроекта, 1972.



Лист III.8. Чугунные нагревательные приборы:

1 — секционные радиаторы 2 — ребристые трубы, 3 — установка радиаторов у кирпичных и шлакобетонных стен, 4 — установка ребристых труб

вертикали и расстоянием между трубами 250 мм (см. лист III.8, рис. 4). На заводах ребристые трубы подвергают гидравлическому испытанию на давление 10 кгс/см²; рабочее давление допускается 6 кгс/см².

Стальные штампованные панельные радиаторы (лист III.9, рис. 1 и табл. III.9—III.11) изготавливают однорядными или двухрядными с расстоянием между центрами ниппельных отверстий h_1 для средних радиаторов — 500 и для низких — 350 мм. Теплоотдача двухрядных приборов на 15% меньше теплоотдачи однорядных. Штампованные радиаторы, сваренные по контуру из листовой стали, рассчитаны на рабочее давление 6 кгс/см²; испытывают их гидравлическим давлением 9 кгс/см². Для повышения долговечности стальных штампованных радиаторов допустимое содержание кислорода в циркулирующей воде системы отопления не должно превышать 0,05 мг/кг (СНиП II-36-73).

Таблица III.9. Стальные штампованные панельные радиаторы колончатого типа МЗ (концевые и проходные)

Марка прибора	Поверхность нагрева		Коэффициент <i>a</i>	Размеры, мм			Ем- кость, л	Масса, кг
	м²	экм		<i>L</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁		
Однорядные радиаторы								
МЗ-500-1	0,64	0,83	1,3	518	564	500	2,7	7,5
МЗ-500-2	0,96	1,25		766			4	11
МЗ-500-3	1,2	1,56		952			5	13,8
МЗ-500-4	1,6	2,08		1262			6,65	18,8
МЗ-350-1	0,425	0,6	1,4	518	406	350	1,5	5,77
МЗ-350-2	0,637	0,89		766			2,25	8,65
МЗ-350-3	0,828	1,16		1014			2,8	10,8
МЗ-350-4	1,062	1,49		1262			3,75	14,4
Двухрядные радиаторы								
2МЗ-500-1	1,28	1,41	1,1	518	564	500	5,4	15,3
2МЗ-500-2	1,92	2,12		766			8	22,3
2МЗ-500-3	2,4	2,65		952			10	27
2МЗ-500-4	3,2	3,53		1262			13,3	37,9
2МЗ-350-1	0,85	1,01	1,19	518	406	350	3	11,85
2МЗ-350-2	1,275	1,52		766			4,5	17,6
2МЗ-350-3	1,656	1,97		1014			5,6	21,9
2МЗ-350-4	2,125	2,52		1262			7,5	29,1

Примечания. 1. Для проходных приборов после типоразмера дается индекс «А» (например, 2МЗ-350-4А).

2. Проходные приборы имеют вваренные гайки диаметром 25 мм, а концевые — диаметром 20 мм.

Таблица III.10. Стальные листотрубные радиаторы типа КЛТ *

Длина панели L, мм	Однорядные				Двухрядные			
	Марка	Поверхность нагрева		Мас-са, кг	Марка	Поверхность нагрева		Мас-са, кг
		м ²	экм			м ²	экм	
600	КЛТ-1	0,81	0,77	7,4	2КЛТ-1	1,62	1,31	15,3
800	КЛТ-2	1,08	1,03	9,3	2КЛТ-2	2,16	1,75	19,1

* Рекомендации по проектированию и монтажу систем центрального отопления со стальными листотрубными радиаторами. Киев, НИИСТ МПСМ СССР, 1973.

Длина панели L , мм	Однорядные				Двухрядные			
	Марка	Поверхность нагрева		Масса, кг	Марка	Поверхность нагрева		Масса, кг
		м ²	экв			м ²	экв	
1000	КЛТ-3	1,35	1,29	11,25	2КЛТ-3	2,7	2,19	23
1200	КЛТ-4	1,62	1,55	13,2	2КЛТ-4	3,24	2,64	26,9
1400	КЛТ-5	1,89	1,8	15,15	2КЛТ-5	3,78	3,06	30,8
1600	КЛТ-6	2,16	2,06	18,45	2КЛТ-6	4,32	3,5	37,4
2000	КЛТ-7	2,7	2,58	23	2КЛТ-7	5,4	4,38	46,5

Примечание. В таблице указана масса радиаторов со змеевиком из обыкновенной водопроводной трубы (ГОСТ 3262—62)

Таблица III.11. Стальные штампованные панельные радиаторы типа ЗС и ЗСТ (РСН 271—74)

Номер прибора	Поверхность нагрева		Размер L , мм	Масса, кг		Емкость, л
	м ²	экв		ЗС	ЗСТ	
3	0,73	0,97	545	7,57	8,37	3,34
4	0,93	1,24	694	9,6	10,55	4,26
5	1,13	1,51	844	11,66	12,1	5,22
6	1,35	1,81	1018	13,98	14,2	6,26
7	1,6	2,13	1190	16,37	16,74	7,34

Примечания. 1. Приборы типа ЗС — с тыльным подключением к трубопроводу (для этого вварены муфты диаметром 20 мм), а ЗСТ — с торцовым.

2. Коэффициент пересчета поверхности нагрева $a = 1,33$.

3. В таблице приведены данные для однорядных приборов марок ЗС-11-3, ЗСТ-11-3 и т. д. Приборы двухрядные имеют марки ЗС-21-3, ЗСТ-21-3 и т. д.

Радиаторы стальные листотрубные змеевикового типа КЛТ состоят из профилированного стального листа и приваренного с тыльной стороны к нему змеевика из стальных труб.

Применение стальных панельных радиаторов не допускается в системах парового отопления и системах водяного отопления, не имеющих установок для химводочистки и обескислороживания воды*.

Регистры из гладких труб (лист III.9, рис. 2) изготавливают сварными из стальных водопроводных или тонкостенных бесшовных труб (ГОСТ 3262—62, ГОСТ 8732—70, ГОСТ 10704—63) и выполняют горизонтальными, вертикальными, однорядными и многорядными в зависимости от места их установки.

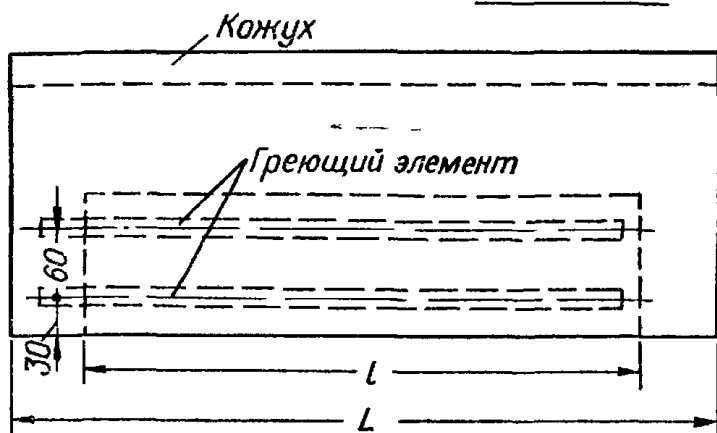
Конвекторы (лист III.10 и табл. III.12—III.14) изготавливают с кожухом или без него. Они имеют хорошие тепловые показатели и относительно малый расход металла по сравнению с другими типами нагревательных приборов.

Конвекторы типа «Комфорт» состоят из кожуха с клапаном для регулирования теплоотдачи прибора по воздуху, воздуховыпускной решетки и трубчатого оребренного нагревателя. Изготавливают их низкими, настенными и островными, устанавливаемыми на полу (лист III.10, рис. 1). Эти конвекторы можно устанавливать группами в комбинации проходных приборов с концевыми.

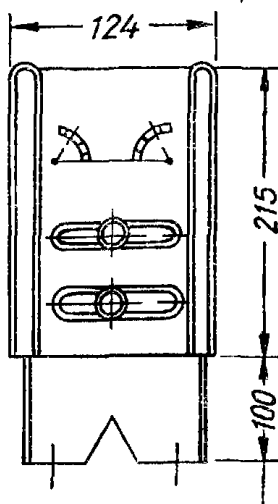
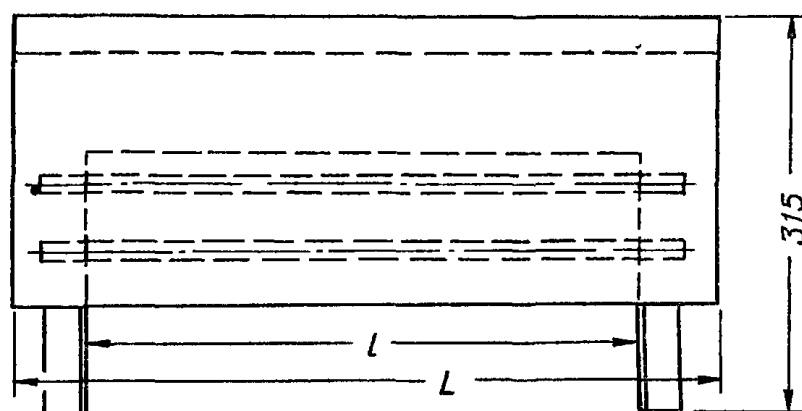
* Госстрой УССР. Указания по проектированию, монтажу и эксплуатации систем центрального водяного отопления со стальными панельными радиаторами змеевикового типа с торцовым и тыльным подключением (РСН 271—74).

1

Настенный

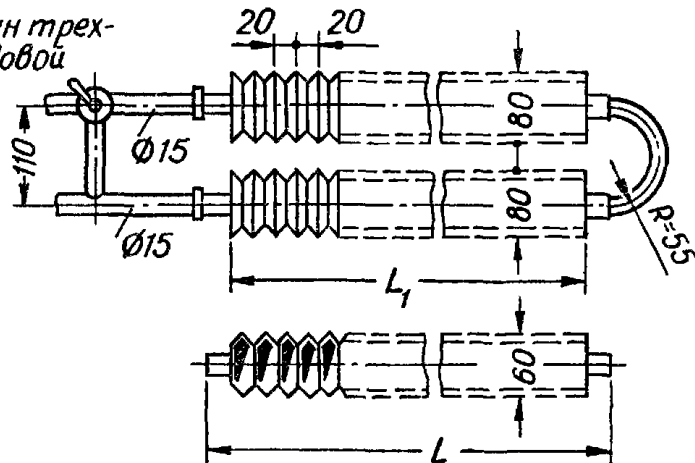


Островной

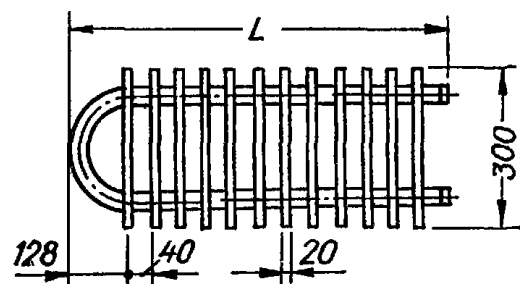
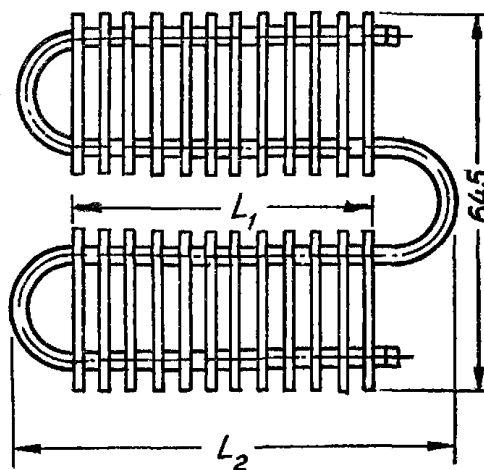


2

Кран трех-ходовой



3



Лист III.10. Конвекторы:

1 — «Комфорт»; 2 — плинтусные КП без кожуха; 3 — «Аккорд» (однорядный и двухрядный).

Таблица III.12. Конвекторы типа «Комфорт» низкие (концевые)

Марка прибора	Поверхность на- грева l , экм	Размеры, мм		Масса, кг
		L	l	
Настенные двухтрубные				
НН-1	0,76	710	600	5,5
НН-2	1,27	1110	1000	8,7
НН-3	1,78	1510	1400	11,6
НН-5	0,985	710	600	7,5
НН-6	1,24			5
НН-8	1,64	1110	1000	7,5
НН-9	2,06			5
НН-11	2,3	1510	1400	7,5
НН-12	2,87			5
Настенные четырехтрубные				
НН-13	1,53	710	600	11
НН-14	2,55	1110	1000	15
НН-15	3,57	1510	1400	20
Островные двухтрубные				
Н-5	0,985	710	600	8
Н-6	1,24			9
Н-8	1,64	1110	1000	12
Н-9	2,06			14
Н-11	2,3	1510	1400	18
Н-12	2,87			18
Островные четырехтрубные				
Н-13	1,53	710	600	12
Н-14	2,55	1110	1000	17
Н-15	3,57	1510	1400	23

Примечание. Показатели концевых и проходных моделей конвекторов одинаковы. Проходные конвекторы имеют индекс «А» (например, НН-5А, Н-8А).

Таблица III.13. Однорядные плинтусные конвекторы типа КП без кожуха

Размеры, мм		Технические данные для одного элемента конвектора					
		15КП			20КП		
		Поверхность нагрева		Масса, кг	Поверхность нагрева		Масса, кг
L	L_1	m^2	экм		m^2	экм	
750	700	0,55	0,34	2,6	0,68	0,42	3
1000	950	0,73	0,46	3,4	0,91	0,57	4
1250	1200	0,95	0,6	4,2	1,15	0,72	5,2
1500	1450	1,14	0,7	5	1,43	0,89	6
1750	1700	1,37	0,86	5,9	1,67	1,04	7,2

Примечания. 1. Конвекторы маркируются так: 15КП-1,5, 20КП-0,75 и т. д. Цифры 15 и 20 обозначают диаметр трубы нагревательного элемента, а цифры 1,5 и 0,75 показывают длину конвектора в м.

2. Коэффициент пересчета m^2 в экм для конвекторов 15КП составляет 0,63, для конвекторов 20КП — 0,62.

Таблица III.14. Отопительный прибор типа «Аккорд» (концевой)

Марка прибора	Поверхность нагрева, экм		Размеры, мм			Масса, кг	
	однорядного	двухрядного	L	L ₁	L ₂	однорядного	двухрядного
A12	0,6	1,105	610	460	728	5,62	12,1
A16	0,8	1,47	770	620	888	7,2	15,46
A20	1	1,84	930	780	1048	8,97	18,86
A24	1,2	2,21	1090	940	1208	10,63	22,18
A28	1,4	2,58	1250	1100	1368	12,29	25,5
A32	1,6	2,94	1410	1260	1528	13,95	28,82
A36	1,8	3,31	1570	1420	1688	15,67	32,26
A40	2	3,78	1730	1580	1848	17,27	35,46
A40П	2	—	1645	1580	—	17,3	—

Примечание. Приборы маркируются так: при однорядной установке — А24, А40 и т. д., при двухрядной — 2А24, 2А40 и т. д. Цифры после индекса «А» показывают число пластин оребрения.

Плентусные конвекторы типа КП без кожуха комплектуют в блоки, соединенные между собой последовательно или параллельно с одно- и многорядным расположением элементов по вертикали. Узлы подводов трубопроводов с блоками предусматриваются трех типов: со смещенными замыкающими участками и трехходовыми кранами (лист III.10, рис. 2), проточные без кранов, с осевыми замыкающими участками и трехходовыми кранами.

Отопительные приборы «Аккорд» настенного типа без кожуха (лист III.10, рис. 3) представляют собой трубчатые оребренные нагреватели. Они имеют три исполнения: однорядные проходные, одно- и двухрядные концевые. Трубчатые оребренные нагреватели конвекторов рассчитаны на давление до 10 кгс/см².

Бетонные греющие панели (листы III.11 и III.12, табл. III.15) изготавливают в виде монолитных или сборных плит толщиной 40—50 мм с заделанными в них змеевиками из стальных водогазопроводных или тонкостенных бесшовных труб диаметром 15—20 мм; нагревательные элементы — сварные*.

В результате хорошего контакта бетона с трубами через стальную стенку трубы змеевика происходит эффективная теплопередача от теплоносителя к бетонной оболочке. Быстрый и равномерный прогрев бетонной плиты объясняется высоким коэффициентом теплопроводности бетона $\lambda = 1,25$ ккал/(м · ч · °С). Сочетание бетона и стальных труб почти не влияет на температурные деформации греющих бетонных панелей.

Для изготовления панелей следует применять бетон объемной массой не ниже 2400 кг/м³. Толщина слоя бетона относительно оси труб змеевика должна составлять не менее 20 мм. Перед бетонированием наружную поверхность труб змеевика тщательно очищают от ржавчины металлическими щетками, а при загрязнении промывают жиром в содовом растворе. Изготовленные змеевики испытывают на плотность в течение 2 мин гидравлическим давлением 15 кгс/см².

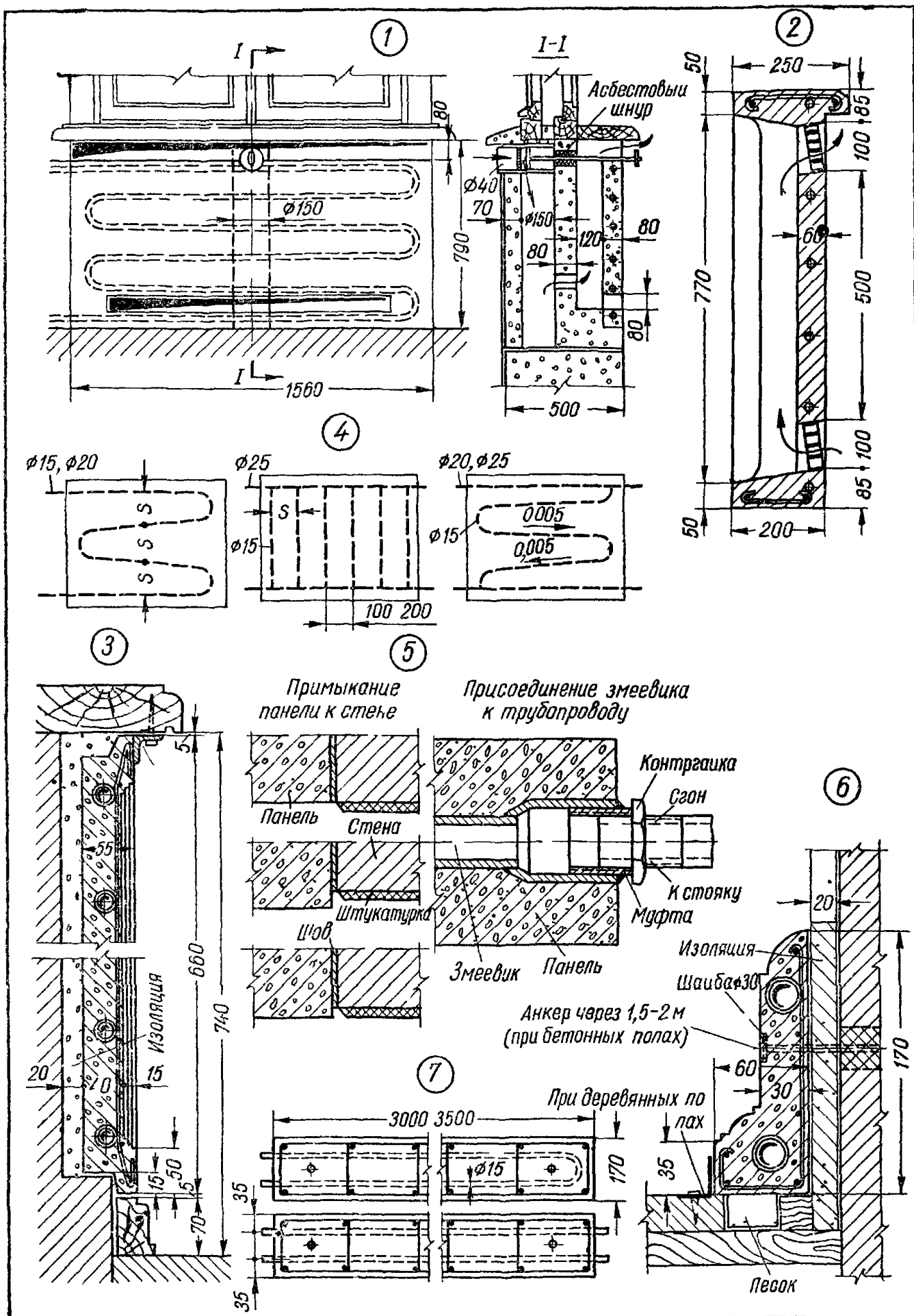
Змеевики закрепляют в опалубке так, чтобы обеспечить заданную толщину слоя бетона над трубами и уклон витков змеевика к выходам труб из панелей не менее 0,005 (лист III.11, рис. 4). В перекрытиях уклон труб змеевиков греющих потолков и полов допускается уменьшить до 0,002.

Для повышения прочности кромок панелей по контуру плиты предусматривают обвязку арматуры с крючками (лист III.11, рис. 3). Лицевую поверхность панелей иногда офактуривают мраморной крошкой с последующей полировкой.

Панели под окнами обычно имеют высоту 700 мм и длину по ширине окна.

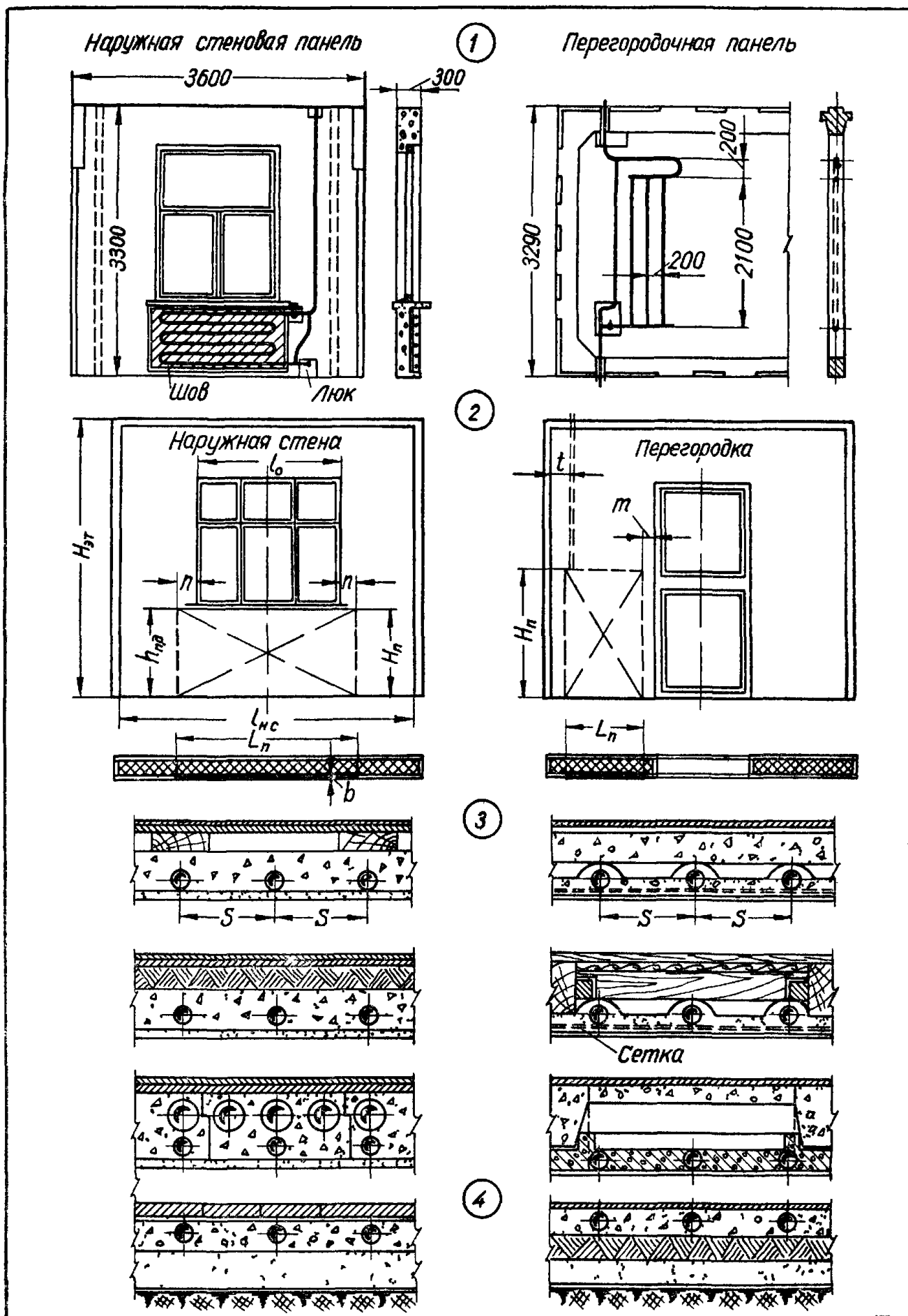
На листе III.11, рис. 5 показаны конструктивные детали заделки бетонных греющих панелей в стенах здания.

* Госстрой СССР. Указания по проектированию и осуществлению систем панельного отопления со стальными нагревательными элементами в наружных стенах крупнопанельных зданий (СН 398—69).



Лист III.11. Греющие бетонные панели:

1 — с подогревом наружного воздуха 2 — с двухсторонней теплоотдачей 3 — с одной стороной теплоотдачей 4 — схемы змеевиков 5 — конструктивные детали 6 — греющий бетонный плинтус, 7 — схемы змеевиков в плинтусах.



Лист III.12. Греещие бетонные панели:

1 — крупнопанельные элементы здания с греющими змеевиками, 2 — размеры греющих панелей, 3, 4 — греющие панели в потолке и в полу

Панели можно устанавливать с одно- и двусторонней теплоотдачей (лист III.11, рис. 1—3). Греющие бетонные плитусы (лист III.11, рис. 6, 7) удобно применять для отопления коридоров, вестибюлей и прочих вспомогательных помещений, а также для обогрева магазинных витрин.

В крупнопанельном строительстве применяются стеновые и перегородочные панели (лист III.12, рис. 1, 2). Змеевики панелей присоединяют подводками к трубопроводам-стоякам при помощи сгоновых соединений. Конструктивные решения панелей греющего потолка и пола весьма разнообразны (лист III.12, рис. 3, 4).

При конструировании вертикальных греющих бетонных панелей в наружных стенах и перегородках размеры их рекомендуется принимать по табл. III.15.

Таблица III.15. Рекомендуемые размеры вертикальных отопительных панелей, мм (лист III.12, рис. 2)

Наименование показателей	Размеры панелей при расположении их			
	в наружной стене		в перегородке	
	мин.	макс.	мин.	макс.
Ширина $L_{\text{п}}$	$l_0 + 200$ (по расчету)	$l_{\text{н.с}} (l_0 + 400)$	По расчету	1600
Высота $H_{\text{п}}$	$h_{\text{п.д}} - 10$		То же	1000
Толщина b при диаметре трубы змеевика 15 мм	40	Конструктивно	40	Конструктивно
То же, 20 мм	50	»	50	»
Выступ за пределы окна n	$l_0 + 200$		—	
Расстояние от панели до двери m	50	По расчету	—	
Расстояние от стояка до стены t	150	Конструктивно	150	Конструктивно

Примечание Высоту панели $H_{\text{п}}$ в перегородке можно принять при соответствующем обосновании более 1000 мм

Примерная номенклатура низких вертикальных бетонных панелей с одно- и двусторонней теплоотдачей включает три их типа: П-4/Л, П-6/Л, П-8/Л (цифры 4, 6, 8 — количество горизонтальных участков труб нагревательных элементов, Л — общая длина панели). По длине дается всего пять типоразмеров панелей: $L = 1,2$; 1,4; 1,8 и 2 м.

Установка приборов и присоединение их к трубопроводу

Способ установки нагревательных приборов должен соответствовать архитектурному оформлению помещения, отвечать характеру здания и классу его отделки. Нагревательные приборы следует располагать преимущественно под окнами у наружных стен. В этом случае они создают равномерный обогрев воздуха в помещении и препятствуют появлению токов холодного воздуха над полом и возле окон, что наблюдается при печном отоплении. Как правило, все нагревательные приборы устанавливают открыто без ограждений, по возможности в нишах (табл. III.16).

В помещениях с мокрым влажностным режимом (в банях, прачечных и т. п.), а также в зданиях с высокими требованиями гигиены (в лечебно-профилактических учреждениях) отопительные приборы устанавливают свободно у стен без ниш.

Установка секционных чугунных радиаторов и ребристых труб показана на листе III.8, рис. 3, 4.

Приборы в помещении следует располагать симметрично с наименьшим количеством отопительных стояков и подводками к приборам длиной не более 1—1,25 м. Рекомендуется смещать нагревательные приборы на 200 мм от края ниши, при этом

Т а б л и ц а III.16. Наименьшая ширина ниш для радиаторов М-140 и М-140-АО, см

Вид подводки	Число секций								
	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	17—18	19—20
С уткой	105	118	131	157	172	196	222	235	248
Напрямую	79	105	118	144	157	172	196	209	235

П р и м е ч а н и е. Ширина ниш принята без учета штукатурки. Размеры их даны для кирпичных стен, толщина швов кладки в которых принята 1 см. Наибольшая ширина подоконной ниши должна быть на 12 см меньше ширины окна в свету, что не нарушает прочности заделки подоконной доски.

стояк располагают на расстоянии 150 ± 50 мм от откоса оконного проема. Такой способ установки нагревательных приборов позволяет унифицировать стояки для индустриальной заготовки в однострунных вертикальных системах с односторонним присоединением приборов.

Нагревательные приборы, как правило, устанавливаются на кронштейнах, заделанных в стены. Допускается также установка на особых металлических подставках. Легкие приборы (например, штампованные радиаторы из листовой стали) устанавливают на кронштейнах, которые укрепляют на дюбелях, заделанных в стены.

При установке приборов в укрытиях с архитектурно-оформленными решетками для сохранения нормальной теплоотдачи поверхности нагрева суммарная площадь живого сечения решетки должна составлять не менее 70% общей площади укрытия.

Окраска наружной поверхности нагревательных приборов с применением алюминиевого или бронзового порошка, декоративные гальванические покрытия и прочие виды отделки, снижающие лучистую теплоотдачу радиаторов, не допускаются.

Конвекторы с боковым выпуском нагретого воздуха устанавливают обычно в нишах под окнами, а с верхним выпуском воздуха — у глухих стен и перегородок без ниш (лист III.10, рис. 1).

В зданиях до 4 этажей нагревательные приборы в лестничных клетках располагают при входе, не перенося их на лестничные площадки, так как они не должны загромождать проходы. В зданиях выше 4 этажей отопление лестничных клеток предусматривают при помощи конвекторов. Устанавливать приборы в отсеках тамбуров с наружным входом не разрешается.

Во избежание замерзания приборов на первом этаже лестничных клеток наружные входы должны иметь тамбуры или двойные утепленные двери.

От правильности присоединения приборов к трубопроводам системы отопления в большой степени зависит их прогрев. В жилых домах с высотой помещения 2,5 м количество стояков с односторонним присоединением приборов не ограничивается. К стоякам, питающим приборы лестничных клеток, не следует присоединять приборы других помещений. В угловых комнатах размещение стояков должно обеспечить прогрев углов наружных стен.

Основные правила присоединения нагревательных приборов к трубопроводу водяной системы отопления сводятся к следующему:

радиаторы с количеством секций до 25 присоединяют по односторонней схеме, а более 25 — по разносторонней; в системах с естественным побуждением для радиаторов с числом секций более 15 рекомендуется разностороннее присоединение;

подводки к приборам прокладывают с уклоном не менее 10 мм на всю длину; присоединение приборов на сцепке допускается в пределах одного помещения, за исключением кладовых, санузлов и других вспомогательных помещений, где их можно присоединять на сцепке к прибору соседней комнаты; на сцепке присоединяют лишь однородные приборы, установленные на одном уровне и на расстоянии не более 1,5 м; сцепки более двух приборов разрешаются при насосной циркуляции и разностороннем присоединении;

диаметр соединительных труб сцепки радиаторов должен быть на один размер больше диаметра подводок к прибору, но не менее 25 мм в системах с насосной циркуляцией и 32 мм — с естественной;

при паре низкого давления установка на сцепке более двух приборов не рекомендуется;

конвекторы с кожухом (например, «Комфорт») присоединяют к трубопроводу высокотемпературной воды по проточной схеме, а конвекторы плитного типа без кожуха — по проточно-регулируемой схеме с установкой трехходовых кранов (см. лист III.3, рис. 2); конвекторы лестничных клеток присоединяют непосредственно от узла ввода теплосети на высокотемпературной воде (до элеватора);

чугунные ребристые трубы присоединяют к трубопроводу на фланцах с эксцентричной газовой резьбой для надежного отвода воздуха и спуска воды.

Регулирование теплоотдачи

В водяных системах отопления теплоотдачу нагревательных приборов регулируют качественно (изменением температуры теплоносителя из теплового центра — ТЭЦ, районной котельной или котельной местной системы отопления) и количественно (изменением расхода теплоносителя из теплового центра, из отдельных частей системы отопления здания — узла управления, ответвлений магистральных трубопроводов — и непосредственно у нагревательных приборов). Качественное регулирование возможно только центральное, а количественное может быть центральным и местным. Однако в зданиях с благоприятной ориентацией на местности успешно применяется качественное регулирование водяного отопления как центральное, так и местное (пофасадное регулирование) *.

Местное регулирование расхода теплоносителя осуществляется установкой на подводках к приборам кранов двойной регулировки (лист III.13, рис. 1). Обычно такие краны устанавливают на горячей подводке. На сепках между приборами установка арматуры не допускается. Краном двойной регулировки производится первичное регулирование (во время монтажа, при тепловом испытании и наладке системы) и вторичное (в процессе эксплуатации).

В вертикальных и горизонтальных однотрубных системах с замыкающими участками у приборов устанавливают трехходовые краны или краны двойной регулировки. Трехходовыми кранами регулируют расход теплоносителя и теплоотдачу нагревательных приборов, работающих по проточной схеме (лист III.13, рис. 3).

Крановая арматура выпускается по ГОСТ 10944—64 двух размеров (15 и 20 мм). Центральное регулирование расхода теплоносителя местной системы производится с помощью запорно-регулирующей арматуры — задвижек, вентилях прямооточных и пробочных кранов (лист III.13, рис. 2). Центральное регулирование расхода систем отопления зданий, присоединенных к тепловым сетям ТЭЦ, осуществляется изменением режима работы насосов.

В системах водяного отопления, особенно с естественной циркуляцией, запорно-регулирующая арматура должна иметь минимальное гидравлическое сопротивление проходу теплоносителя, поэтому применение для них вентилях обычного типа не разрешается. У приборов двухтрубных систем отопления с насосной циркуляцией для уменьшения вертикальной разрегулировки приходится устанавливать краны с высоким гидравлическим сопротивлением.

В паровой системе отопления с избыточным давлением пара центральное качественное регулирование теплоотдачи нагревательных приборов практически неосуществимо, так как температура насыщенного пара с изменением давления меняется незначительно.

В зависимости от системы отопления и параметров теплоносителя у нагревательных приборов на подводках устанавливают следующую запорно-регулирующую арматуру:

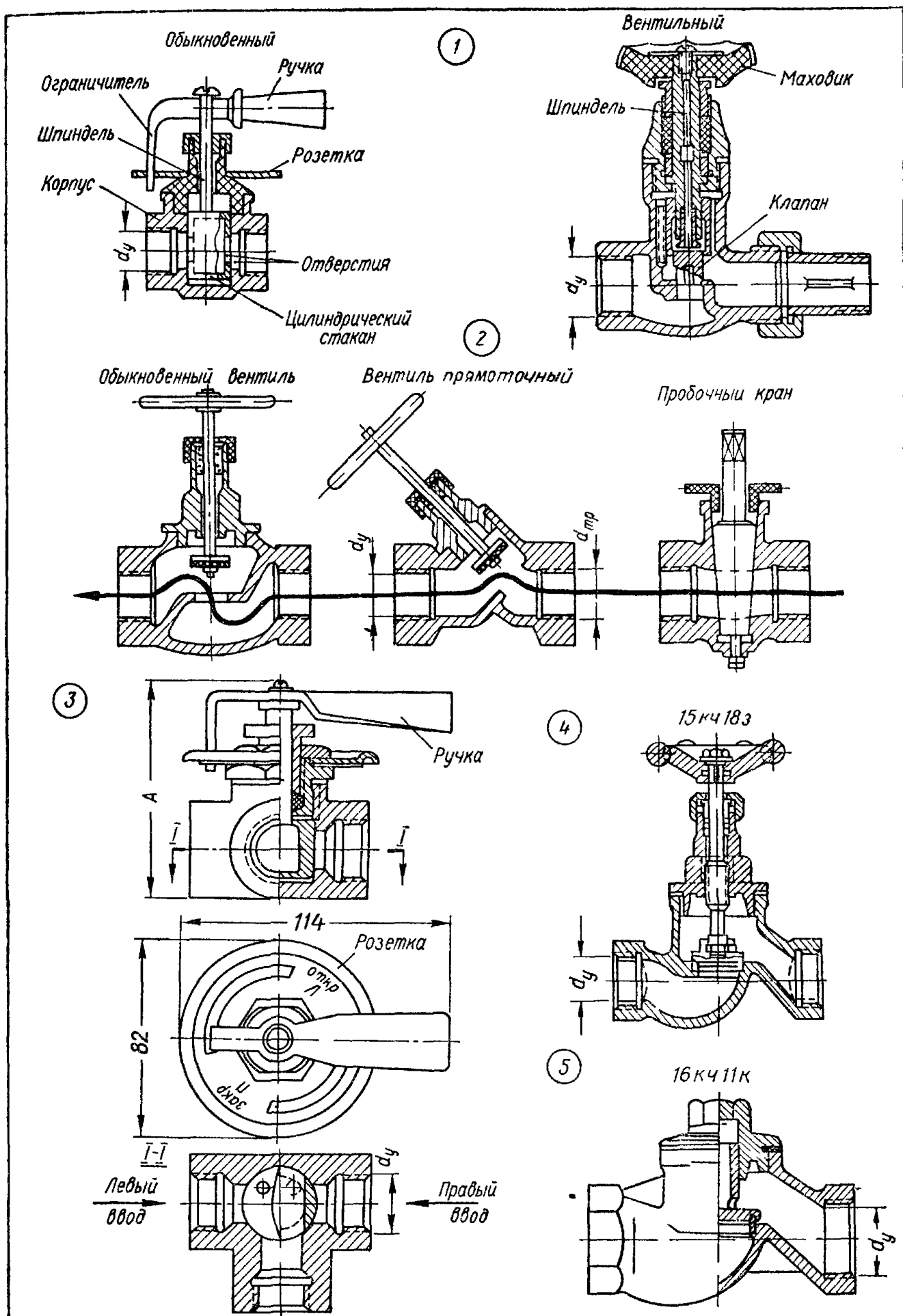
при водяном отоплении с температурой воды ниже 100° С на горячей подводке — краны двойной регулировки (в однотрубных системах с замыкающими участками на обратных подводках — также трехходовые краны);

при водяном отоплении с температурой воды выше 100° С на горячей или обратной подводках — прямооточные вентилях или трехходовые краны;

при паровом отоплении низкого давления на паровой подводке — паровой вентиль, а на конденсационной — регулировочный тройник с пробкой;

при паровом отоплении высокого давления на паровой и конденсационной подводках — паровые вентилях.

* В. П. Туркин. Отопление жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий. Челябинск, Южноуральское книжное издательство, 1970.



Лист III.13. Запорно-регулирующая арматура нагревательных приборов:

1 — краны двойной регулировки, 2 — движение потока в различных типах арматуры, 3 — трехходовой кран (при $d_y = 20$ мм $A = 91$ мм, при $d_y = 25$ мм $A = 112$ мм); 4 — запорный муфтовый вентиль ($d_y = 15+50$ мм); 5 — обратный клапан для холодной воды ($d_y = 15+50$ мм).

Греющие бетонные панели и конвекторы целесообразно присоединять к проточным однетрубным стоякам водяного отопления. Теплоотдачу панелей в однетрубных системах с замыкающими участками регулируют вентилем, смонтированным на замыкающем участке, или трехходовым краном при одностороннем присоединении к стояку.

Теплоотдачу конвекторов по воздуху регулируют клапаном, а по расходу теплоносителя — арматурой на подводке к ребристому нагревателю.

Запорно-регулирующую арматуру разрешается устанавливать на группу приборов, расположенных в одном или однородных производственных и вспомогательных помещениях. В местах, где возможно замерзание нагревательных приборов, такую арматуру не устанавливают.

Расчет поверхности нагрева и подбор приборов

Расчетная поверхность нагревательных приборов F_p определяется в эквивалентных квадратных метрах (экм) по известным величинам теплопотерь отапливаемого помещения и теплоотдачи для принятых к установке приборов. Если в помещении трубопроводы системы отопления проложены открыто, то в расчете учитывают их полезную теплоотдачу для принятых диаметров труб. Кроме того, в расчетах учитывают необходимые поправки. Расчетную поверхность определяют по формуле

$$F_p = F_{пр} - F_{тр} = \frac{Q_{\tau}}{q_{\varepsilon}} - F_{тр} \quad (\text{III.1})$$

или

$$F_p = \frac{Q_{\tau} - Q_{тр}}{q_{\varepsilon}},$$

где $F_{пр}$ — требуемая поверхность нагревательных приборов, экм;

$F_{тр}$ — поверхность нагрева открыто проложенных трубопроводов, экм, принимаемая по табл. III.17 и III.18, в которых значения $F_{тр}$ приведены для стандартных этажестояков;

Q_{τ} — теплопотери помещения, ккал/ч;

$Q_{тр}$ — полезная теплоотдача открыто проложенных трубопроводов, ккал/ч на 1 м трубы, принимаемая по табл. III.36.

Теплоотдачу принятых к установке нагревательных приборов в ккал/ч · экм определяют по формуле

$$q_{\varepsilon} = 7,98 (\Delta t_{\tau} - 10) \alpha z, \quad (\text{III.2})$$

$$\Delta t_{\tau} = 0,5 (t_{вх} + t_{вых}) - t_{в} = t_{пр} - t_{в} - \quad (\text{III.3})$$

разность средней температуры теплоносителя в нагревательном приборе и температуры окружающего воздуха, °С (для воды в двухтрубных системах средняя температура теплоносителя равна полусумме температур на входе и выходе, для пара при $p \leq 0,2$ кгс/см² ее принимают равной 100°С, а при более высоком давлении — равной температуре насыщенного пара по табл. III.5);

α — поправочный коэффициент, зависящий от относительного расхода воды $\bar{G}$ для радиаторов и расчетного расхода воды G для конвекторов плинтусного типа без кожуха;

$z = 1$ — поправка на схему питания приборов водой «сверху — вниз» (для других случаев эту поправку принимают по опытным данным).

Относительный расход воды через прибор, представляющий собой отношение расхода воды через 1 экм прибора к нормальному расходу, равному 17,4 кг/ч · экм, вычисляют по формуле

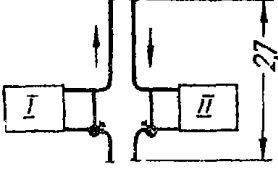
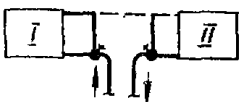
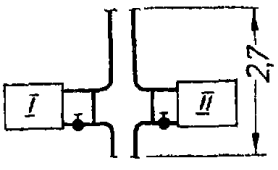
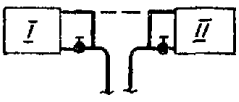
$$\bar{G} = \frac{q_{\varepsilon}}{17,4 \Delta t_{пр}}, \quad (\text{III.4})$$

где $\Delta t_{пр}$ — перепад температур теплоносителя в нагревательном приборе, °С.

Расчетный расход теплоносителя в кг/ч находят по формуле

$$G = \frac{Q_{\tau}}{\Delta t_{пр}} = \frac{Q_{\tau}}{t_{вх} - t_{вых}}. \quad (\text{III.5})$$

Таблица III.17. Поверхность нагрева этажестояков радиаторных однотрубных систем водяного отопления $F_{тр}$, эквивалентная полезной теплоотдаче трубопроводов (СН 419—70)

Эскиз узла	Диаметр труб, мм			$F_{тр}$, экм	
	стояка	обходного или замыкающего участка	подводки	I	II
Вертикальные узлы					
	15	15	15	0,4/0,46	0,35/0,4
	20	20	20	0,5/0,57	0,43/0,49
	25	25	25	0,62/0,68	0,53/0,58
	15	15	15	0,14/0,2	0,12/0,11
	20	20	20	0,17/0,24	0,14/0,2
	25	25	25	0,2/0,26	0,18/0,24
	15	15	15	0,5 /0,54	0,42/0,45
	20	15	20	0,58/0,63	0,5 /0,54
	25	20	25	0,72/0,78	0,61/0,68
	15	15	15	0,23/0,25	0,18/0,2
	20	15	20	0,25/0,28	0,2 /0,22
	25	20	25	0,31/0,34	0,25/0,27
Горизонтальные узлы					
	15	15	15	0,16/0,14	
	20	20	20	0,2 /0,17	
	25	25	25	0,25/0,21	
	15	15	15	0,28	
	20	20	20	0,36	
	25	25	20	0,44	

Примечания. 1. На эскизах сплошными линиями указаны трубопроводы, полезная теплоотдача которых учтена в таблице.

2. Для вертикальных радиаторных узлов в числителе дана теплоотдача при прямой подводке, в знаменателе — при подводке с утками, для горизонтальных проточных узлов в числителе — теплоотдача радиаторов высотой 0,5 м, в знаменателе — высотой 0,3 м.

3. Полезная теплоотдача дана для вертикальных узлов с радиаторами высотой до 0,5 м, для горизонтальных радиаторных узлов с замыкающими участками принимается с поправкой на число секций в приборе;

Число секций . . . 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
Поправка 0,68 0,74 0,79 0,84 0,9 0,95 1 1,05 1,1 1,16 1,21 1,26 1,31

4. При размерах этажестояков, отличных от приведенных, их полезная теплоотдача уточняется по теплоотдаче труб (табл. III.18).

Таблица III.18. Поверхность нагрева труб водяного отопления $F_{тр}$, эквивалентная полезной теплоотдаче трубопроводов (СН 419—70)

Вид прокладки трубопроводов	Значение $F_{тр}$ 1 м труб, экм, при диаметре условного прохода, мм								
	15			20			25		
	Схема подачи воды в радиаторы								
	«сверху — вниз»	«снизу — вниз»	«снизу — вверх»	«сверху — вниз»	«снизу — вниз»	«снизу — вверх»	«сверху — вниз»	«снизу — вниз»	«снизу — вверх»
Горизонтальная	0,098	0,098	0,114	0,123	0,122	0,143	0,154	0,153	0,179
Вертикальная	0,131	0,13	0,152	0,158	0,157	0,184	0,19	0,188	0,22

В двухтрубных системах водяного отопления при параллельном питании нагревательных приборов горячей водой величина $\Delta t_{пр}$ постоянна и равна разности температур теплоносителя для принятых параметров ($\Delta t_{пр} = t_r - t_0$). В однетрубных системах при последовательном питании нагревательных приборов горячей водой величина $\Delta t_{пр}$ переменная и определяется специальным расчетом (см. стр. 144) или при помощи вспомогательных таблиц (табл. III.34, III.35). При определении Δt_r учитывают общее понижение температуры горячей воды на участках подающей магистрали до рассматриваемого стояка $t_r - \Delta t_m$, если $\Delta t_m > 1^\circ\text{C}$. В насосных системах водяного отопления на каждые 10 м изолированных труб принимают следующие величины Δt_m :

d_y , мм . . .	25—40	50	70—90	125—150
Δt_m , $^\circ\text{C}$. . .	0,4	0,3	0,2	0,1

Таблица III.19. Коэффициент β_1 , учитывающий остывание воды в трубах

Число приборов	Рассчитываемый при											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
3	1,04											
4	1,03	1,04										
5	1,02	1,03	1,04									
6	1	1,02	1,03	1,04								
7	1	1	1,02	1,03	1,04							
8	1	1	1	1,02	1,03	1,04						
9	1	1	1	1	1,02	1,03	1,04					
10	1	1	1	1	1,02	1,03	1,03	1,04				
11	1	1	1	1	1	1,02	1,03	1,04	1,04			
12	1	1	1	1	1	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04		
13	1	1	1	1	1	1	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	
14	1	1	1	1	1	1	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	
15	1	1	1	1	1	1	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	
16	1	1	1	1	1	1	1	1,02	1,02	1,02	1,03	
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	1,02	1,02	
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	1,02	
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	1,02	
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

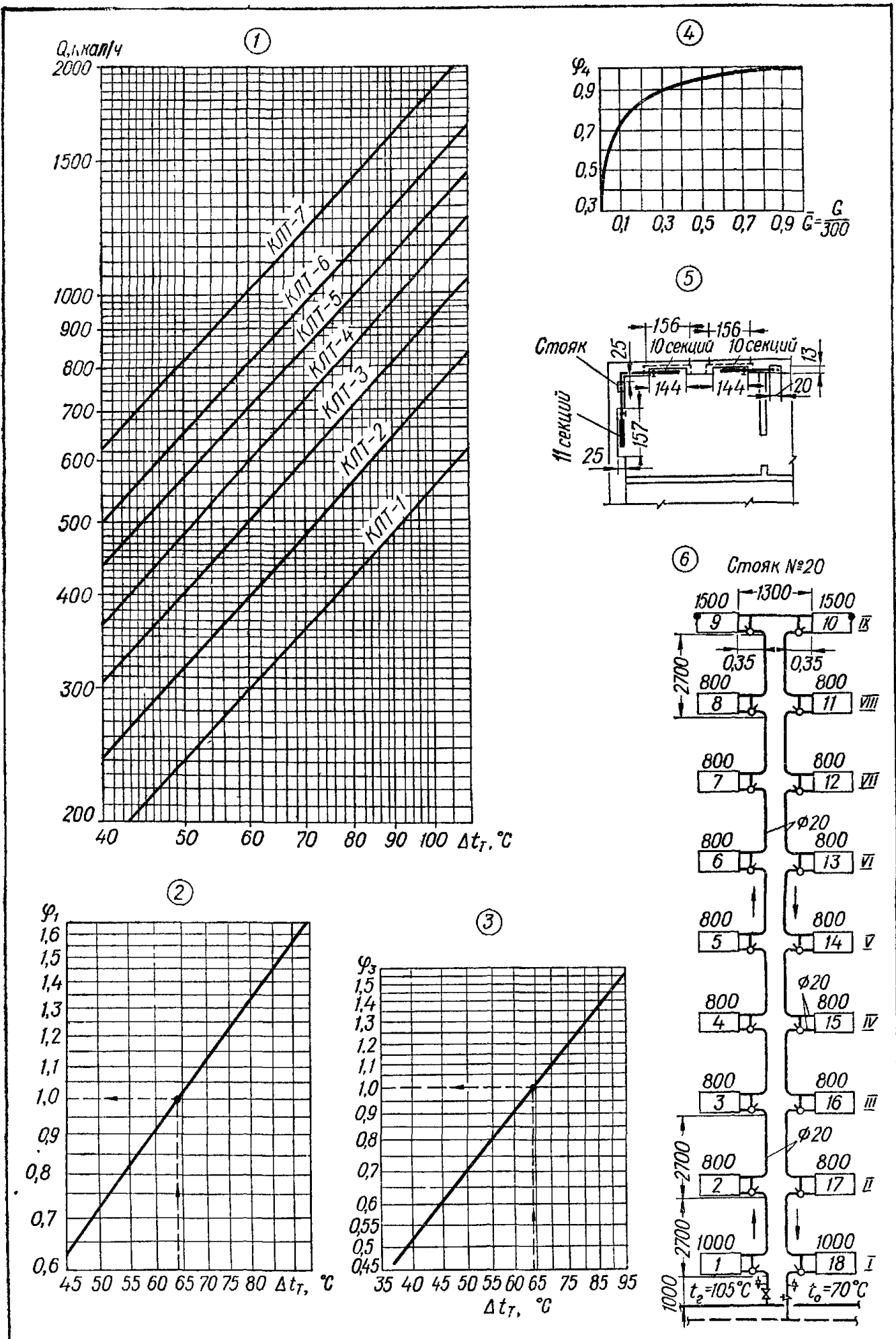
Таблица III.20. Коэффициент β_1 , учитывающий остывание воды в трубах систем водяного отопления с насосной циркуляцией

Число эта- жей в зда- нии	Рассчитываемый этаж при скрытой прокладке трубопроводов						Рассчитываемый этаж при открытой про- кладке трубопроводов					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Однотрубные системы с верхней разводкой												
2	1,04	—	—	—	—	—	1,03	—	—	—	—	—
3	1,05	—	—	—	—	—	1,04	—	—	—	—	—
4	1,05	1,04	—	—	—	—	1,04	1,03	—	—	—	—
5	1,05	1,04	—	—	—	—	1,04	1,03	—	—	—	—
6	1,06	1,05	1,04	—	—	—	1,05	1,04	1,03	—	—	—
Двухтрубные системы с верхней разводкой												
2	1,05	—	—	—	—	—	1,05	—	—	—	—	—
3	1,05	1,04	—	—	—	—	1,05	1,03	—	—	—	—
Двухтрубные системы с нижней разводкой												
2	—	1,03	—	—	—	—	—	1,05	—	—	—	—
3	—	—	1,03	—	—	—	—	—	1,05	—	—	—
4	—	—	1,03	1,05	—	—	—	—	1,05	1,1	—	—
5	—	—	1,03	1,03	1,05	—	—	—	1,05	1,05	1,1	—
6	—	—	—	1,03	1,03	1,05	—	—	—	1,05	1,05	1,1

Примечание. Значения β_1 даны для скрытой прокладки стояков и подводок (в бороздах) при отсутствии изоляции и наличии поэтажных перемычек в вертикальных бороздах, а также для открытой прокладки трубопроводов, учитывающей полезную теплоотдачу труб. При естественной циркуляции воды определяется действительное охлаждение ее в трубах.

однотрубных стояков систем с нижней разводкой и насосной циркуляцией (СН 419—70)

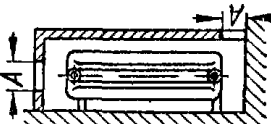
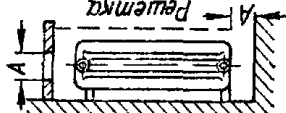
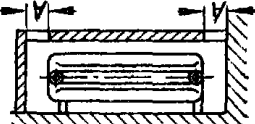
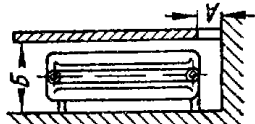
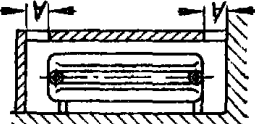
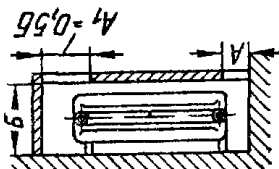
бор по ходу воды											
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1,04											
1,04	1,04										
1,03	1,04	1,04									
1,03	1,04	1,04	1,04								
1,03	1,03	1,04	1,04	1,04							
1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04						
1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04					
1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04				
1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04			
1	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04		
1	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	



Лист III.14. К расчету нагревательных приборов:

1 — теплоотдача стальных листотрубных радиаторов типа КЛТ; 2 — коэффициент ϕ_1 для конвекторов «Комфорт»; 3 — коэффициент ϕ_3 для приборов «Аккорд»; 4 — коэффициент ϕ_4 для приборов «Аккорд»; 5 — к примеру III.2; 6 — к примеру III.4.

Таблица III.21. Коэффициент β_2

Эскиз	A, мм	β_2	Эскиз	A, мм	β_2	Эскиз	A, мм	β_2
	40	1,05		150	1,25		100	1,15
	80	1,03		180	1,19			
	100	1,02		220	1,13			
				260	1,12			
							0,8Б	0,9
	40	1,11		130	1,2		0,8Б	1
	80	1,07		130	1,4			
	100	1,06		(Щели закрыты решеткой)				

Примечание. При установке прибора свободно у стены в нише глубиной не более 130 мм коэффициент $\beta_2 = 1$.

Т а б л и ц а III.22. Теплоотдача нагревательных приборов $q_э$,

Температура помещения, °C	Параметры теплоносителя, °C					
	85—65	90—70	95—70	115—70	130—70	150—70
Чугунные радиаторы при подаче						
5	480	520	540	600	640	700
10	440	480	500	555	600	660
12	425	465	485	540	585	640
14	410	450	470	520	570	625
15	400	440	460	510	560	625
Ребристые трубы и						
5	480	520	540	620	680	760
10	440	480	500	580	640	720
12	425	465	485	565	620	700
15	400	440	460	540	600	680

Т а б л и ц а III.23. Теплоотдача чугунных радиаторов, ребристых труб и регистров из стальных гладких труб $q_э$, $\text{ккал/ч} \cdot \text{экм}$, в системах парового отопления

Температура помещения $t_в$, °C	Избыточное давление пара, кгс/см^2									
	До 0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1	1,5	2
5	695	710	730	750	765	780	795	835	890	940
10	655	670	690	710	725	740	755	795	850	900
12	640	655	675	690	710	725	740	780	835	885
15	615	630	650	670	685	700	715	755	810	860
16	605	625	645	660	680	690	710	750	805	855
18	590	610	630	645	660	675	690	730	790	840
20	575	590	610	630	645	660	675	715	770	820
25	535	550	570	590	605	620	635	675	735	780

П р и м е ч а н и е. Теплоотдача ребристых труб и регистров из гладких труб приведена для однорядной установки приборов.

Т а б л и ц а III.24. Коэффициент β_3 , зависящий от числа секций радиатора

Число секций	β_3	Число секций	β_3	Число секций	β_3
2	0,96	6	0,99	10—11	1,01
3	0,96	7	1	12—14	1,01
4	0,97	8	1	15—16	1,02
5	0,98	9	1	19—25	1,03

Поверхность нагрева чугунных секционных радиаторов находят по формуле

$$F_p = \left(\frac{Q_r}{q_э} \beta_1 - F_{тр} \right) \beta_2, \quad (\text{III.6})$$

где β_1 — коэффициент, учитывающий остывание воды в трубах водяного отопления до входа в рассчитываемый этажестояк (табл. III.19 и III.20);

β_2 — коэффициент, учитывающий способ установки радиатора (табл. III.21);

$q_э$ — теплоотдача радиаторов, $\text{ккал/ч} \cdot \text{экм}$, приведенная для воды и пара в табл. III.22 и III.23 применительно к двухтрубным системам отопления.

Температура помещения, °С	Параметры теплоносителя, °С					
	85—65	90—70	95—70	115—70	130—70	150—70
воды по схеме «сверху-вниз»						
16	390	435	450	505	550	610
18	375	415	435	490	530	590
20	360	400	420	470	515	575
25	315	360	375	430	470	535
регистры из гладких труб						
16	390	430	450	530	590	670
18	375	415	435	515	575	655
20	360	400	420	500	560	640
25	320	360	380	460	520	600

Требуемое количество секций радиаторов

$$n = \frac{F_p}{f_3} \beta_3, \quad (\text{III.7})$$

где f_3 — поверхность нагрева одной секции радиатора, эжм (см. табл. III.7);

β_3 — коэффициент, учитывающий число секций в приборе (табл. III.24).

При подборе радиаторов удобно пользоваться данными для F_p , учитывающими поправку β_3 на число секций (табл. III.25).

Поверхность нагрева чугунных ребристых труб F_p находят по формуле (III.1), а их количество — по формуле

$$n = \frac{F_p}{f_3 \beta_4}, \quad (\text{III.8})$$

где f_3 — поверхность нагрева одной чугунной ребристой трубы, эжм (см. табл. III.8);

β_4 — коэффициент, учитывающий число рядов труб, установленных по вертикали (при двухрядной установке $\beta_4 = 0,93$, при трехрядной — 0,77).

Теплоотдача чугунных ребристых труб приведена в табл. III.22 и III.23.

Длину регистров из стальных труб в м находят по формуле

$$l = \frac{F_p}{f_3}, \quad (\text{III.9})$$

где F_p — суммарная расчетная поверхность регистров, эжм, найденная по формуле (III.1) при величинах теплоотдачи q_3 для воды и пара по табл. III.22 и III.23;

f_3 — поверхность нагрева 1 м гладкой стальной трубы регистра, эжм, принимаемая по табл. III.26.

Поверхность нагрева стальных штампованных панельных радиаторов вычисляют применительно к формуле (III.6); при этом теплоотдача двухрядных радиаторов на 15% меньше однорядных.

Для стальных штампованных радиаторов колончатого типа МЗ величина теплоотдачи q_3 в ккал/ч·эжм примерно соответствует значениям теплоотдачи чугунных радиаторов, а для радиаторов змеевикового типа ЗС она зависит от расхода теплоносителя (от 26 до 300 кг/ч) и принимается по табл. III.27. При расходах свыше 300 кг/ч теплоотдача практически не изменяется и принимается для расхода 300 кг/ч.

Для стальных листотрубных радиаторов змеевикового типа КЛТ величину теплоотдачи q_3 в ккал/ч·эжм определяют по общей теплоотдаче прибора Q в ккал/ч, найденной по графику на листе III.14, рис. 1 и поделенной на поверхность нагрева в эжм для данной модели по табл. III.10.

Таблица III.25. Расчетная поверхность нагрева чугунных радиаторов F_p зависящая от числа секций в приборе (поправки β_3)

Число секций в приборе	М-140 М-140-АО М-140 А РД-90				Число секций в приборе	М-140 М-140-АО М-140-А РД-90			
	Поверхность нагрева одной секции, экм					Поверхность нагрева одной секции, экм			
	0,31	0,35	0,217	0,275		0,31	0,35	0,217	0,275
2	0,76	0,84	—	0,7	14	4,26	4,77	2,92	3,86
3	1,07	1,18	0,8	0,97	15	4,58	5,08	3,23	4,06
4	1,37	1,52	1	1,25	16	4,82	5,42	3,45	4,32
5	1,67	1,84	1,22	1,5	17	5,09	5,73	3,61	4,54
6	1,98	2,16	1,42	1,73	18	5,39	6,05	3,55	4,8
7	2,26	2,54	1,64	2,01	19	5,67	6,37	3,93	5,07
8	2,52	2,82	1,83	2,28	20	5,96	6,7	4,24	5,33
9	2,83	3,15	2,04	2,56	21	6,24	7,01	4,14	5,59
10	3,1	3,49	2,24	2,8	22	6,58	7,34	4,57	5,85
11	3,39	3,82	2,46	3,06	23	6,81	7,65	4,78	6,11
12	3,68	4,12	2,63	3,3	24	7,1	7,99	4,99	6,37
13	3,96	4,45	2,84	3,57	25	7,38	8,31	5,2	6,57

Количество требуемых к установке панелей стальных штампованных радиаторов определяют по формуле

$$n = \frac{F_p}{f_3}, \quad (\text{III.10})$$

где f_3 — поверхность нагрева одной панели, *экм*, принимаемая по табл. III.9—III.11.

Поверхность нагрева конвекторов рассчитывают применительно к формуле (III.6) с некоторыми особенностями.

Для конвекторов плинтусного типа КП без кожуха величину теплоотдачи q'_3 в *ккал/ч · экм* получают делением теплоотдачи прибора Q на его поверхность f_3 , найденных по табл. III.28.

Значение q'_3 принимается с поправкой a (табл. III.29) на расчетный расход теплоносителя через конвектор, определяемый по формуле

$$G = G_0 \beta_5, \quad (\text{III.11})$$

где G_0 — общий расход теплоносителя, *кг/ч*, вычисляемый по формуле (III.5);

β_5 — коэффициент, учитывающий распределение воды по элементам конвекторного блока (при последовательной подаче воды $\beta_5 = 1$, при параллельной и двухрядном блоке — 0,5, при параллельной и трехрядном блоке — 0,33 и при комбинированной подаче — 0,66).

Расчетная теплоотдача конвектора

$$q_3 = q'_3 a. \quad (\text{III.12})$$

Количество конвекторов находят по формуле

$$n = \frac{F_p}{f_3 \beta_6}, \quad (\text{III.13})$$

где f_3 — поверхность нагрева одного элемента или целого конвекторного блока (см. табл. III.13);

β_6 — коэффициент, учитывающий количество элементов конвектора, устанавливаемых по высоте (при однорядной установке $\beta_6 = 1$, при двухрядной — 0,97 и трехрядной — 0,94).

Подробные тепловые расчеты конвекторов плинтусного типа КП для различных случаев приведены в СН 354—66 *.

* Госстрой СССР. Указания по проектированию и монтажу систем центрального отопления с конвекторами плинтусного типа (СН 354—66).

Таблица III.26. Поверхность нагрева 1 м гладкой трубы регистра, экм, зависящая от числа рядов труб

Число рядов труб по вертикали	Диаметр трубы, мм				
	40	50	70	80	100
1	0,244	0,304	0,384	0,45	0,48
2 и более	0,195	0,243	0,306	0,358	0,462

Таблица III.27. Теплоотдача стальных штампованных панельных радиаторов змеевикового типа ЗС (по материалам института Сантехпроект)

$\Delta t_T, ^\circ\text{C}$	Марка прибора	$F_{\text{пр}}, \text{экм}$	Теплоотдача панели Q , ккал/ч, и прибора q_3 , ккал/ч экм, в зависимости от расхода теплоносителя G , кг/ч						
			26	50	100	150	200	250	300
30	ЗС-11-3	0,97	155	165	177	185	190	194	198
	ЗС-11-4	1,24	197	210	225	235	242	246	252
	ЗС-11-5	1,51	239	255	273	285	294	300	306
	ЗС-11-6	1,81	286	305	326	340	350	357	365
	ЗС-11-7	2,13	340	362	388	405	417	425	435
	$q_3 =$		158	170	182	190	195	198	204
40	ЗС-11-3	0,97	229	246	262	272	282	287	292
	ЗС-11-4	1,24	292	312	334	347	358	365	372
	ЗС-11-5	1,51	354	379	405	421	435	444	450
	ЗС-11-6	1,81	422	452	483	502	519	530	538
	ЗС-11-7	2,13	503	538	575	597	618	630	640
	$q_3 =$		235	251	269	280	289	294	300
50	ЗС-11-3	0,97	310	330	355	369	379	389	396
	ЗС-11-4	1,24	394	420	451	470	483	495	503
	ЗС-11-5	1,51	479	510	548	570	586	600	610
	ЗС-11-6	1,81	571	609	653	680	700	716	730
	ЗС-11-7	2,13	680	725	778	810	832	853	867
	$q_3 =$		318	339	362	379	390	400	405
60	ЗС-11-3	0,97	394	422	451	470	484	496	504
	ЗС-11-4	1,24	500	536	574	598	616	630	640
	ЗС-11-5	1,51	609	650	696	726	747	765	778
	ЗС-11-6	1,81	726	777	831	866	893	913	930
	ЗС-11-7	2,13	865	925	990	1030	1060	1090	1105
	$q_3 =$		404	430	462	482	494	507	515
70	ЗС-11-3	0,97	481	515	552	574	592	604	615
	ЗС-11-4	1,24	613	655	702	730	763	769	783
	ЗС-11-5	1,51	744	796	852	886	914	933	950
	ЗС-11-6	1,81	887	948	1015	1060	1090	1113	1135
	ЗС-11-7	2,13	1055	1130	1210	1260	1300	1325	1350
	$q_3 =$		493	527	566	589	608	620	630

$\Delta t_T, ^\circ\text{C}$	Марка прибора	$F_{\text{пр}}, \text{экм}$	Теплоотдача панели Q , ккал/ч, и прибора q_3 , ккал/ч·экм, в зависимости от расхода теплоносителя G , кг/ч						
			26	50	100	150	200	250	300
80	3C-11-3	0,97	584	625	668	696	706	735	746
	3C-11-4	1,24	743	795	850	884	897	935	940
	3C-11-5	1,51	900	965	1030	1074	1107	1134	1153
	3C-11-6	1,81	1075	1150	1230	1280	1320	1353	1375
	3C-11-7	2,13	1280	1370	1465	1525	1570	1610	1640
	$q_3 =$		600	641	686	712	725	755	757
90	3C-11-3	0,97	677	725	777	810	832	852	866
	3C-11-4	1,24	862	922	990	1030	1060	1083	1102
	3C-11-5	1,51	1049	1120	1200	1250	1285	1315	1340
	3C-11-6	1,81	1250	1340	1430	1490	1533	1570	1600
	3C-11-7	2,13	1490	1590	1705	1780	1825	1870	1900
	$q_3 =$		695	745	797	830	855	875	890
100	3C-11-3	0,97	788	844	905	940	970	993	1010
	3C-11-4	1,24	1003	1072	1150	1200	1230	1260	1285
	3C-11-5	1,51	1220	1304	1396	1450	1495	1530	1560
	3C-11-6	1,81	1450	1555	1665	1735	1785	1830	1860
	3C-11-7	2,13	1730	1850	1985	2060	2120	2180	2220
	$q_3 =$		810	865	925	968	990	1030	1040
110	3C-11-3	0,97	883	945	1010	1055	1085	1110	1130
	3C-11-4	1,24	1125	1205	1285	1342	1380	1412	1435
	3C-11-5	1,51	1364	1460	1560	1630	1675	1720	1742
	3C-11-6	1,81	1630	1745	1860	1945	2000	2050	2080
	3C-11-7	2,13	1940	2080	2220	2310	2380	2440	2470
	$q_3 =$		905	972	1035	1085	1112	1140	1150
120	3C-11-3	0,97	1010	1080	1160	1200	1240	1270	1288
	3C-11-4	1,24	1285	1372	1470	1530	1580	1615	1640
	3C-11-5	1,51	1560	1665	1790	1860	1920	1960	1990
	3C-11-6	1,81	1860	1990	2130	2220	2290	2340	2370
	3C-11-7	2,13	2220	2370	2540	2640	2720	2790	2820
	$q_3 =$		1035	1108	1175	1230	1275	1305	1355
130	3C-11-3	0,97	1125	1200	1290	1340	1380	1414	1435
	3C-11-4	1,24	1430	1530	1640	1705	1750	1800	1825
	3C-11-5	1,51	1735	1860	1990	2070	2130	2180	2220
	3C-11-6	1,81	2070	2210	2370	2470	2540	2610	2640
	3C-11-7	2,13	2460	2640	2830	2940	3020	3100	3150
	$q_3 =$		1150	1235	1320	1375	1410	1450	1472

Таблица III. 28. Теплоотдача Q , ккал/ч, и поверхность нагрева f_3 , эжм, плитусных конвекторов без кожуха типа КП

$\Delta t_T, ^\circ\text{C}$	$L, \text{мм}$	15КП			20КП		
		Одноряд- ный	Двухряд- ный	Трехряд- ный	Одноряд- ный	Двухряд- ный	Трехряд- ный
Т е п л о о т д а ч а							
40	750	100	200	250	100	225	275
	1000	125	250	345	145	275	340
	1250	155	300	420	170	340	475
	1500	175	380	510	230	440	590
	1750	222	435	610	270	500	735
50	750	120	250	335	135	300	315
	1000	160	315	450	180	350	465
	1250	200	395	560	235	450	610
	1500	235	470	680	290	550	770
	1750	275	550	800	385	650	925
60	750	145	300	420	170	375	435
	1000	190	390	560	235	450	600
	1250	240	470	700	280	560	770
	1500	280	570	845	350	695	940
	1750	340	655	985	420	800	1125
70	750	155	350	500	200	430	550
	1000	220	450	680	275	530	725
	1250	270	550	845	340	670	915
	1500	340	660	995	420	805	1105
	1750	395	775	1175	500	950	1325
80	750	175	400	590	235	500	675
	1000	250	505	785	320	615	875
	1250	320	615	975	395	775	1075
	1500	380	755	1150	480	950	1290
	1750	450	880	1340	575	1100	1525
90	750	200	450	685	265	575	790
	1000	275	580	900	355	700	1000
	1250	355	700	1105	450	880	1220
	1500	445	850	1300	550	1075	1475
	1750	520	985	1520	650	1250	1730
100	750	220	500	775	300	650	900
	1000	320	640	1000	400	785	1030
	1250	400	790	1250	500	990	1375
	1500	490	935	1465	625	1200	1650
	1750	570	1000	1700	735	1390	1920
П о в е р х н о с т ь н а г р е в а							
—	750	0,34	0,68	1,02	0,42	0,84	1,26
	1000	0,46	0,92	1,38	0,57	1,14	1,71
	1250	0,6	1,2	1,8	0,72	1,44	2,16
	1500	0,7	1,4	2,1	0,89	1,78	2,57
	1750	0,86	1,72	2,58	1,04	2,08	3,12

Примечание Таблица составлена на основании графиков СН 354—66 со значениями Q для проточно-регулируемых узлов с трехходовыми кранами.

Таблица III.29. Коэффициент a для конвекторов плинтусного типа КП без кожуха

$G, \text{кг/ч}$		a	$G, \text{кг/ч}$		a
15КП	20КП		15КП	20КП	
38	42	1	192	196	1,12
42	50	1,01	218	216	1,13
48	60	1,02	248	234	1,14
54	72	1,03	280	258	1,15
62	84	1,04	350	288	1,16
72	95	1,05	—	320	1,17
82	110	1,06	—	350	1,18
94	120	1,07	—	380	1,19
112	134	1,08	—	430	1,2
130	146	1,09	—	482	1,21
148	164	1,1	—	560	1,22
168	180	1,11	—	600	1,23

Для конвекторов типа «Комфорт» величину теплоотдачи прибора определяют по формуле

$$Q_k = Q_0 \Phi_1, \quad (\text{III.14})$$

где Q_0 — теплоотдача конвектора, ккал/ч (при $\Delta t_T = 64,5^\circ \text{C}$ и расходе $G = 300 \text{ кг/ч}$ $Q_0 = 435f \text{ ккал/ч}$, где f — поверхность нагрева, экм , принимаемая по табл. III.12);

Φ_1 — коэффициент, учитывающий другое значение теплового напора Δt_T , принимаемый по графику на листе III.14, рис. 2.

В четырехтрубных конвекторах значение Δt_T уточняют для схем подачи воды в трубы греющего элемента конвектора по таким формулам:

для схемы «сверху — вниз»

$$\Delta t_T = \frac{0,31 (t_{\text{вых}} - t_{\text{в}}) + 0,71 (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})}{1,02}; \quad (\text{III.15})$$

для схемы «снизу — вверх»

$$\Delta t_T = \frac{0,71 (t_{\text{вых}} - t_{\text{в}}) + 0,31 (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})}{1,02}. \quad (\text{III.16})$$

При расходе теплоносителя менее 300 кг/ч фактическая теплоотдача конвектора

$$Q_\phi = Q_k \Phi_2, \quad (\text{III.17})$$

где Φ_2 — коэффициент, учитывающий шаг пластин оребрения греющего элемента конвектора (табл. III.30).

Таблица III.30. Коэффициент Φ_2 для конвекторов типа «Комфорт»

Модели конвекторов типа Нн и Н по табл. III.12	Значение Φ_2 при расходе воды, кг/ч						
	30	60	90	120	150	200	300
1, 2, 3, 5, 8, 11, 13, 14 и 15 (шаг пластин — 5 мм)	0,75	0,85	0,9	0,93	0,95	0,98	1
6, 9, 12 (шаг пластин — 7,5 мм)	0,84	0,88	0,92	0,94	0,96	0,98	1

Фактическая теплоотдача Q_ϕ , поделенная на поверхность нагрева в экм (см. табл. III.12), дает теплоотдачу q_3 в $\text{ккал/ч} \cdot \text{экм}$. Количество конвекторов определяют по формуле

$$n = \frac{F_D}{f_3}. \quad (\text{III.18})$$

Для отопительных приборов типа «Аккорд» фактическую теплоотдачу определяют по формулам (III.14) и (III.17) с учетом поправочных коэффициентов φ_3 на величину Δt_r (лист III.14, рис. 3) и φ_4 на изменение расхода теплоносителя (лист III.14, рис. 4).

Количество приборов «Аккорд» подбирают по формуле (III.18).

При подборе конвекторов типа «Комфорт» и отопительных приборов типа «Аккорд» необходимо учитывать, что при расходе теплоносителя свыше 300 кг/ч происходит незначительное изменение теплоотдачи конвекторов, которым можно пренебречь.

Пример III.1. Рассчитать размеры свободно установленного горизонтального регистра из гладких труб наружным диаметром $d = 0,06$ м ($d_y = 50$ мм) для помещения ванной комнаты при следующих данных: теплотеперь $Q = 600$ ккал/ч; $t_b = 25^\circ\text{C}$; теплоноситель — вода; $t_r = 95^\circ\text{C}$; $t_0 = 70^\circ\text{C}$.

По табл. III.22 находим теплоотдачу 1 э.м. регистра из гладких труб: при $\Delta t_{pr} = 95-70^\circ\text{C}$ $q_3 = 380$ ккал/ч · э.м. Потребную поверхность нагрева регистра определяем применительно к формуле (III.6)

$$F_p = \frac{600}{380} = 1,57 \text{ э.м.}$$

Общую длину труб диаметром 50 мм для устройства регистра при трехрядном расположении их находим по формуле (III.9): при $f_3 = 0,243$ э.м./м (см. табл. III.26)

$$l = \frac{1,57}{0,243} = 6,46 \text{ м.}$$

При трехрядном расположении труб длина регистра $l_1 = 2,15$ м. В данном случае соединительные вертикальные трубки регистра в расчет не приняты, так как имеется в виду некоторый запас поверхности нагрева прибора для просушки простынь.

Пример III.2. Найти требуемую поверхность нагрева и разместить радиаторы М-140 в помещении на втором этаже двухэтажного здания (лист III.14, рис. 5). Теплотеперь помещения $Q = 3700$ ккал/ч; $t_b = 18^\circ\text{C}$. Система отопления водяная двухтрубная с нижней разводкой, насосной циркуляцией и параметрами теплоносителя $t_r = 95^\circ\text{C}$ и $t_0 = 70^\circ\text{C}$. Прокладка труб скрытая. Радиаторы устанавливаются в нишах глубиной 25 см при высоте от верха прибора до подоконной доски 7 см. Подводки к радиаторам выполнены напрямую.

Суммарную поверхность нагрева радиаторов определяем по формуле (III.6)

$$F_r = \frac{Q}{q_3} \beta_1 \beta_2 = \frac{3700}{435} \cdot 1,03 \cdot 1,07 = 9,34 \text{ э.м.},$$

где $q_3 = 435$ ккал/г · э.м. — теплоотдача чугунных радиаторов при $\Delta t_{pr} = 95-70^\circ\text{C}$ (см. табл. III.22), а коэффициенты β_1 и β_2 найдены по табл. III.20 и III.21.

Предварительное общее количество секций приборов М-140 (табл. III.7) $n = 9,4 : 0,31 \approx 31$.

На основании принятой разбивки отопительных стояков в помещении и полученного общего количества секций радиаторов находим возможное количество секций к установке для каждого прибора.

При ширине окна в свету 156 см для сохранения прочности заделки подоконных досок ширина ниши принимается на 12 см менее ширины окна, т.е. $156 - 12 = 144$ см. При скрытой прокладке подводок, согласно табл. III.16, в каждой нише под окном можно установить прибор в 10 секций, т.е. в двух нишах — $10 \cdot 2 = 20$ секций. Тогда в третьем приборе, устанавливаемом в нише глухой стены, должно быть $31 - 20 = 11$ секций.

По табл. III.25 суммарная фактически установленная поверхность нагрева трех радиаторов с учетом поправки на число секций $\Sigma F_{\phi} = 3,1 \cdot 2 + 3,39 = 9,59$ э.м., что примерно на 2,5% больше расчетной величины, найденной по формуле (III.6). Такое расхождение величин вполне допустимо. Размещение радиаторов в комнате показано на листе III.14, рис. 5.

Пример III.3. Рассчитать и подобрать островные конвекторы «Комфорт» в помещении вестибюля одноэтажного общественного здания, если теплотеперь $Q_r = 8000$ ккал/ч и $t_b = 16^\circ\text{C}$. Система отопления двухтрубная водяная с верхней разводкой и параметрами теплоносителя $95-70^\circ\text{C}$. Прокладка труб открытая. Высота

помещения — 4,5 м. Конвекторы предполагается установить под четырьмя окнами свободно у стен. Длина подводок составляет 0,5 м, диаметр стояка — 20 мм.

Руководствуясь формулой (III.6), рассчитываем необходимую поверхность нагрева конвекторов с учетом полезной теплоотдачи открыто проложенных труб. Теплоотдача одной конвекторной группы $Q = 8000 : 4 = 2000$ ккал/ч, а по формуле (III.5) расход теплоносителя $G = 2000 : 25 = 80$ кг/ч.

Если предварительно принять модель островного конвектора Н-11, то фактическая теплоотдача его при расходе менее 300 кг/ч по формуле (III.14) должна быть

$$Q_k = Q_0 \varphi_1 = 1000 \cdot 1,02 = 1020 \text{ ккал/ч},$$

где $Q_0 = 435 \cdot 2,3 \approx 1000$ ккал/ч — теплоотдача островного конвектора модели Н-11 с $f_3 = 2,3$ экм по табл. III.12;

$\varphi_1 = 1,02$ по графику на листе III.14, рис. 2 при $\Delta t_T = 0,5 (95 - 70) = 16 = 66,5^\circ\text{C}$.

По формуле (III.17)

$$Q_{\text{ф}} = Q_k \varphi_2 = 1020 \cdot 0,9 = 918 \text{ ккал/ч},$$

где $\varphi_2 = 0,9$ по табл. III.30 при шаге пластин оребрения греющего элемента конвектора 5 мм и расходе теплоносителя 80 кг/ч.

Расчетная величина теплоотдачи конвекторов модели Н-11

$$q_3 = 918 : 2,3 \approx 400 \text{ ккал/ч. экм.}$$

Полезная теплоотдача труб диаметром 20 мм по табл. III.18 составляет:

для вертикальных — $0,158 \cdot 4,5 = 0,711$ экм;

для горизонтальных — $0,122 \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,122$ экм.

$F_{\text{тр}} = 0,833$ экм.

Потребная поверхность нагрева одной конвекторной группы должна быть

$$F_p = \frac{Q_T}{q_3} - F_{\text{тр}} = \frac{2000}{400} - 0,833 = 4,167 \text{ экм.}$$

Количество конвекторов модели Н-11 в группе должно быть

$$n = \frac{F_p}{f_3} = \frac{4,167}{2,3} = 1,82.$$

На основании табл. III.12 уточняем модель конвекторной группы и принимаем окончательно два конвектора модели Н-9 при $f_3 = 2,06$ экм с общей длиной установки $l = 1110 \cdot 2 = 2220$ мм. В помещении вестибюля требуется установить четыре такие конвекторные группы.

Особенности расчета нагревательных приборов однотрубных систем водяного отопления

В однотрубных системах водяного отопления при определении поверхности нагревательных приборов по формуле (III.6) приходится предварительно находить для каждого прибора по этажам среднюю температуру воды $t_{\text{пр}}$ в зависимости от температурного перепада $\Delta t_{\text{пр}}$ в приборе и температуры воды при входе в прибор $t_{\text{вх}}$.

Расчет осложняется тем, что температуру $t_{\text{вх}}$ для каждого прибора вычисляют как температуру смеси в зависимости от тепловой нагрузки приборов вышерасположенных этажей $\sum_1^n Q$ и количества воды, циркулирующей по стояку, $G_{\text{ст}}$:

$$t_{\text{вх}} = t_{\text{г}} - \frac{\sum_1^n Q}{\sum Q} (t_{\text{г}} - t_{\text{о}}) = t_{\text{г}} - \frac{\sum_1^n Q}{G_{\text{ст}}}, \quad (\text{III.19})$$

где $t_{\text{г}}$ и $t_{\text{о}}$ — температура горячей и охлажденной воды в системе отопления, $^\circ\text{C}$;
 $\sum Q$ — суммарная тепловая нагрузка всех приборов, присоединенных к стояку, ккал/ч.

Расход воды по стояку в кг/ч

$$G_{\text{ст}} = \frac{\Sigma Q}{t_r - t_o} . \quad (\text{III.20})$$

Среднюю температуру воды в приборе определяют по формуле

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - \frac{\Delta t_{\text{пр}}}{2} . \quad (\text{III.21})$$

Перепад температуры воды в приборе

$$\Delta t_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{G_{\text{пр}}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{\alpha G_{\text{ст}}} , \quad (\text{III.22})$$

где $Q_{\text{пр}}$ — тепловая нагрузка прибора, ккал/ч;

$G_{\text{пр}}$ — количество воды, протекающей через прибор, кг/ч;

α — коэффициент затекания воды в прибор.

Средняя температура воды в приборе $t_{\text{пр}}$ зависит от отношения количества воды, протекающей через прибор, $G_{\text{пр}}$ к общему количеству воды, циркулирующей через стояк, $G_{\text{ст}}$ или от коэффициента затекания $\alpha = G_{\text{пр}}/G_{\text{ст}}$. Чем выше коэффициент затекания α , тем больше воды пройдет через нагревательный прибор. Исследования показали, что коэффициент α зависит от величины сопротивлений малого циркуляционного кольца с учетом влияния естественного теплового давления в приборах.

Зная коэффициент затекания α , можно установить распределение воды в приборах с учетом следующих рекомендаций (для проточных стояков).

При двустороннем присоединении приборов к однетрубному стояку влиянием различных тепловых нагрузок приборов справа и слева стояка практически можно пренебречь. Если длина подводок к приборам и их диаметры одинаковы, то их коэффициент затекания $\alpha = 0,5$ (т.е. количества воды, протекающей через оба прибора, $G_{\text{пр}}$ будут равны).

При различной конструкции подводок к приборам через ближайший к стояку прибор будет проходить количество воды в кг/ч

$$G'_{\text{пр}} = G_{\text{ст}} \alpha_1 ,$$

а через другой, удаленный от стояка прибор, —

$$G''_{\text{пр}} = G_{\text{ст}} - G'_{\text{пр}} .$$

Коэффициент затекания через второй прибор $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$.

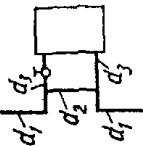
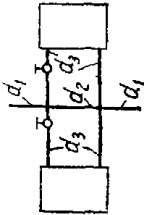
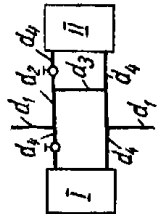
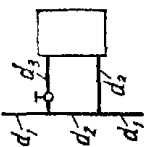
При одностороннем присоединении приборов в проточных и проточно-регулируемых стояках с трехходовыми кранами вся вода проходит через приборы ($\alpha = 1$).

В табл. III.31 приведены значения коэффициентов затекания α в однетрубных системах водяного отопления с прямыми (осевыми) и смещенными замыкающими участками для разных компоновок диаметров труб междиаторного узла, но при постоянных длинах подводок к приборам высотой $h_1 = 500$ мм в зависимости от скорости движения воды в стояке. Из этой таблицы видно, что с увеличением скорости движения воды в стояке коэффициент затекания α уменьшается. В однетрубных стояках со сжимами прямых (осевых) и особенно смещенных замыкающих участков коэффициент затекания воды в нагревательные приборы возрастает.

В вертикальных однетрубных проточно-регулируемых системах водяного отопления с нижней разводкой, как правило, предусматривается односторонняя установка нагревательных приборов с трехходовыми кранами в узле замыкающего участка и подводки к прибору. При отсутствии трехходовых кранов такие системы выполняют с прямыми или смещенными замыкающими участками с установкой кранов двойной регулировки на подводках к приборам.

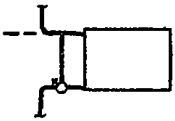
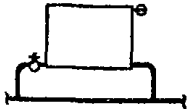
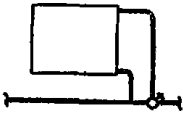
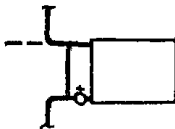
Диаметры труб радиаторных узлов вертикальных и горизонтальных систем водяного отопления следует подбирать по табл. III.32. Диаметры однетрубных стояков в системах водяного отопления с насосной циркуляцией в зависимости от величины тепловой нагрузки и скорости теплоносителя предварительно выбирают по табл. III.33. Стояки диаметром 15 мм имеют подводки к приборам диаметром 15 мм.

Т а б л и ц а III.31 Коэффициент затекания α для однотрубных систем отопления с замыкающими участками

Эскиз узла	Условные диаметры труб, мм				Значение α при скорости воды в стояке, м/с			
	d_1	d_2	d_3	d_4	0,1	0,2	0,3	0,4
Осевые замыкающие участки								
	25	20	—	—	0,35	0,23	0,19	0,18
	20	15	20	—	—	0,32	—	0,27
	15	20	—	—	—	0,36	0,28	0,24
	25	20	—	—	0,45	0,3	0,26	0,25
	20	15	20	—	0,6	0,45	—	0,42
	15	20	—	—	0,6	0,45	—	0,42
Смещенные замыкающие участки								
	25	20	15	20	0,42/0,28	0,38/0,25	0,46/0,29	0,35/0,24
	20	15	20	20	0,53/0,31	0,49/0,3	0,46/0,29	0,45/0,28
	25	20	15	15	0,23/0,21	0,21/0,18	0,2/0,17	0,2/0,16
	20	15	—	—	0,42/0,26	0,38/0,26	0,36/0,25	0,35/0,24
	25	20	15	—	0,52/0,26	0,45/0,25	0,44/0,24	0,42/0,23
	20	15	—	—	—	—	—	—
	25	20	15	—	—	—	—	—
	20	15	—	—	—	—	—	—

Примечание. В числителе приведены значения α для прибора I, в знаменателе — для прибора II.

Таблица III.32. Схемы радиаторных узлов (СН 419—70)

Тип узла	Эскиз	Условные диаметры труб, мм		
		стояка	закрывающего участка	подводки
I — вертикальный со смещенным закрывающим участком и трехходовым краном		15 20 25 25	15 20 20 25	15 20 25/20 25
II — то же, но с краном двойной регулировки		15 20 25	15 15 20	15 20 25
III — горизонтальный с осевым закрывающим участком и трехходовым краном		15 20 25 25	15 20 20 25	15 20 25/20 25
IV — то же, но с краном двойной регулировки		15 20 25	15 20 25	15 20 20

Примечания. 1. В узлах I и II штриховой линией показано присоединение радиаторов верхнего этажа при односторонней прокладке подъемного или опускного участков стояка.

2. Узлы I и III с диаметрами подводов 25 и 20 мм применяются с трехходовыми кранами диаметрами соответственно 25 и 20 мм.

3. В узлах II и IV вместо кранов двойной регулировки допускается установка пробковых кранов.

Таблица III.33. Данные для предварительного выбора диаметров однотрубных стояков водяного отопления многоэтажных зданий

Условный диаметр стояка, мм	Температурный перепад $t_r - t_o$, °C	Расход воды $G_{ст}$, кг/ч	Скорость воды $v_{ст}$, м/с	Тепловые нагрузки $Q_{ст}$, ккал/ч
15	95—70 100—70 105—70	210—270	0,3—0,4	5250—6750 6300—8100 7350—9450
20	95—70 100—70 105—70	450—550	0,35—0,42	11250—13750 13500—16500 15750—19250
25	95—70 100—70 105—70	800—1000	0,4—0,49	20000—25000 24000—30000 28000—35000

Однотрубный стояк без сжимов замыкающих участков упрощает заготовку и монтаж, однако такая схема его вследствие увеличенного диаметра замыкающих участков уменьшает коэффициент затекания воды в приборы. Вместе с тем остывание воды в приборах возрастает, следовательно, средняя температура воды в них падает, что приводит к необходимости установки приборов увеличенной поверхности нагрева. Несмотря на некоторый перерасход приборов, простая конструкция стояка без сжимов замыкающих участков применяется часто.

При изложенном методе расчета нагревательных приборов однотрубных систем необходимы предварительное конструирование и гидравлический расчет схемы трубопроводов системы отопления, а также определение всех диаметров стояков, замыкающих участков и подводок к приборам с увязкой потерь давления в больших и малых кольцах циркуляции.

По принятой конструкции стояка и известных диаметрах труб малых циркуляционных колец определяют среднюю температуру воды в приборах $t_{\text{пр}}$ и рассчитывают поверхность нагрева приборов.

Температурный перепад теплоносителя $\Delta t_{\text{пр}}$ в нагревательных приборах точно-регулируемых однотрубных систем вычисляют по формуле (III.22) при $\alpha = 1$. В однотрубных системах со смещенными замыкающими участками и кранами двойной регулировки величину $\Delta t_{\text{пр}}$ определяют при значениях α , найденных по табл. III.31 и в зависимости от скорости воды в стояках и принятых диаметров труб малого циркуляционного кольца. Для этих систем удобно пользоваться готовыми значениями $\Delta t_{\text{пр}}$ по табл. III.34.

Теплоотдача чугунных радиаторов однотрубных систем водяного отопления $q_{\text{э}}$ в $\text{ккал/ч} \cdot \text{эжм}$ при различных значениях $\Delta t_{\text{пр}}$ и разности температур $t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}$ в зависимости от схемы подачи воды в приборы, приведена в табл. III.35.

При необходимости более точного учета полезной теплоотдачи трубопроводов $Q_{\text{тр}}$ в ккал/ч при расчетах нагревательных приборов следует пользоваться табл. III.36. Тогда в формуле (III.6) вместо теплопотерь помещения $Q_{\text{т}}$ принимают разность значений $Q_{\text{т}} - Q_{\text{тр}}$, которая учитывает величину поверхности нагрева открыто проложенных труб $F_{\text{тр}}$, как и по формуле (III.1).

Пример III.4. Найти поверхность нагрева и подобрать число секций чугунных радиаторов типа М-140-АО высотой $h_1 = 500$ мм однотрубного П-образного стояка № 20 со смещенными замыкающими участками и трехходовыми кранами в радиаторных узлах для девятиэтажного здания. Приборы установлены открыто в нишах глубиной 13 см. Тепловые нагрузки указаны на схеме стояка (лист III.14, рис. 6). Температурный перепад теплоносителя в стояке принят $\Delta t_{\text{ст}} = 105 - 70 = 35^\circ \text{C}$. Стояк проложен в жилых помещениях с $t_{\text{в}} = 18^\circ \text{C}$. Понижение температуры воды в подающей магистрали не учтено (см. стр. 132).

Расчет поверхности радиаторов выполнить с учетом полезной теплоотдачи открыто проложенных в помещениях трубопроводов при длине подводок к приборам 0,35 м и высоте комнат 2,5 м (без учета толщины перекрытия 0,2 м).

Общее количество воды, циркулирующей по стояку,

$$G_{\text{ст}} = \frac{(1000 + 800 \cdot 7 + 1500) 2}{105 - 70} = 105 - \frac{16200}{35} = 463 \text{ кг/ч.}$$

Руководствуясь данными табл. III.32 и III.33, при расходе воды через стояк 450—550 кг/ч принимаем конструкцию радиаторного узла из труб одного диаметра (20 × 20 × 20 мм).

Вычисляем температуру смеси воды в стояке последовательно по этажам в восходящей и нисходящей частях, которая является температурой входящей воды в рассматриваемый радиатор на данном этаже. Эту температуру определяем в зависимости от суммарной тепловой нагрузки приборов, расположенных выше по ходу воды в стояке, по формуле (III.19):

$$\begin{aligned} t_{\text{вх}_1} &= t_{\text{г}} = 105^\circ \text{C}; \\ t_{\text{вх}_2} &= t_{\text{г}} - \frac{\sum_1^n Q}{G_{\text{ст}}} = 105 - \frac{1000}{463} = 102,9^\circ \text{C}; \\ t_{\text{вх}_3} &= 105 - \frac{1800}{463} = 101,1^\circ \text{C и т. д.} \end{aligned}$$

Т а б л и ц а III.34. Перепады температур $\Delta t_{\text{пр}}$ в нагревательных приборах радиаторных узлов с замыкающими участками и кранами двойной регулировки (СН 419—70)

$\Delta t_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$	Тепловая нагрузка, ккал/ч , при расходе воды в стояке, кг/ч											
	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
$d_{\text{подв}} = d_{3,y} = 15 \text{ мм}$												
$d_{\text{подв}} = 20 \text{ мм}; d_{3,y} = 20 \text{ мм}$												
Вертикальные узлы со смещенными замыкающими участками при движении воды «снизу — вверх»												
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	235	290	350	410	470	522	585	645	705	765	825	885
4	310	390	470	545	625	700	780	855	935	1010	1085	1160
5	385	485	580	680	780	880	975	1075	1175	1275	1375	1475
6	460	580	695	815	935	1050	1170	1290	1410	1530	1650	1770
7	540	675	815	950	1090	1230	1370	1510	1650	1790	1930	2070
8	610	770	930	1090	1250	1400	1560	1710	1870	2020	2170	2320
9	685	865	1040	1225	1395	1575	1750	1930	2110	2290	2470	2650
10	760	960	1155	1360	1550	1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950
12	910	1150	1380	1630	1860	2100	2340	2580	2820	3060	3300	3540
Горизонтальные узлы с осевыми замыкающими участками при движении воды «снизу — вниз»*												
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	560	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	650	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	740	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	935	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	1130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	1330	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Вертикальные узлы со смещенными замыкающими участками при движении воды «сверху — вниз»												
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	235	295	350	410	470	530	585	645	705	765	825	885
4	315	395	470	550	625	700	780	855	935	1010	1085	1160
5	400	495	590	685	780	880	975	1075	1175	1275	1375	1475
6	480	595	710	820	940	1050	1170	1290	1410	1530	1650	1770
7	560	695	825	965	1100	1230	1360	1500	1630	1770	1900	2030
8	650	795	950	1100	1250	1400	1550	1700	1850	2000	2150	2300
9	730	895	1070	1240	1420	1590	1760	1930	2100	2270	2440	2610
10	815	1000	1190	1380	1570	1760	1950	2140	2330	2520	2710	2900
12	985	1210	1430	1660	1900	2110	2350	2580	2820	3060	3300	3540

*Горизонтальные узлы при $d_{\text{подв}} = 20 \text{ мм}$ имеют $d_{3,y} = 20 \text{ мм}$.

Т а б л и ц а III.35. Теплоотдача 1 эжм чугуновых радиаторов однотрубных систем водяного отопления q_3 (СН 419—70)

$\Delta t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$, при $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$						q_3 , ккал/ч.эк.м., при $\Delta t_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$													
	5	15	16	18	20	25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Движение воды «снизу — вверх»																					
35	40	50	51	53	55	60	183	176	167	160	154	149	144	140	136	132	128	124	121	117	
37	42	52	53	55	57	62	196	190	181	173	167	162	157	152	148	144	140	136	132	128	
39	44	54	55	57	59	64	210	204	194	187	180	175	169	165	160	156	152	148	144	140	
41	46	56	57	59	61	66	223	218	208	200	194	188	182	177	173	168	164	160	156	152	
43	48	58	59	61	63	68	237	233	222	214	207	201	195	190	185	181	176	172	168	164	
45	50	60	61	63	65	70	251	248	237	228	221	214	209	203	198	194	189	184	180	176	
47	52	62	63	65	67	72	265	262	251	242	235	228	222	217	211	206	202	197	193	189	
49	54	64	65	67	69	74	279	276	266	257	249	242	236	230	225	229	215	210	206	201	
51	56	66	67	69	71	76	294	290	281	272	263	256	250	244	238	233	228	223	219	214	
53	58	68	69	71	73	78	308	305	297	286	278	271	264	258	252	247	241	237	232	227	
55	60	70	71	73	75	80	323	319	312	302	293	285	278	272	266	260	255	250	245	240	
57	62	72	73	75	77	82	338	324	328	317	308	300	293	286	280	274	269	264	259	254	
59	64	74	75	77	79	84	353	349	344	332	323	315	307	301	294	289	283	278	272	268	
61	66	76	77	79	81	86	368	364	360	348	338	330	322	315	309	303	297	292	286	281	
63	68	78	79	81	83	88	383	379	375	364	354	345	337	330	324	317	312	306	300	295	
65	70	80	81	83	85	90	398	394	390	380	369	360	353	345	338	332	326	320	315	309	
67	72	82	83	85	87	92	413	410	406	396	385	376	368	360	353	347	341	335	329	324	
69	74	84	85	87	89	94	429	425	421	412	401	392	383	376	369	362	356	350	344	338	
71	76	86	87	89	91	96	444	441	437	429	417	408	399	391	384	377	371	364	359	353	
73	78	88	89	91	93	98	460	456	452	445	434	424	415	407	399	392	386	379	373	368	
75	80	90	91	93	95	100	476	472	468	462	450	440	431	423	415	408	401	395	388	383	
77	82	92	93	95	97	102	492	488	484	479	467	456	447	439	431	423	417	410	404	398	
79	84	94	95	97	99	104	508	504	500	496	484	473	463	455	447	439	432	425	419	413	
81	86	96	97	99	101	106	524	520	516	512	501	490	480	471	463	455	448	441	434	428	
83	88	98	99	101	103	108	540	536	532	528	518	506	496	487	479	471	464	457	450	444	
85	90	100	101	103	105	110	556	552	548	544	535	523	513	504	495	487	480	473	466	459	
87	92	102	103	105	107	112	573	569	564	560	552	540	530	520	512	504	496	489	482	475	
89	94	104	105	107	109	114	589	585	587	577	570	558	547	537	528	520	512	505	498	491	
91	96	106	107	109	111	116	606	602	596	593	587	575	564	554	545	537	529	521	514	507	
93	98	108	109	111	113	118	622	618	614	610	605	593	581	572	562	553	545	538	530	523	

95	100	110	111	113	115	120	639	635	631	627	622	610	599	588	579	570	562	554	547	540
97	102	112	113	115	117	122	656	652	647	643	639	628	616	606	596	587	579	571	563	556
99	104	114	115	117	119	124	673	669	664	660	656	646	634	623	613	604	596	588	580	572
101	106	116	117	119	121	126	690	686	681	677	673	664	652	641	631	621	613	604	597	589
103	108	118	119	121	123	128	707	703	698	694	690	682	670	658	648	639	630	621	613	606
105	110	120	121	123	125	130	724	720	715	711	707	700	688	676	666	656	647	639	631	623
107	112	122	123	125	127	132	741	737	733	728	724	718	706	694	683	674	665	656	648	640
109	114	124	125	127	129	134	756	754	750	746	741	737	724	712	701	691	682	673	665	657
111	116	126	127	129	131	136	776	772	767	763	759	754	742	730	719	709	700	691	682	674
113	118	128	129	131	133	138	793	789	785	780	776	772	761	749	737	727	717	708	700	691
115	120	130	131	133	135	140	811	806	802	798	793	789	779	767	756	745	735	726	717	709
117	122	132	133	135	137	142	828	824	820	815	811	806	798	785	774	763	753	744	735	726
119	124	134	135	137	139	144	846	842	837	833	828	824	817	804	792	781	771	762	753	744
121	126	136	137	139	141	146	864	859	855	851	846	842	836	823	811	800	789	780	771	762
123	128	138	139	141	143	148	882	877	873	868	864	859	855	849	829	818	808	798	789	780
125	130	140	141	143	145	150	900	895	891	886	882	877	873	860	848	837	826	816	807	798

Движение воды «снизу — вниз»

35	40	50	51	53	55	60	226	219	208	199	191	185	179	173	168	163	158	154	149	145
37	42	52	53	55	57	62	241	236	223	214	206	199	193	187	182	177	172	167	163	158
39	44	54	55	57	59	64	256	252	239	229	221	214	208	202	196	191	186	181	176	172
41	46	56	57	59	61	66	272	268	255	245	237	229	222	216	210	205	200	195	190	185
43	48	58	59	61	63	68	287	283	272	261	252	244	237	231	225	219	214	209	204	199
45	50	60	61	63	65	70	303	299	288	277	268	260	252	248	239	234	228	223	218	213
47	52	62	63	65	67	72	318	315	305	293	283	275	268	261	254	248	243	237	232	227
49	54	64	65	67	69	74	334	330	322	309	299	291	283	276	269	263	257	252	247	241
51	56	66	67	69	71	76	350	346	339	326	316	307	299	291	285	278	272	266	261	256
53	58	68	69	71	73	78	366	362	356	343	332	323	315	307	300	293	287	281	276	270
55	60	70	71	73	75	80	382	378	374	360	349	339	330	323	315	309	302	296	291	285
57	62	72	73	75	77	82	398	394	390	377	365	355	347	339	331	324	318	312	306	300
59	64	74	75	77	79	84	415	411	407	394	382	372	363	355	347	340	333	327	321	315
61	66	76	77	79	81	86	431	427	423	411	399	389	379	371	363	356	349	342	336	330
63	68	78	79	81	83	88	447	443	439	429	416	405	396	387	379	372	365	358	352	345
65	70	80	81	83	85	90	464	460	456	446	433	422	413	404	395	388	381	374	367	361
67	72	82	83	85	87	92	481	476	472	464	451	439	429	420	412	404	397	390	383	377
69	74	84	85	87	89	94	497	493	489	482	468	457	446	437	428	420	413	406	399	392

$\varnothing$, мм	$t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$, при $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$						q_3 , ккал/ч.эжм, при $\Delta t_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$													
	5	15	16	18	20	25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
71	76	86	87	89	91	96	514	510	506	502	486	474	463	454	445	437	429	422	415	408
73	88	88	89	91	93	98	531	526	522	518	504	492	481	471	462	453	446	437	431	424
75	80	90	91	93	95	100	548	543	539	535	522	509	498	488	479	470	462	454	447	440
77	82	92	93	95	97	102	565	560	556	552	540	527	516	505	496	487	479	471	464	457
79	84	94	95	97	99	104	582	577	573	569	558	545	533	523	513	504	496	488	480	473
81	86	96	97	99	101	106	597	594	590	586	576	563	551	540	530	521	513	504	497	489
83	88	98	99	101	103	108	616	611	607	603	595	581	569	558	548	538	530	521	514	508
85	90	100	101	103	105	110	633	629	624	620	616	599	587	584	565	556	547	538	530	523
87	92	102	103	105	107	112	650	646	642	637	633	617	605	602	583	573	564	555	547	540
89	94	104	105	107	109	114	667	663	659	654	650	636	623	611	600	591	581	573	564	556
91	96	106	107	109	111	116	685	681	676	672	667	654	641	629	618	608	599	590	582	574
93	94	108	109	111	113	118	702	698	694	689	685	673	659	647	636	626	616	607	599	591
95	100	110	111	113	115	120	720	715	711	707	702	692	678	665	654	644	634	625	616	608
97	102	112	113	115	117	122	737	733	729	724	720	711	696	684	672	662	652	642	634	625
99	104	114	115	117	119	124	755	751	746	742	737	733	715	702	691	680	670	660	651	643
101	106	116	117	119	121	126	773	768	764	759	755	751	734	721	709	698	688	678	669	660
103	108	118	119	121	123	128	790	786	781	777	773	768	753	739	727	716	706	696	687	678
105	110	120	121	123	125	130	808	804	799	795	790	786	772	758	746	734	724	714	704	695
107	112	122	123	125	127	132	826	821	817	813	808	804	791	777	764	753	742	732	722	713
109	114	124	125	127	129	134	844	839	835	830	826	821	810	796	783	771	760	750	740	731
111	116	126	127	129	131	136	862	857	853	848	844	839	829	815	802	790	779	768	758	749
113	118	128	129	131	133	138	880	875	872	866	862	857	853	834	821	809	797	787	777	767
115	120	130	131	133	135	140	898	893	889	884	880	875	871	853	840	827	816	805	795	785
117	122	132	133	135	137	142	916	911	907	902	898	893	889	872	859	846	834	824	813	803
119	124	134	135	137	139	144	934	929	925	920	916	911	907	892	878	865	853	842	832	822
121	126	136	137	139	141	146	952	947	943	938	934	929	925	911	897	884	872	861	850	840
123	128	138	139	141	143	148	970	966	961	956	952	947	943	931	916	903	891	880	869	859
125	130	140	141	143	145	150	988	984	979	974	970	966	961	950	936	922	910	898	887	877

Движение воды «сверху — вниз»

35	40	50	51	53	55	60	202	198	192	186	181	176	172	167	163	159	155	151	147	143
37	42	52	53	55	57	62	218	214	208	202	197	192	187	182	178	174	169	165	161	157
39	44	54	55	57	59	64	234	231	224	218	212	207	202	198	193	189	184	180	176	172
41	46	56	57	59	61	66	250	246	240	234	228	223	218	213	208	204	199	195	191	187
43	48	58	59	61	63	68	267	263	257	250	244	239	234	229	224	219	215	210	206	202
45	50	60	61	63	65	70	283	279	274	269	261	255	250	245	240	235	231	226	222	217
47	52	62	63	65	67	72	300	296	291	284	278	272	267	262	256	251	247	242	237	233
49	54	64	65	67	69	74	317	313	308	301	295	289	283	278	273	268	263	258	253	249
51	56	66	67	69	71	76	335	330	326	319	312	306	301	295	290	285	279	275	270	265
53	58	68	69	71	73	78	352	348	344	337	330	324	318	312	307	301	296	291	286	282
55	60	70	71	73	75	80	370	366	363	355	348	342	335	330	324	319	313	308	303	298
57	62	72	73	75	77	82	388	384	379	373	366	360	353	347	342	336	331	326	320	315
59	64	74	75	77	79	84	407	402	397	392	385	378	371	365	360	354	348	343	338	333
61	66	76	77	79	81	86	425	420	416	411	403	396	390	384	378	372	366	361	355	350
63	68	78	79	81	83	88	444	439	434	430	422	415	408	402	396	390	384	379	373	368
65	70	80	81	83	85	90	462	458	453	449	441	434	427	421	414	408	403	397	391	386
67	72	82	83	85	87	92	481	477	472	469	460	453	446	440	433	427	421	415	410	404
69	74	84	85	87	89	94	501	496	491	488	480	472	465	459	452	446	440	434	428	423
71	76	86	87	89	91	96	520	515	510	506	500	492	485	478	471	465	459	453	447	441
73	78	88	89	91	93	98	540	535	530	525	520	512	504	497	491	484	478	472	466	460
75	80	90	91	93	95	100	559	554	549	545	540	532	524	517	510	504	497	491	485	479
77	82	92	93	95	97	102	579	574	569	564	560	552	544	537	530	523	517	511	505	499
79	84	94	95	97	99	104	599	594	589	584	581	572	565	557	550	543	537	530	524	518
81	86	96	97	99	101	106	620	615	609	604	601	593	585	578	570	563	557	550	544	538
83	88	98	99	101	103	108	640	635	630	625	620	614	606	598	591	584	577	570	564	559
85	90	100	101	103	105	110	661	655	650	645	640	635	626	619	611	604	597	591	584	578
87	92	102	103	105	107	112	681	676	671	666	661	656	647	640	632	625	618	611	604	598
89	94	104	105	107	109	114	702	697	692	686	681	677	669	661	653	646	639	632	625	618
91	96	106	107	109	111	116	723	718	713	707	702	699	690	682	674	667	659	652	646	639
93	98	108	109	111	113	118	744	739	734	728	723	720	712	703	695	687	681	673	666	660
95	100	110	111	113	115	120	766	760	755	750	744	739	733	725	717	709	702	694	688	681
97	102	112	113	115	117	122	787	782	776	771	766	760	755	747	739	733	723	716	709	702
99	104	114	115	117	119	124	809	803	798	793	787	782	777	769	760	752	745	737	730	723

Примечание. Промежуточные величины следует вычислять интерполяцией.

Т а б л и ц а III.36. Полезная теплоотдача открыто проложенных трубопроводов систем центрального отопления (СН 398 — 69 и СН 354 — 66)

$\frac{t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}}{^{\circ}\text{C}}$	$\frac{d_{\text{в}}}{d_{\text{н}}}$	Теплоотдача 1 м трубы, ккал/ч, при $t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}$ через 1 $^{\circ}\text{C}$									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	10	25,7	26,4	27	27,7	28,4	29,1	29,8	30,4	31,2	31,9
	17	35,2	36,2	37,1	38	38,9	39,9	40,8	41,6	42,6	43,5
	15	32,6	33,4	34,3	35,1	35,4	36,8	37,6	38,5	39,3	40,2
	21,3	43,1	44,2	45,3	46,4	47,5	48,6	49,8	51	52,1	53,2
	20	40,8	41,8	42,8	43,9	44,9	46	47	48,1	49,2	50,3
	26,8	52,3	53,6	55	56,5	57,7	59	60,5	61,9	63,3	64,8
	25	51	52,3	53,6	54,8	56,2	57,5	58,8	60,1	61,5	62,8
	33,5	62,7	64,4	65,9	67,5	69,2	70,8	72,5	74	75,9	77,5
	32	64,2	65,8	67,4	69,1	70,7	72,4	74,1	75,7	77,4	79,1
	42,5	77,5	79,4	81,3	83,3	85,2	87,2	89,2	91,2	93,3	95,5
	40	72,9	74,7	76,5	78,4	80,3	82,4	84	85,9	87,9	89,7
	48	86,3	88,3	90,5	92,8	95	97,4	99,5	102	104,2	106,7
60	50	91	93,4	95,7	98	100,6	102,8	105,4	107,6	110,4	112,9
	60	105	107,5	110,8	113,5	116	119	121	123,5	126,5	130
	10	32,6	33,3	34	34,8	35,5	36,2	37	37,7	38,4	39,3
	17	44,5	45,3	46,4	47,3	48,3	49,2	50,2	51,2	52,1	53,1
	15	41	42	42,8	43,7	44,6	45,5	46,5	47,4	48,3	49,2
	21,3	54,4	55,6	56,8	58	59,3	60,3	61,4	62,6	63,9	65,2
	20	51,4	52,5	53,6	54,7	55,8	56,9	58,1	59,2	60,1	61,5
	26,8	66,2	67,5	69	70,2	71,6	73	74,4	75,8	77,3	78,5
	25	64,2	65,6	67	68,3	69,8	71,2	72,6	74	75,5	76,9
	33,5	79,2	80,8	82,5	84,3	86	87,6	89,4	91,1	93	94,9
	32	80,9	82,6	84,4	86,1	87,9	89,6	91,4	93,3	95,1	96,9
	42,5	97,5	99,4	101,6	103,5	105,8	107,8	109,9	112,1	114,3	116,3
70	40	91,8	93,7	95,7	97,7	99,7	101,7	103,8	105,9	107,9	110
	48	109	111,3	113,6	115,9	118,2	120,6	123	125,4	127,8	130,2
	50	115,4	117,7	120,6	123	125,6	128,3	130,8	133,6	136,1	138,9
	60	132,5	135	138	141	143,5	146,5	149,5	152	157	159
	10	40	40,7	41,6	42,3	43,1	43,9	44,7	45,4	46,3	47,1
	17	54,1	55,1	56,1	57,2	58,1	59,2	60	61,4	62,5	63,2
	15	51,1	52	53	53,9	54,9	55,9	56,8	57,9	58,9	59,9
	21,3	66,3	67,5	68,7	70	71,2	72,4	73,7	75	76,3	77,6
	20	63,8	65	66,2	67,4	68,7	69,9	71,1	72,4	73,6	74,9
	26,8	80,1	81,5	82,9	84,4	85,8	87,3	88,8	90,2	91,7	93,2
	25	79,8	81,3	82,8	84,3	85,8	87,4	88,9	90,5	92	93,6
	33,5	96,6	98,4	100,2	102	103,9	105,7	107,6	109,5	110,3	113,3
	32	100,5	102,4	104,3	105,8	108,1	110,2	112,2	114	115,9	117,9
	42,5	118,6	120,8	123	125,1	127,4	129,7	131,9	134,2	136,5	138,8
	40	114,1	116,2	118,4	120,5	122,6	124,9	127,4	129,4	131,6	133,8
	48	132,6	135	137,5	140	142,5	145	147,5	150,1	152,7	155,2

$\frac{t_{\text{BX}} - t_{\text{B}}}{^{\circ}\text{C}}$	$\frac{d_y, \text{ мм}}{d_H, \text{ мм}}$	Теплоотдача 1 м трубы, ккал/ч, при $t_{\text{BX}} - t_{\text{B}}$ через 1 $^{\circ}\text{C}$									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	50	141,5	144,3	147	149,8	152,5	155,2	158,1	160,7	163,8	166,5
	60	161,3	164	167	169,5	173,5	176	178,5	182,5	185	188
	10	47,9	48,7	49,5	50,4	51,2	52,1	52,9	53,7	54,6	55,5
	17	64,5	65,3	66,5	67,5	68,5	69,6	70,4	71,7	73	73,9
80	15	60,9	61,9	63	64	65	66	67,1	68,2	69,7	70,3
	21,3	78,9	80,1	81,4	82,7	84,1	85,4	86,7	87,1	88,1	90,8
	20	76,2	77,1	78,7	80	81,3	82,6	83,9	85,3	86,6	87,9
	26,8	94,2	96,2	97,8	99,4	101	102,7	104,2	105,9	107,5	109,2
	25	95,2	96,9	98,4	100	101,7	103,2	104,8	106,5	108	109,9
	33,5	115,2	117	118,9	120,8	122,6	124,5	126,4	128,3	130,2	132,2
	32	119,9	121,9	124	126	128	129,9	132,1	134,2	136,3	138,5
	42,5	141,1	143,4	145,6	147,9	150,3	152,6	154,9	157,3	159,6	162
	40	136,1	138,4	141,7	143	145,2	148,6	150	152,3	154,7	157,2
	48	157,8	160,3	162,8	165,3	167,9	170,2	173	176,1	178,7	181,3
	50	169,4	172,3	175,4	178,4	181,2	184,3	186,9	190,2	193,2	196,2
	60	191,5	195	198	201,5	205	208	211,5	215	218	221
90	10	56,3	57,1	58	58,9	59,7	60,7	61,6	62,5	63,4	64,2
	17	75	76,1	77,5	78,4	79,4	80,3	81,6	82,6	84,2	85,3
	15	71,4	72,4	73,6	74,7	75,8	76,8	77,9	79,1	80,3	81,4
	21,3	92,2	93,4	94,8	96,2	97,7	99,1	100,9	101,8	103,3	104,7
	20	89,3	90,6	92	93,4	94,7	96,1	97,5	98,8	100,3	101,8
	26,8	110,3	112,5	114	115,9	117,5	119,3	121	122,7	124	125,6
	25	111,6	113,3	115	116,7	118,4	120,2	121,9	123,7	125,4	127,2
	33,5	134,1	136	138	140	141,2	143,9	145,9	147,9	150,9	152
	32	140,6	142,7	144,9	147	149	151,3	153,6	155,8	158	160,3
	42,5	164,4	166,8	169,2	171,6	173,1	175,5	178,9	181,5	183,9	186,4
	40	159,6	162,2	164,4	166,8	169,3	171,8	174,3	176,8	179,3	181,9
	48	183,9	186,5	189,2	191,8	184,5	197,2	199,9	202,6	205,2	207,9
100	50	199,1	202	205,4	208,5	211,5	214,8	217,9	221,1	224,4	227,4
	60	224	227,5	231,5	234	237	241	244	248	251,5	255
	10	65,3	66	67	67,9	68,8	69,9	70,8	71,8	72,7	73,7
	17	86,5	87,8	88,8	89,9	91	92,2	93,1	94,5	95,8	97
100	15	82,2	83,6	84,5	85,5	86,4	87,4	88,4	89,3	90,2	91,2
	21,3	105,2	106,5	108,2	110	111,3	113	114,5	116	117,2	118,6

$\frac{t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}$ °C	$\frac{d_{\text{у}}, \text{мм}}{d_{\text{н}}, \text{мм}}$	Теплоотдача 1 м трубы, ккал/ч, при $t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}$ через 1° C									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	20	103,3	104,5	106	107,4	109	110,6	111,9	113,6	115	116,6
	26,8	128,3	130,6	132,6	134,3	136	137,3	139	141,1	142,5	145
	25	128,4	129,2	131,1	133	134,9	136,8	138,7	140,6	142,5	144,4
	33,5	155	157,3	160	162,3	164,3	166,5	168	170,7	172,2	175
	32	162	164,4	166,3	169,1	171	173,9	175,7	178,6	180,4	182,4
	42,5	190,8	193	195,8	198,5	201,5	204	206	209	212	214,5
	40	184,4	186,8	189,3	191,9	194,6	197,5	200	202,9	205,5	208,1
	48	211,5	215	218	221	224	227,5	230	233	235,5	238,5
	50	230,9	234	237,1	240,4	243,7	247,4	250,5	254,2	257,2	260,7
	60	258	262	266	270	273,5	277	280,5	284	288	292

Примечание. Против числители приведена теплоотдача вертикальных, против знаменателя — горизонтальных трубопроводов.

По табл. III.36 находим полезную теплоотдачу труб с точностью до 5 ккал/ч для каждого радиаторного узла этажестояка:

для прибора 1 при $t_{\text{вх}_1} - t_{\text{в}} = 105 - 18 = 87^\circ \text{C}$

$$Q_{\text{тр}_1} = 85,3 \cdot 2,5 + 105,9 \cdot 0,7 = 290 \text{ ккал/ч};$$

для прибора 2 при $t_{\text{вх}_2} - t_{\text{в}} = 102,9 - 18 = 84,9^\circ \text{C}$

$$Q_{\text{тр}_2} = 82,6 \cdot 2,5 + 102,7 \cdot 0,7 = 280 \text{ ккал/ч};$$

для прибора 3 при $t_{\text{вх}_3} - t_{\text{в}} = 101,1 - 18 = 83,1^\circ \text{C}$

$$Q_{\text{тр}_3} = 80 \cdot 2,5 + 99,4 \cdot 0,7 = 270 \text{ ккал/ч и т. д.}$$

Расчетные величины необходимой теплоотдачи радиаторов определяем как разность теплопотери помещения и найденной полезной теплоотдачи труб данного радиаторного узла:

$$\text{для прибора 1 } Q_{\text{р}_1} = Q_{\text{т}_1} - Q_{\text{тр}_1} = 1000 - 290 = 710 \text{ ккал/ч};$$

$$\text{для прибора 2 } Q_{\text{р}_2} = 800 - 280 = 520 \text{ ккал/ч};$$

$$\text{для прибора 3 } Q_{\text{р}_3} = 800 - 270 = 530 \text{ ккал/ч и т. д.}$$

Для стандартных этажестояков с чугунными радиаторами полезную теплоотдачу открыто проложенных труб, выраженную как поверхность нагрева $F_{\text{тр}}$ в эсм удобно принимать по табл. III.17 и III.18.

Далее находим температурные перепады воды в приборах, если расход теплоносителя $G_{\text{ст}} = G_{\text{пр}} = 463 \text{ кг/ч}$ при $\alpha = 1$:

$$\text{для прибора 1 } \Delta t_{\text{пр}_1} = Q_{\text{р}_1} : G_{\text{ст}} = 710 : 463 = 1,53^\circ \text{C};$$

$$\text{для прибора 2 } \Delta t_{\text{пр}_2} = 520 : 463 = 1,12^\circ \text{C};$$

$$\text{для прибора 3 } \Delta t_{\text{пр}_3} = 530 : 463 = 1,14^\circ \text{C}.$$

Пользуясь табл. III.35, определяем значения теплоотдачи радиаторов $q_{\text{э}}$ в ккал/ч · эсм при движении воды по стояку «снизу — вверх», интерполируя табличные значения. Затем на основании формулы (III.6) вычисляем расчетные поверхности радиаторов с учетом поправки β_1 на охлаждение воды в однотрубном стояке по табл. III.19:

$$\text{для прибора 1 } F_{\text{р}_1} = \frac{Q_{\text{р}_1} \beta_1}{q_{\text{э}_1}} = \frac{710}{571} 1 = 1,24 \text{ эсм};$$

$$\text{для прибора 2 } F_{\text{р}_2} = \frac{520}{550} 1 = 0,95 \text{ эсм};$$

$$\text{для прибора 3 } F_{\text{р}_3} = \frac{530}{540} 1 = 0,99 \text{ эсм и т. д.}$$

При помощи табл. III.25 по найденным значениям F_p определяем количество секций радиаторов типа М-140-АО с учетом поправки β_3 :

для прибора 1 $n_1 = 4$;
для прибора 2 $n_2 = 3$;
для прибора 3 $n_3 = 3$ и т. д.

Расчетные величины удобно заносить в свободный бланк по форме, приведенной в табл. III.37.

Таблица III.37. Сводные данные расчета нагревательных приборов однотрубных систем центрального водяного отопления

Номер прибора по ходу теплоносителя	Тепловые нагрузки, ккал/ч			$t_{в'}$, °C	$G_{ст'}$, кг/ч	α	$G_{пр'}$, кг/ч	$t_{вх'}$, °C	$\Delta t_{пр'}$, °C	$t_{вх} - t_{в'}$, °C	$q_э$, ккал/ч·экв	Поправки		F_p' , экв	n
	Q_T	$Q_{тр}$	Q_p									β_1	β_2		
1	1000	290	710	18	463	1	463	105	1,53	87	571	1	1	1,24	4
2	800	280	520	18	463	1	463	102,9	1,12	84,3	550	1	1	0,95	3
3	800	270	530	18	463	1	463	101,1	1,14	83,1	540	1	1	0,99	3

Расчет воздухонагревателей лестничных клеток

В лестничных клетках многоэтажных зданий устраивают воздухонагреватели в виде шкафов-укрытий с греющими элементами из ребристых труб. Такие воздушно-отопительные установки работают при естественном движении воздуха на полную рециркуляцию*.

Расчетная поверхность нагрева греющих элементов воздухонагревателя в m^2

$$F_B = \frac{Q_T}{k_B (t_{ср} - t_{ср.в})}, \quad (III.23)$$

где Q_T — тепловая нагрузка воздухонагревателя, ккал/ч;

k_B — коэффициент теплопередачи греющего элемента воздухонагревателя;

$t_{ср} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2}$ — средняя температура теплоносителя, °C;

$t_{вх}$ и $t_{вых}$ — температура теплоносителя, входящего в греющий элемент и выходящего из него, °C;

$t_{ср.в} = \frac{t_{в} + t_{г.в}}{2}$ — средняя температура воздуха, циркулирующего в укрытии воздухонагревателя, °C;

$t_{в}$ и $t_{г.в}$ — температура воздуха, находящегося в помещении лестничной клетки и выходящего из укрытия воздухонагревателя, °C.

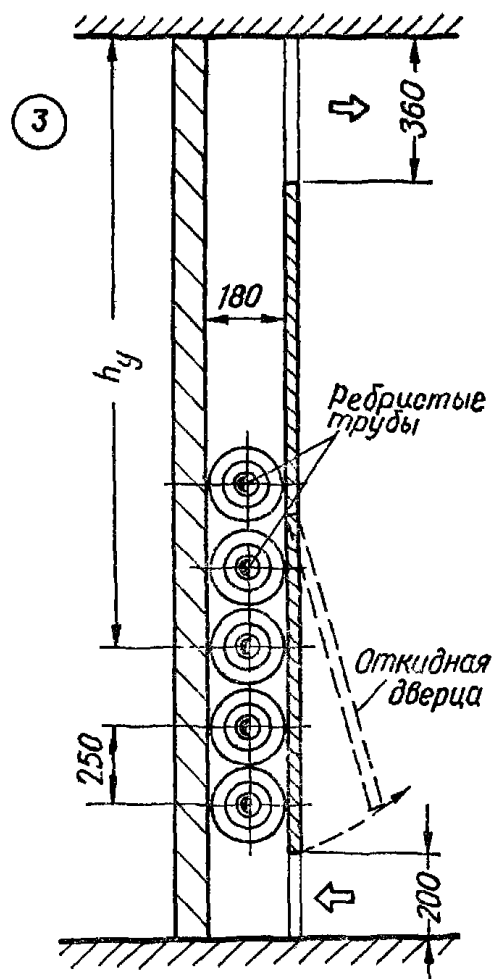
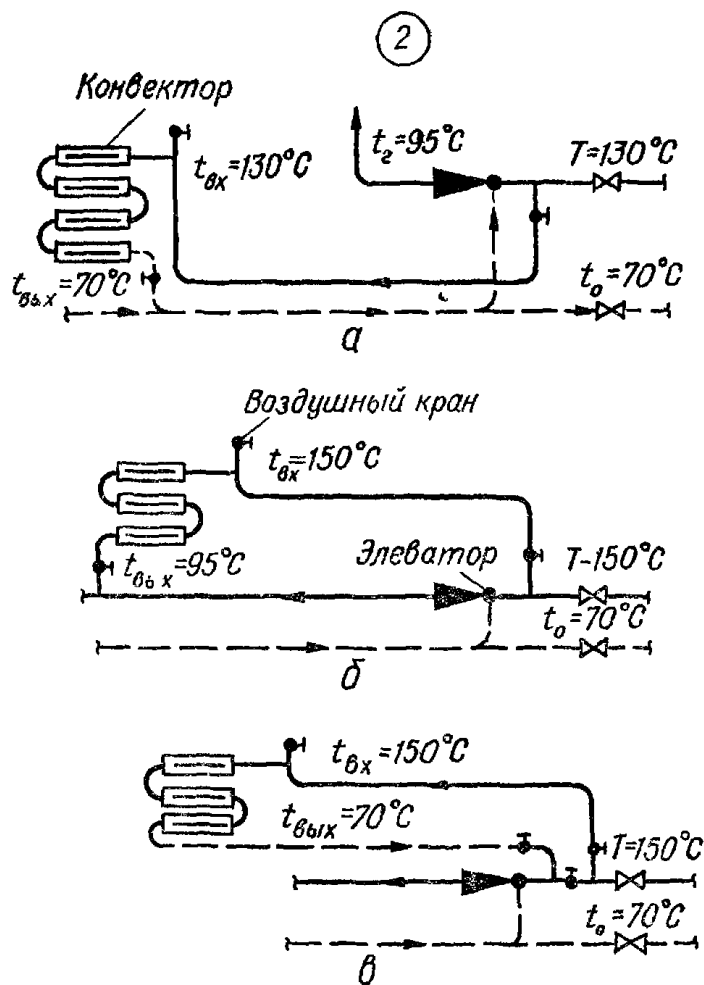
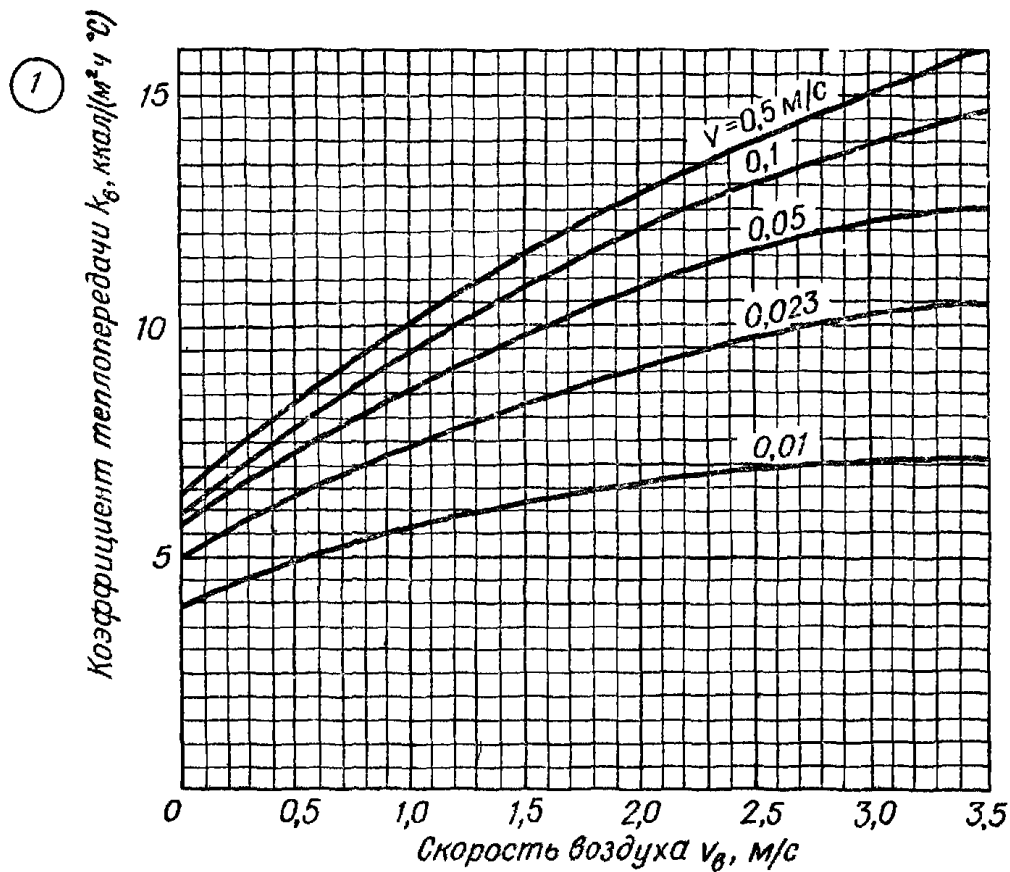
Величину расхода воздуха G_B в кг/ч находят в зависимости от принятой температуры нагретого воздуха $t_{г.в} = 40 \div 70^\circ C$ по формуле

$$G_B = \frac{Q_T}{0,24 (t_{г.в} - t_{в})}, \quad (III.24)$$

где 0,24 ккал/(кг · °C) — удельная теплоемкость воздуха.

Коэффициент теплопередачи греющего элемента из ребристых труб в вынужденном потоке воздуха k_B в ккал/($m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$) принимают по графику на листе III.15, рис. 1 в зависимости от скоростей воздуха в живом сечении укрытия и теплоносителя в ребристых трубах.

* Е. А. Белинский. Рациональные системы водяного отопления. Л., Госстройиздат, 1963; А. К. Андриевский. Отопление. Минск, «Вышэйшая школа», 1974.



Лист III.15. К расчету воздухонагревателей лестничных клеток:

1 — график для определения коэффициента теплопередачи ребристых труб в вынужденном потоке воздуха, 2 — подключение ребристых труб воздухонагревателя конвектора к узлу ввода тепловой сети до элеватора (а, б — подающей; в — подающей и обратной), 3 — схема укрытия.

Скорость воздуха в м/с в живом сечении ребристых труб с круглыми ребрами (ГОСТ 1816—64) определяют по формуле

$$v_v = \frac{G_v}{3600 f_{\text{ж}} \gamma_{\text{ср.в}}}, \quad (\text{III.25})$$

где $f_{\text{ж}}$ — площадь живого сечения ребристых труб, м^2 (определяется как разность площади сечения укрытия и площади, занимаемой ребристой трубой; для ребристых труб с круглыми ребрами (ГОСТ 1816—64) площадь, занимаемая греющим элементом, при длине трубы 1 м составляет 0,1277 м^2 , при длине 1,5 м — 0,175 м^2 и при длине 2 м — 0,225 м^2);

$\gamma_{\text{ср.в}}$ — плотность воздуха с температурой $t_{\text{ср.в}}$, кг/м^3 .

Скорость теплоносителя в ребристых трубах в м/с

$$v = \frac{G_T}{13400}, \quad (\text{III.26})$$

где 13400 = G/v — расход теплоносителя для ребристой трубы диаметром 70 мм, отвечающий скорости 1 м/с;

G_T — расчетный расход теплоносителя, кг/ч , определяемый по формуле

$$G_T = \frac{Q_T}{t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}}. \quad (\text{III.27})$$

Греющие элементы воздухонагревателей лестничных клеток, как правило, соединяются последовательно; в системах теплоснабжения зданий от ТЭЦ их подключают непосредственно к наружной тепловой сети до элеваторного узла (лист III.15, рис. 2). В этом случае (например, по схеме на листе III.15, рис. 2, в) весь расчетный расход теплоносителя для системы отопления здания предварительно, до элеваторного узла, проходит через греющие элементы воздухонагревателя. Тогда температуры теплоносителя в формуле (III.27) будут равны ($t_{\text{вх}} = t_{\text{г}}$), т. е. температура входящей воды равна температуре теплоносителя в подающем трубопроводе наружной тепловой сети.

Температура воды, выходящей из греющего элемента,

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{г}} - \frac{Q_T}{G_{\text{сист}}}. \quad (\text{III.28})$$

В этой формуле величина суммарного расхода теплоносителя на отапливаемое здание в кг/ч

$$G_{\text{сист}} = \frac{1,15 Q_{\text{сист}}}{t_{\text{г}} - t_0}, \quad (\text{III.29})$$

где 1,15 — запас на неучтенные потери тепла в разводящих трубопроводах (согласно СН 419—70);

$Q_{\text{сист}}$ — суммарная тепловая нагрузка с учетом предвключенного воздухонагревателя, ккал/ч ;

t_0 — температура теплоносителя в обратном трубопроводе наружной тепловой сети, $^{\circ}\text{C}$.

Кроме теплового расчета, делают еще аэродинамический расчет укрытия воздухонагревателя. Действующую в укрытии разность естественных давлений в кгс/м^2 определяют из выражения

$$p_{\text{е.в}} = h_y (\gamma_v - \gamma_{\text{г.в}}) = 353 h_y \left(\frac{1}{273 + t_v} - \frac{1}{273 + t_{\text{г.в}}} \right), \quad (\text{III.30})$$

где h_y — высота между центрами греющего элемента и выходного отверстия нагретого воздуха, м (лист III.15, рис. 3);

γ_v и $\gamma_{\text{г.в}}$ — плотность охлажденного и нагретого воздуха, кг/м^3 .

Зная расход воздуха и величину естественного перепада давлений, рассчитывают размеры укрытия и отверстий для воздуха с учетом всех сопротивлений (по данным, приведенным в разделе VII «Вентиляция»).

Пример III.5. Рассчитать греющий элемент рециркуляционного воздухонагревателя лестничной клетки из ребристых труб с круглыми ребрами (ГОСТ 1816—64) и

размерами $\varnothing 175 \times 2000$ мм при таких условиях: тепловая нагрузка воздухонагревателя $Q_T = 20\,000$ ккал/ч, а суммарная всего здания $Q_{\text{сист}} = 320\,000$ ккал/ч; ребристые трубы расположены в укрытии в один ряд по вертикали при размерах сечения $0,18 \times 3$ м. Теплоноситель поступает из наружной тепловой сети с параметрами $t_T - t_0 = 150 - 70^\circ \text{C}$. Ребристые трубы воздухонагревателя подключены к подающему трубопроводу тепловой сети до элеваторного узла по схеме на листе III.15, рис. 3, в. Установка должна работать при температуре воздуха в лестничной клетке $t_B = 16^\circ \text{C}$ и нагретого воздуха, выходящего из укрытия, $t_{T.B} = 70^\circ \text{C}$.

Поскольку греющий элемент воздухонагревателя предвключен до элеваторного узла, сначала определяем параметры теплоносителя, циркулирующего через него. При общем расходе на все здание по формуле (III.29)

$$G_{\text{сист}} = \frac{1,15 \cdot 320\,000}{150 - 70} = 4600 \text{ кг/ч};$$

температура воды, выходящей из греющего элемента, по формуле (III.28)

$$t_{\text{вых}} = 150 - \frac{20\,000}{4600} = 145,7^\circ \text{C}.$$

Температура воды, входящей в греющий элемент, $t_{\text{вх}} = t_T = 150^\circ \text{C}$.

Средняя температура теплоносителя, циркулирующего в греющем элементе воздухонагревателя,

$$t_{\text{ср}} = \frac{150 + 145,7}{2} = 147,8^\circ \text{C}.$$

Средняя температура воздуха в укрытии воздухонагревателя

$$t_{\text{ср.в}} = \frac{t_B + t_{T.B}}{2} = \frac{16 + 70}{2} = 43^\circ \text{C}.$$

На основании формулы (III.24) количество воздуха, циркулирующего через укрытие воздухонагревателя,

$$G_B = \frac{20\,000}{0,24(70 - 16)} = 1540 \text{ кг/ч}.$$

Скорость потока воздуха в живом сечении укрытия вычисляем по формуле (III.25) при $f_{\text{ж}} = 0,18 \cdot 3 - 0,225 = 0,315 \text{ м}^2$ и $\gamma_{\text{ср.в}} = 1,117 \text{ кг/м}^3$:

$$v_B = \frac{1540}{3600 \cdot 0,315 \cdot 1,117} = 1,1 \text{ м/с}.$$

Скорость теплоносителя в сечении ребристой трубы по формуле (III.26)

$$v = \frac{4600}{13400} = 0,34 \text{ м/с}.$$

При полученных значениях скоростей воздуха и теплоносителя, пользуясь графиком на листе III.15, рис. 1, находим коэффициент теплопередачи греющего элемента из ребристых труб воздухонагревателя $k_B \approx 10 \text{ ккал/(ч} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C)}$. Расчетную поверхность нагрева греющего элемента из ребристых труб определяем по формуле (III.23):

$$F_B = \frac{20\,000}{10(147,8 - 43)} = 19,2 \text{ м}^2.$$

К установке принимаем греющий элемент воздухонагревателя из пяти ребристых труб с круглыми ребрами длиной по 2 м, расположенных в укрытии в один ряд по вертикали (см. табл. III.8).

Расчет и подбор греющих бетонных панелей

Панельное отопление с применением стальных нагревательных элементов устраивают в соответствии с указаниями СН 398—69. При проектировании строительной части наружных стеновых панелей в крупнопанельных зданиях одновременно выполняют подробный тепловой расчет и конструирование трубчатых греющих элементов, замоноличенных в толщу бетона.

Ниже приведены необходимые расчетные данные для проектирования обычных пристенных вертикальных греющих бетонных панелей со змеевиками из стальных труб диаметром 15—20 мм.

Теплоотдача подоконных и других вертикально расположенных греющих бетонных панелей зависит от величины температурного напора, конструктивной схемы нагревательного элемента (труб змеевика) и термического сопротивления слоя бетона. Выражение теплоотдачи панели в ккал/ч имеет вид

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{л}} k_p + Q_{\text{т}}, \quad (\text{III.31})$$

где k_p — коэффициент, учитывающий изменение теплоотдачи панели в зависимости от расхода теплоносителя G (принимается по графику на листе III.16, рис. 1);

$Q_{\text{т}}$ — теплоотдача тыльной стороны панели, ккал/ч (при установке панелей в перегородке $Q_{\text{т}} = 0$).

Теплоотдачу лицевой стороны панели $Q_{\text{л}}$ в ккал/ч определяют по формуле

$$Q_{\text{л}} = \Sigma (q_{\text{ср}} l_{\text{ср}} + q_{\text{кр}} l_{\text{кр}} + q_{\text{од}} l_{\text{од}}), \quad (\text{III.32})$$

где $q_{\text{ср}}$, $q_{\text{кр}}$, $q_{\text{од}}$ — теплоотдача средних, крайних и одиночных труб панели, ккал/ч на 1 м трубы (лист III.16, рис. 2 и 3); для одиночных труб теплоотдачу можно принимать как для крайних труб;

$l_{\text{ср}}$, $l_{\text{кр}}$, $l_{\text{од}}$ — длина средних, крайних и одиночных труб, м.

Теплоотдачу панелей с двусторонней теплоотдачей вычисляют по формуле

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{л}} k_p k_k + Q_{\text{т}}, \quad (\text{III.33})$$

где k_k — поправка на теплоотдачу панелей с двусторонней теплоотдачей и конвективным каналом.

Для панелей стандартной номенклатуры типов П4, П6 и П8 значение поправочного коэффициента k_p находят по табл. III.38.

Т а б л и ц а III.38. Поправочный коэффициент k_p

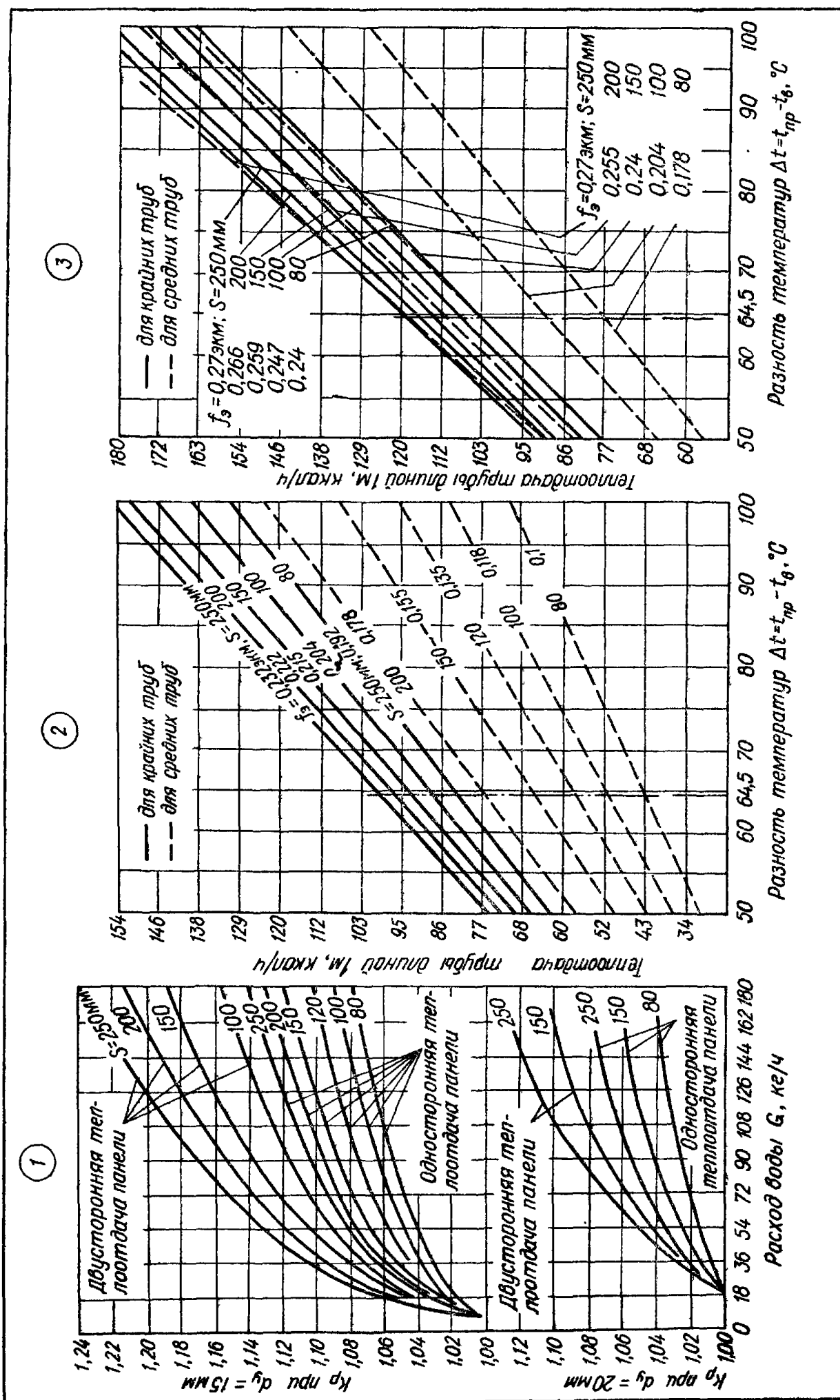
Тип панели	Диаметр змеевика d_y , мм	Значения k_p при расходе воды G , кг/ч								
		18	36	54	72	90	105	126	144	180
П4 односторонняя	15	1,04	1,06	1,08	1,09	1,1	1,105	1,115	1,125	1,14
	20	1	1,02	1,03	1,045	1,05	1,06	1,065	1,07	1,07
П4 двусторонняя	15	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,21
	20	1	1,02	1,05	1,065	1,08	1,09	1,1	1,11	1,11
П6 односторонняя	15	1,02	1,04	1,055	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,1
	20	1	1,015	1,025	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05
П6 двусторонняя	15	1,04	1,08	1,1	1,11	1,12	1,13	1,15	1,155	1,17
	20	1	1,02	1,04	1,07	1,07	1,075	1,08	1,09	1,09
П8 односторонняя	15	1,02	1,095	1,045	1,05	1,06	1,065	1,065	1,07	1,08
	20	1	1,01	1,03	1,025	1,03	1,035	1,04	1,04	1,04
П8 двусторонняя	15	1,04	1,07	1,09	1,1	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
	20	1	1,02	1,035	1,05	1,06	1,065	1,075	1,08	1,08

П р и м е ч а н и е При расходе воды $G = 7,2 \text{ кг/ч}$ для $d_y = 15 \text{ мм}$ $k_p = 1$, а для $d_y = 20 \text{ мм}$ k_p не учитывается

Метод графического расчета и подбора вертикальных греющих бетонных панелей разработан Б. Н. Лобаевым*.

Теплоотдачу и поверхность нагрева замоноличенных труб в бетонной панели с одно- или двусторонней теплоотдачей определяют в зависимости от температурного напора Δt и расстояния между центрами труб змеевика — шага труб S по графикам на листе III.16, рис. 2 и 3.

* Б. Н. Л о б а е в. Расчет системы отопления. Киев, «Будівельник», 1966.



Лист III.16. К расчету вертикальных бетонных греющих панелей со змеевиками из стальных труб:

1 — график для определения поправочного коэффициента k_p ; 2, 3 — графики для определения теплоотдачи труб змеевика соответственно при одно- и двусторонней теплоотдаче панели.

Вертикальные панели типов П4, П6 и П8 высотой 700 и 730 мм при различной схеме змеевика подбирают по графикам на листе III.17, рис. 1—3. Зная требуемую теплоотдачу, температурный напор и способ установки, по графикам легко находят размеры и поверхность панелей в э.м. Теплоотдачу 1 м бетонного плитуса с трубами диаметром 15 мм (лист III.11, рис. 6) определяют по графику на листе III.17, рис. 4.

При тепловом расчете и конструировании вертикальных бетонных греющих панелей исходят из таких соображений:

с увеличением шага труб змеевика уменьшается их расход, но соответственно возрастает расход бетона; в приставных панелях экономичный шаг труб $S = 120$ мм;

для панелей с двусторонней теплоотдачей разница в расходе металла меньше зависит от величины шага труб S , чем для панелей с односторонней теплоотдачей; в панельных стеновых конструкциях следует учитывать только стоимость металла греющих труб;

для уменьшения расхода металла целесообразно рассредоточивать греющие элементы в бетоне (например, применять греющие плитусы, замоноличивать стояки), т.е. повышать тепловое напряжение металла.

При жесткости воды более $3 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$ диаметр труб змеевика принимают не менее 20 мм.

Для расчета и конструирования греющих элементов нестандартных панелей можно пользоваться работой И. С. Шаповалова (см. сноску на стр. 114).

Пример III.6. Для жилой комнаты рассчитать отопительную бетонную панель, замоноличенную в толщу наружной стены здания, если стена с тыльной стороны панели имеет теплоизоляцию, исключающую дополнительные потери тепла стеной. Теплотери помещения $Q = 600 \text{ ккал/ч}$, сопротивление теплопередаче наружной стены $R_0 = 1,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С)/ккал}$. По змеевику из труб диаметром 15 мм циркулирует вода с температурой $t_{\text{ср}} = 83^\circ\text{С}$ и расходом $G = 100 \text{ кг/ч}$. Температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = -30^\circ\text{С}$.

Полезная теплоотдача тыльной стороны панели для покрытия теплотерь 1 м² наружной стены должна быть не более

$$Q_{\text{т}} = \frac{1}{R_0} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = \frac{1}{1,1} (18 + 30) = 43 \text{ ккал/ч.}$$

Теплоотдача лицевой стороны панели должна быть не менее

$$Q_{\text{л}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{т}} = 600 - 43 = 557 \text{ ккал/ч.}$$

Конструируем подоконную бетонную панель, приняв ориентировочно ее высоту 750, длину 1200 мм с нагревательным элементом в виде шести рядов горизонтальных труб змеевика: два крайних и четыре средних.

По графику на листе III.16, рис. 2 находим теплоотдачу 1 м труб змеевика с шагом $S = 120$ мм при тепловом напоре $\Delta t_{\text{т}} = 83 - 18 = 65^\circ\text{С}$: для крайних труб змеевика $q_{\text{кр}} = 90 \text{ ккал/ч}$, $f_{\text{кр}} = 0,21 \text{ э.м.}$; для средних — $q_{\text{ср}} = 59 \text{ ккал/ч}$, $f_{\text{ср}} = 0,135 \text{ э.м.}$

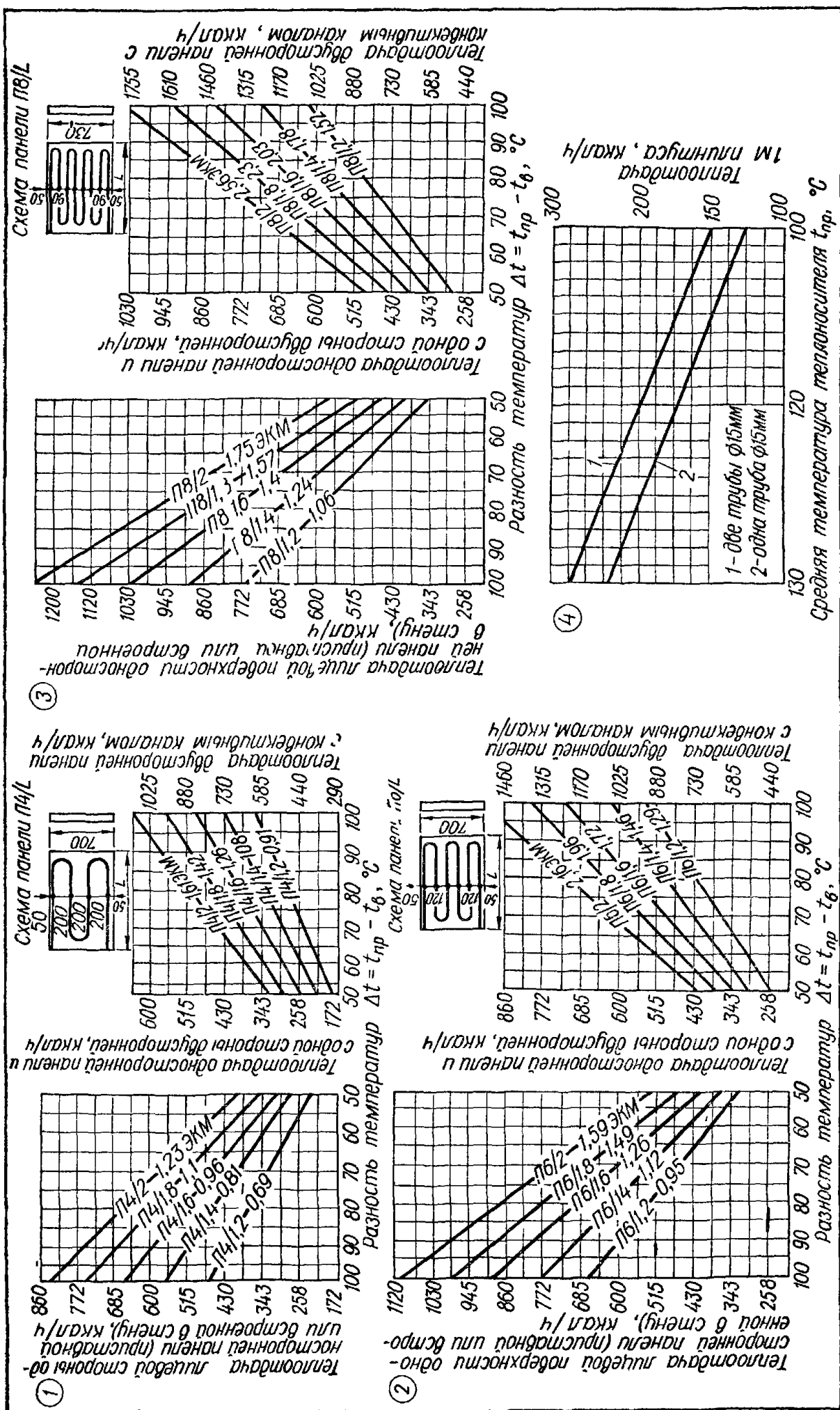
Приняв по графику величину поправочного коэффициента $k_p = 1,08$ на расход воды $G = 100 \text{ кг/ч}$ при шаге труб змеевика $S = 120$ мм диаметром 15 мм, вычисляем теплоотдачу 1 м лицевой стороны панели по формуле (III.32):

$$Q_{\text{л}} = 1,08 (2 \cdot 90 + 4 \cdot 59) = 449 \text{ ккал/ч.}$$

Действительная длина панели, обеспечивающая заданную теплоотдачу, должна быть $L = \frac{557}{449} = 1,24 \text{ м}$; $f = 0,75 \cdot 1,24 = 0,94 \text{ м}^2$. Поверхность панели по теплоотдаче $F_{\text{пр}} = 1,24 (2 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,135) = 1,19 \text{ э.м.}$

Пример III.7. Рассчитать греющую бетонную панель с двусторонней теплоотдачей и конвективным каналом в жилой комнате, если требуемая теплоотдача панели $Q_{\text{н}} = 860 \text{ ккал/ч}$, средняя температура воды $t_{\text{ср}} = 110^\circ\text{С}$, расход воды $G = 180 \text{ кг/ч}$. Диаметр труб змеевика — 15 мм, шаг труб $S = 100$ мм.

Принимая низкую подоконную панель со змеевиком из шести горизонтальных рядов труб (см. график на листе III.16, рис. 3), определяем теплоотдачу и поверхность нагрева 1 м панели. При тепловом напоре $\Delta t = 110 - 18 = 92^\circ\text{С}$ и шаге



Лист III.17. Графики для расчета греющих панелей со змеевиками из стальных труб типов П4 (1), П6 (2), П8 (3) и плитусов (4).

труб $S = 100$ мм теплоотдача крайних и средних труб змеевика при $f_{кр} = 0,247$ экм и $f_{ср} = 0,204$ экм будет $Q_{л} = 2 \cdot 154 + 4 \cdot 132 = 836$ ккал/ч.

На основании графика поправочный коэффициент на расход воды $k_p = 1,16$, действительная теплоотдача панели с учетом $k_k = 0,85$ на конвективный канал $Q_{л} = 836 \cdot 0,85 \cdot 1,16 = 831$ ккал/ч.

Длина панели должна быть $L = \frac{860}{831} = 1,035$ м. Поверхность нагрева панели $F_{пр} = 1,035 (2 \cdot 0,247 + 4 \cdot 0,204) = 1,355$ экм.

Пример III.8. Рассчитать и подобрать греющую бетонную подоконную панель с односторонней теплоотдачей и стандартными размерами, если теплопотери помещения $Q_{п} = 685$ ккал/ч, расход воды $G = 90$ кг/ч, диаметр труб змеевика — 15 мм, температурный напор $\Delta t = 90^\circ \text{C}$.

По графику на листе III.17, рис. 1 подбираем для заданных условий панель типа П4/1,8. Поправочный коэффициент на расход воды $k_p = 1,1$ (табл. III.38). Действительная теплоотдача панели длиной $L = 1,8$ м будет $Q_{п} = 1,1 \cdot 685 = 753$ ккал/ч, т.е. на 10% больше заданной. Поэтому длину панели можно уменьшить до $L = 1,6$ м, приняв ее типа П4/1,6.

Тогда поверхность теплоотдачи панели высотой 0,7 м $F_{пр} = 1,6 \cdot 0,7 = 1,12$ м² = 0,96 экм.

Если перейти на шестирядное расположение горизонтальных труб змеевика и принять панель типа П6/1 с поправкой на расход воды $k_p = 1,07$, то при тех же условиях теплоотдача панели должна быть $Q_{п} : k_p = 685 : 1,07 = 640$ ккал/ч. По графику на листе III.17, рис. 2 при $\Delta t = 90^\circ \text{C}$ подбираем панель типа П6/1,275. Тогда $F_{пр} = 1,275 \cdot 0,7 = 0,89$ м² ≈ 1 экм.

Если принять панель с восьмирядным змеевиком типа П8/1, то при $k_p = 1,06$ ее теплоотдача равна $Q_{п} : k_p = 685 : 1,06 = 645$ ккал/ч. По графику на листе III.17, рис. 3 подбираем панель П8/1,2; $Q = 685$ ккал/ч. Действительная длина панели должна быть $L = 1,2 \frac{645}{685} = 1,13$ м. Тогда $F_{пр} = 0,73 \cdot 1,13 = 0,82$ м² ≈ 1 экм, где 0,73 м — высота панели.

ТРУБОПРОВОДЫ И АРМАТУРА

Трубы и соединительные части

Для систем центрального отопления применяют стальные легкие или обыкновенные водогазопроводные (газовые) трубы по ГОСТ 3262—62, электросварные и бесшовные по ГОСТ 8732—70, ГОСТ 8734—58 и ГОСТ 10704—63. Трубы с диаметрами условного прохода до 50 мм обычно предусматривают неоцинкованными (черными) газовыми, а трубы большего диаметра — тонкостенными электросварными или бесшовными.

На чертежах и в спецификациях указывают для водогазопроводных труб диаметр условного прохода d_y , а для бесшовных и тонкостенных труб — наружный диаметр d_n и толщину стенки, а также соответствующий ГОСТ (например, $\varnothing 32 \times 2,8$, ГОСТ 10704—63). Сортамент стальных труб приведен в табл. III.39—III.42.

Пароводяная арматура

В зависимости от системы отопления, параметров теплоносителя на магистральных трубопроводах, стояках, в котельной и в тепловых вводах устанавливают следующую запорно-регулирующую арматуру: на трубах диаметром 76 мм и более — задвижки с латунными уплотнительными кольцами; на трубах диаметром до 50 мм в водяных системах — пробковые проходные сальниковые бронзовые краны или прямооточные запорные вентили, а в паровых системах — проходные вентили.

В зданиях высотой в 4 этажа и более на стояках водяных систем в местах их отвлений от магистральных трубопроводов следует устанавливать прямооточные запорные вентили. Вентили монтируют на отрезках стояков на чердаке, в подвале или в подпольных каналах. В нижней части стояков перед вентилем предусматриваются тройники с пробками для опорожнения их от воды на время ремонта, что не нарушает эксплуатации всей системы отопления.

Таблица III.39. Трубы стальные электросварные (ГОСТ 10704—63)

d_H , мм	Масса 1 м, кг, при толщине стенки, мм																
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,5	2,8	3	3,2	3,5	3,8	4	4,5	5	5,5
10	0,222	0,261	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0,271	0,32	0,365	0,411	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	0,321	0,379	0,434	0,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	0,37	0,438	0,503	0,568	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	0,419	0,497	0,572	0,647	0,717	0,789	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	0,469	0,556	0,642	0,726	0,806	0,888	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	0,518	0,616	0,71	0,806	0,895	0,986	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	0,592	0,703	0,813	0,925	1,03	1,13	1,24	1,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	0,617	0,753	0,849	0,963	1,07	1,18	1,29	1,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	0,666	0,792	0,916	1,04	1,16	1,28	1,4	1,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	0,715	0,851	0,986	1,12	1,25	1,38	1,51	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	0,755	0,91	1,053	1,2	1,34	1,48	1,62	1,82	2,02	2,15	—	—	—	—	—	—	—
33	0,789	0,941	1,091	1,24	1,38	1,53	1,67	1,88	2,08	2,22	—	—	—	—	—	—	—
34	—	0,968	1,122	1,28	1,43	1,58	1,72	1,94	2,15	2,29	—	—	—	—	—	—	—
36	—	1,027	1,192	1,36	1,52	1,68	1,83	2,07	2,29	2,44	—	—	—	—	—	—	—
38	—	1,087	1,26	1,44	1,61	1,78	1,94	2,19	2,43	2,59	—	—	—	—	—	—	—
40	—	1,146	1,33	1,52	1,69	1,87	2,05	2,31	2,56	2,74	—	—	—	—	—	—	—
42	—	1,208	1,41	1,6	1,79	1,97	2,16	2,44	2,7	2,89	—	—	—	—	—	—	—
45	—	1,295	1,51	1,71	1,91	2,12	2,32	2,62	2,91	3,11	—	—	—	—	—	—	—
48	—	—	1,61	1,83	2,05	2,27	2,48	2,81	3,11	3,33	—	—	—	—	—	—	—
50	—	—	1,68	1,91	2,14	2,37	2,59	2,93	3,25	3,48	3,7	4,01	—	—	—	—	—
51	—	—	1,71	1,96	2,18	2,42	2,64	2,99	3,32	3,55	3,79	4,1	—	—	—	—	—
53	—	—	1,78	2,03	2,27	2,51	2,76	3,11	3,46	3,7	3,94	4,27	—	—	—	—	—
57	—	—	1,92	2,18	2,45	2,71	2,97	3,36	3,74	4	4,25	4,62	—	—	—	—	—
60	—	—	2,02	2,31	2,58	2,86	3,13	3,55	3,94	4,22	4,49	4,88	5,27	5,52	—	—	—

63,5	—	2,14	2,44	2,74	3,03	3,24	3,76	4,2	4,48	4,72	5,18	5,59	5,87	—	—	—
70	—	2,37	2,7	3,02	3,35	3,68	4,16	4,63	4,96	5,28	5,74	6,2	6,51	—	—	—
73	—	2,47	2,82	3,16	3,5	3,84	4,35	4,84	5,18	5,52	6	6,48	6,81	—	—	—
76	—	2,57	2,94	3,29	3,65	4	4,53	5,05	5,4	5,75	6,26	6,76	7,1	7,93	8,75	—
83	—	—	—	3,6	4	4,37	4,96	5,52	5,92	6,31	6,86	7,42	7,79	8,71	9,62	—
89	—	—	—	—	4,29	4,7	5,33	5,94	6,36	6,77	7,38	7,98	8,38	9,38	10,36	—
95	—	—	—	—	4,59	5,02	5,7	6,36	6,81	7,26	7,9	8,55	8,98	10,04	11,1	—
102	—	—	—	—	4,93	5,4	6,13	6,84	7,32	7,81	8,5	9,2	9,67	10,82	11,96	—
108	—	—	—	—	—	—	—	—	7,77	8,29	9,02	9,76	10,26	11,49	12,7	—
114	—	—	—	—	—	—	—	—	8,21	8,74	9,54	10,33	10,85	12,15	13,44	—
121	—	—	—	—	—	—	—	—	8,73	9,29	10,14	10,98	11,54	12,93	14,3	—
127	—	—	—	—	—	—	—	—	9,17	9,77	10,66	11,54	12,13	13,59	15,04	—
133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,25	11,18	12,11	12,73	14,26	15,78	—
140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,79	11,78	12,76	13,42	15,04	16,65	18,24
152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,74	12,82	13,89	14,6	16,37	18,13	19,87

Таблица III.40. Трубы стальные водогазопроводные (ГОСТ 3262—62)

d_y , мм	d_n , мм	Легкие		Обыкновенные						Усиленные	
		Толщина стенки, мм	Масса 1 м, кг	Толщина стенки, мм	Масса 1 м, кг	Внутренний диаметр, мм	Площадь сечения, см ²	Объем 1 м, л	Наружная поверхность, 1 м, м ²	Толщина стенки, мм	Масса 1 м, кг
10	17	2	0,74	2,2	0,8	12,6	1,2	0,12	0,054	2,8	0,98
15	21,3	2,5	1,16	2,8	1,28	15,7	1,9	0,19	0,067	3,2	1,43
20	26,8	2,5	1,5	2,8	1,66	21,2	3,5	0,35	0,084	3,2	1,86
25	33,5	2,8	2,12	3,2	2,39	27,1	5,7	0,57	0,105	4	2,91
32	42,3	2,8	2,73	3,2	3,09	36,2	10	1	0,133	4	3,78
40	48	3	3,33	3,5	3,84	41	13,2	1,32	0,151	4	4,38
50	60	3	4,22	3,5	4,88	53	22	2,2	0,188	4,5	6,16
70	75,5	3,2	5,71	4	7,05	67,5	35,6	3,56	0,237	4,5	7,88

Таблица III.41. Трубы стальные бесшовные холоднотянутые и холоднокатанные (ГОСТ 8734—58)

d_n , мм	Масса 1 м трубы, кг, при толщине стенки, мм							
	2	2,2	2,5	2,8	3	3,2	3,5	4
50	2,37	2,59	2,93	3,25	3,48	3,7	4,01	4,54
53	2,51	2,76	3,11	3,46	3,7	3,94	4,27	4,83
56	2,66	2,92	3,3	3,66	3,92	4,17	4,53	5,13
60	2,86	3,13	3,55	3,94	4,22	4,49	4,88	5,52
63	3,01	3,3	3,72	4,15	4,44	4,73	5,13	5,81
65	3,11	3,4	3,85	4,29	4,59	4,89	5,31	6,02
70	3,35	3,68	4,16	4,63	4,96	5,28	5,74	6,51
75	3,6	3,95	4,46	4,97	5,32	5,68	6,17	7
80	3,84	4,22	4,77	5,32	5,69	6,07	6,6	7,49
85	4,09	4,48	5,08	5,66	6,06	6,46	7,04	7,98
90	4,34	4,76	5,39	6,01	6,43	6,86	7,47	8,47
95	4,59	5,02	5,7	6,36	6,81	7,26	7,9	8,98
100	4,83	5,3	6	6,7	7,17	7,65	8,32	9,46

Таблица III.42. Трубы стальные бесшовные горячекатаные (ГОСТ 8732—70)

d_n , мм	Масса 1 м трубы, кг, при толщине стенки, мм							
	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8
50	4,01	4,54	5,05	5,55	6,04	—	—	—
54	4,36	4,93	5,49	6,04	6,58	7,1	8,11	9,08
57	4,62	5,23	5,83	6,41	6,99	7,55	8,63	9,67
60	4,88	5,52	6,16	6,78	7,39	7,99	9,15	10,26
63,5	5,18	5,87	6,55	7,21	7,87	8,51	9,75	10,95
68	5,57	6,31	7,05	7,77	8,48	9,17	10,53	11,84
70	5,74	6,51	7,27	8,01	8,75	9,47	10,88	12,23
73	6	6,81	7,6	8,38	9,16	9,91	11,39	12,82
76	6,26	7,1	7,93	8,75	9,5	10,36	11,91	13,42
83	6,86	7,79	8,71	9,62	10,51	11,39	13,12	14,8
89	7,38	8,38	9,38	10,36	11,33	12,28	14,16	15,98
95	7,9	8,98	10,04	11,1	12,14	13,17	15,19	17,16
102	8,5	9,67	10,82	11,96	13,09	14,21	16,4	18,55
108	—	10,26	11,49	12,7	13,9	15,09	17,44	19,73
114	—	10,85	12,15	13,44	14,72	15,98	18,47	20,91
121	—	11,54	12,93	14,3	15,67	17,02	19,68	22,29
127	—	12,13	13,59	15,04	16,48	17,9	20,72	23,48
133	—	12,73	14,26	15,78	17,29	18,79	21,75	24,66
140	—	—	15,04	16,65	18,24	19,83	22,96	26,04
146	—	—	15,7	17,39	19,06	20,72	24	27,23
152	—	—	16,37	18,13	19,87	21,6	25,03	28,41
159	—	—	17,15	18,99	20,82	22,64	26,24	29,79
168	—	—	—	20,1	22,04	23,97	27,79	31,57
180	—	—	—	21,59	23,7	25,75	29,87	33,93
194	—	—	—	23,31	25,6	27,82	32,28	36,7
203	—	—	—	—	—	29,14	33,83	38,47
219	—	—	—	—	—	31,52	36,6	41,63

В зданиях высотой в 8 этажей и более на стояках устанавливают спускные краны и предусматривают специальную дренажную линию с воронками для удобства спуска воды из стояков (см. лист III.2, рис. 1).

Выключающие вентили или пробочные краны на стояках, питающих приборы лестничных клеток, устанавливают независимо от этажности здания.

В одно- и двутрубных системах водяного отопления с нижней разводкой вентили или бронзовые пробко-сальниковые краны и тройники с пробками устанавливают в подвале или подпольных каналах в нижней части подающих и обратных стояков. При наличии воздушной линии на отрезке от подающего стояка дополнительно устанавливают пробочный кран (см. лист III.13, рис. 2).

В системах водяного отопления с насосной циркуляцией и парового отопления предусматривают установку задвижек или вентилях, а также спускные краны на отдельных ветвях разводящих трубопроводов для возможности выключения частей системы на случай ремонта.

Арматуру вентильного типа устанавливают так, чтобы теплоноситель поступал под седло клапана. Если теплоноситель или подпиточная вода из сети водопровода может поступать в обоих направлениях (например, по обводной рамке ручного насоса, для питания или опорожнения котлов и т. д.), вместо вентилях монтируют пробочные проходные краны.

Подбор вспомогательного оборудования и арматуры

В системах центрального отопления применяют разнообразное вспомогательное оборудование и пароводяную арматуру, выбираемую в зависимости от параметров теплоносителя, конструкции и принципа действия системы.

Расширительные баки предназначены для вмещения избыточного объема воды при ее температурном расширении в системе водяного отопления. От правильной схемы присоединения бака к трубопроводам зависит нормальная работа отопления с подачей теплоносителя от индивидуальной или групповой котельной.

Расширительные баки устанавливают в наивысшей точке системы, обычно на чердаке здания в утепленной будке. К ним присоединяют контрольную диаметром 20 мм, переливную, соединительную и циркуляционную трубы.

В системах с естественной циркуляцией и верхней разводкой баки присоединяют к главному стояку по проточной схеме, а с насосной циркуляцией во всех случаях — в котельной к всасывающей линии перед насосами (лист III.18, рис. 3). При отсутствии котельной баки присоединяют к обратной линии узла управления системы отопления здания.

Присоединение расширительного бака непосредственно у циркуляционных насосов обеспечивает работу всей системы под избыточным давлением, что устраняет подсос воздуха через неплотности в подающей линии при верхней разводке. Высоту установки бака над подающей магистралью h принимают из условия не вскипания воды.

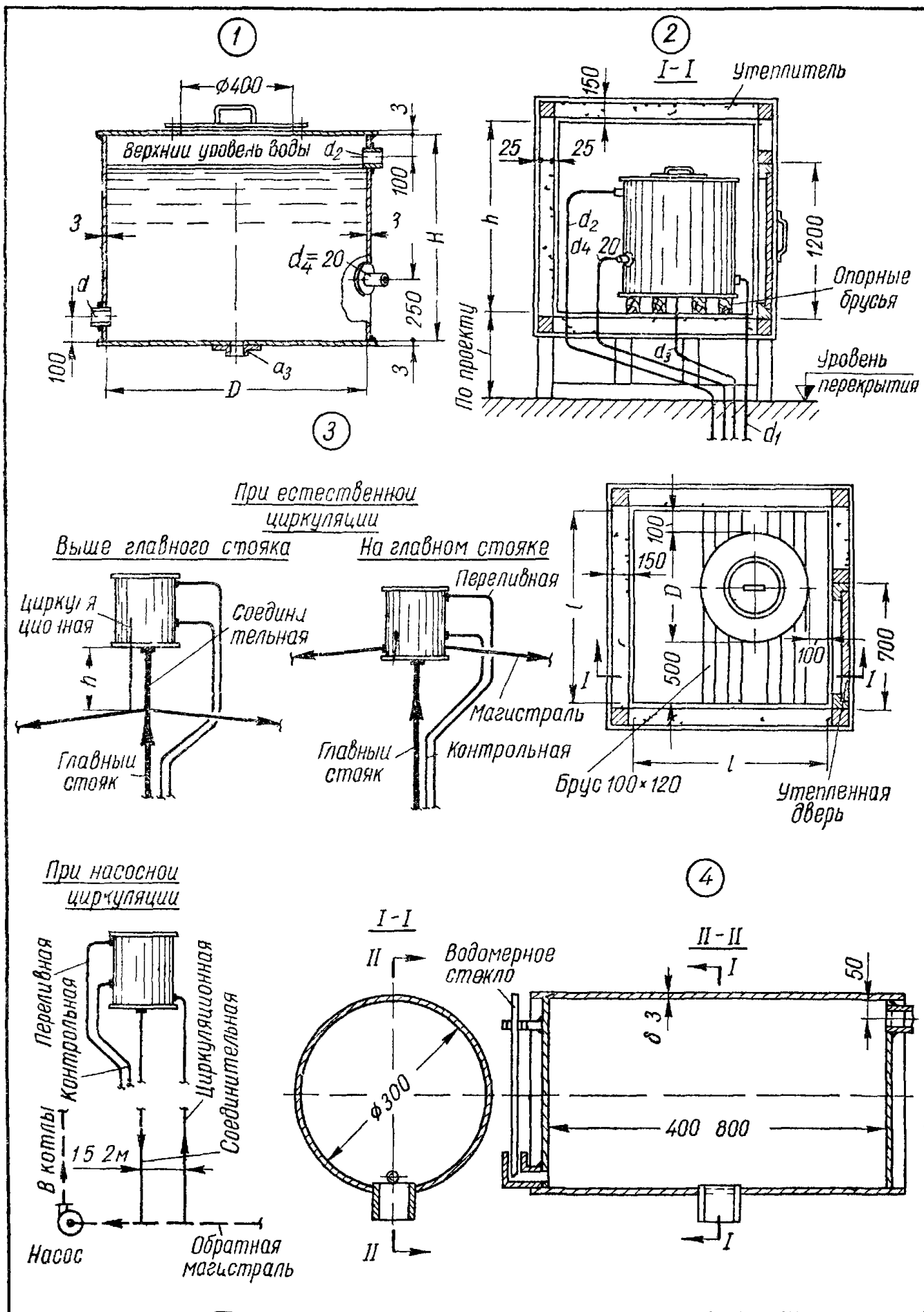
Для обеспечения циркуляции воды в расширительном баке его присоединяют к обратной линии на взаимном расстоянии между расширительной и циркуляционной трубами не менее 1,5—2 м. Расширительный бак желательно оборудовать световой сигнализацией для контроля уровня. Для этого в корпусе бака предусматривают два патрубка диаметром 15 мм на высоте от днища бака 200 и 400 мм, где устанавливают реле контроля уровня воды.

Расширительные баки изготовляют цилиндрическими, сварными из листовой стали толщиной 3 мм и с обеих сторон окрашивают масляной краской. Размеры расширительных баков принимают с учетом проходов не менее 500 мм между стенками будки и баком. В месте установки будки с расширительным баком в необходимых случаях чердачное перекрытие дополнительно усиливают (лист III.18, рис. 2).

Емкость расширительного бака в л определяют по формулам

$$\begin{aligned} V_{\text{рб}} &= 0,045 V_{\text{сист}} \quad \text{при } t_r = 95^\circ \text{ C;} \\ V_{\text{рб}} &= 0,05 V_{\text{сист}} \quad \text{при } t_r = 105^\circ \text{ C.} \end{aligned} \quad (\text{III.34})$$

Объем воды в элементах системы отопления (нагревательных приборах, трубопроводах и котлах) $V_{\text{сист}}$ на 1000 ккал/ч тепловой нагрузки принимают по табл. III.43. По найденной емкости подбирают размеры расширительных баков, а по ним — размеры в плане и высоту утепленных будок (табл. III.44).



Лист III.18. Расширительные баки:

1 — цилиндрический бак, 2 — установка баков в утепленной будке 3 — схемы присоединения к трубопроводу, 4 — расширительный бак с водомерным стеклом

Таблица III.43. Объем воды в элементах отопительной системы
 $V_{\text{сист}}, \text{ л на } 1000 \text{ ккал/ч}$

Элементы системы	Перепад температуры воды в системе, °C		Элементы системы	Перепад температуры воды в системе, °C	
	95—70	105—70		95—70	105—70
Чугунные радиаторы высотой 500 мм при подаче воды:			Конвекторы:		
сверху — вниз	10	9,3	«Комфорт»	0,8	0,74
снизу — вверх	12	11,2	15КП	0,83	0,82
Радиаторы стальные панельные	8,25	7,7	20КП	1,25	1,16
Греющие бетонные панели	2	1,85	Котлы чугунные секционные	3	3
Ребристые трубы чугунные круглые	6,5	6	Трубопроводы местных систем с насосной циркуляцией	8	6
Пластинчатые калориферы	0,5	0,47	То же, с естественной	16	—

Таблица III.44. Сварные цилиндрические расширительные баки из листовой стали толщиной 3 мм (по данным ГПИ Сантехпроект, лист III.18, рис. 1 и 2)

Марка бака	Емкость, л		Размеры бака, мм		Диаметр подводящих труб, мм			Масса, кг	Размеры буд-ки, см	
	до переливной трубы	полезная	D	H	d ₁	d ₂	d ₃		l	h
1E010	100	67	645			32		35,9	105	
2E010	150	101	570					45,9	115	
3E010	200	134	660	710	20		25	55,3	125	125
4E010	300	212	815			40		73,5	140	
5E010	400	283	940					88,5	155	
6E010	500	397	850					97	145	
7E010	600	476	930					107,2	155	
8E010	800	642	1080	1000				130	170	155
9E010	1000	799	1205					149,2	180	
10E010	1200	958	1320					169	190	
11E010	1500	1203	1480		25	50	32	198,2	210	
12E010	2000	1680	1540					235	215	
13E010	2500	2090	1720					290	230	
14E010	3000	2520	1890	1200				312	250	175
15E010	3500	2940	2040					346	265	
16E010	4000	3360	2180					366	280	

Примечания. 1. Патрубки для присоединения труб к расширительному баку указаны при насосной циркуляции. В проточной схеме патрубки монтируют по проекту.

2. Приняты следующие обозначения диаметров: d_1 — циркуляционной трубы; d_2 — переливной; d_3 — соединительной.

В системах водяного отопления с тепловой нагрузкой более 5 Гкал/ч вместо расширительного бака применяют подпиточные насосы.

Воздухосборники и воздухоотводчики, как правило, применяют проточные, сварные из труб и устанавливают в наивысших точках системы водяного отопления с насосной циркуляцией (табл. III.45, лист III.19, рис. 1).

Т а б л и ц а III.45. Проточные сварные воздухосборники (по данным ГПИ Сантехпроект, лист III.19, рис. 1)

Горизонтальные					Вертикальные							
Размеры, мм				Масса, кг	Размеры, мм							Масса, кг
d_y	D_H	H	d		d_y	D_H	H	a	b	c	d	
150	159	355	32	7,9	150	159	351	45	44	325	20	8,9
200	219	476	32	19,9	250	273	544	70	99	325	50	35,9
250	273	690	50	40	300	325	548	75	124	500	70	51,4
					400	426	560	105	171	500	80	101,8

Диаметр проточного воздухосборника должен быть больше на 1,5—2 диаметра магистрального трубопровода с тем, чтобы скорость движения воды в нем не превышала 0,05 м/с. Воздух отводят через воздушную трубу диаметром 15 мм с краном, установленным в отапливаемом помещении. При централизованном удалении воздуха полезный объем проточного воздухосборника $V_{пв}$ рекомендуется принимать равным 0,01 объема воды в системе $V_{сист}$.

Воздухосборники работают нормально под воздействием давления 200—300 кгс/м², что достигается установкой их ниже днища расширительного бака.

На листе III.19, рис. 2 показаны автоматические воздухоотводчики (вантузы), применяемые в системе водяного отопления с температурой воды до 95° С.

Грязевики (лист III.19, рис. 3) устанавливают для осаждения взвешенных частиц грязи, песка и других примесей в циркулирующей воде насосных систем отопления. Корпус грязевика изготавливают сварным из труб со съёмным днищем или крышкой и с трубчатым или сетчатым фильтром. Для выпуска воздуха и спуска грязи к крышке и дну грязевика приваривают патрубки для установки воздушного крана и пробки для отвода грязи.

Грязевики подбирают по диаметру подводящих магистралей при скорости воды в поперечном сечении корпуса не более 0,05 м/с (табл. III.46 и III.47).

Т а б л и ц а III.46. Грязевики Сантехмонтажпроекта серии 10Г и 16Г (лист III.19, рис. 3)

Номер грязевика	Размеры, мм									Масса, кг	
	d_y	D_H	H	L	d	s	h	h_1	l	10Г	16Г
1	32	159	250	350	32	3,25	155	—		20,76	27,72
2	40		270		40	3,5	170	—		21,28	28,29
3	50		310		57		200	—		22,08	29,42
4	70	273	400	450	76	4	255	—		54,14	67,83
5	100		500	500	108		360	100*	470*	67,01	76,73
6	125		600	600	133		420	130*		68,31	84,68
7	150	377	700	675	159	4,5	500	150	575	133,03	168,55
8	200		900	700	219	6	670	180		158,4	196,93

П р и м е ч а н и я. 1 Звездочкой отмечены размеры грязевиков серии 16Г

2. Грязевики серии 10Г могут работать при давлении $p_y = 10$ кгс/см², серии 16Г — при $p_y = 16$ кгс/см².

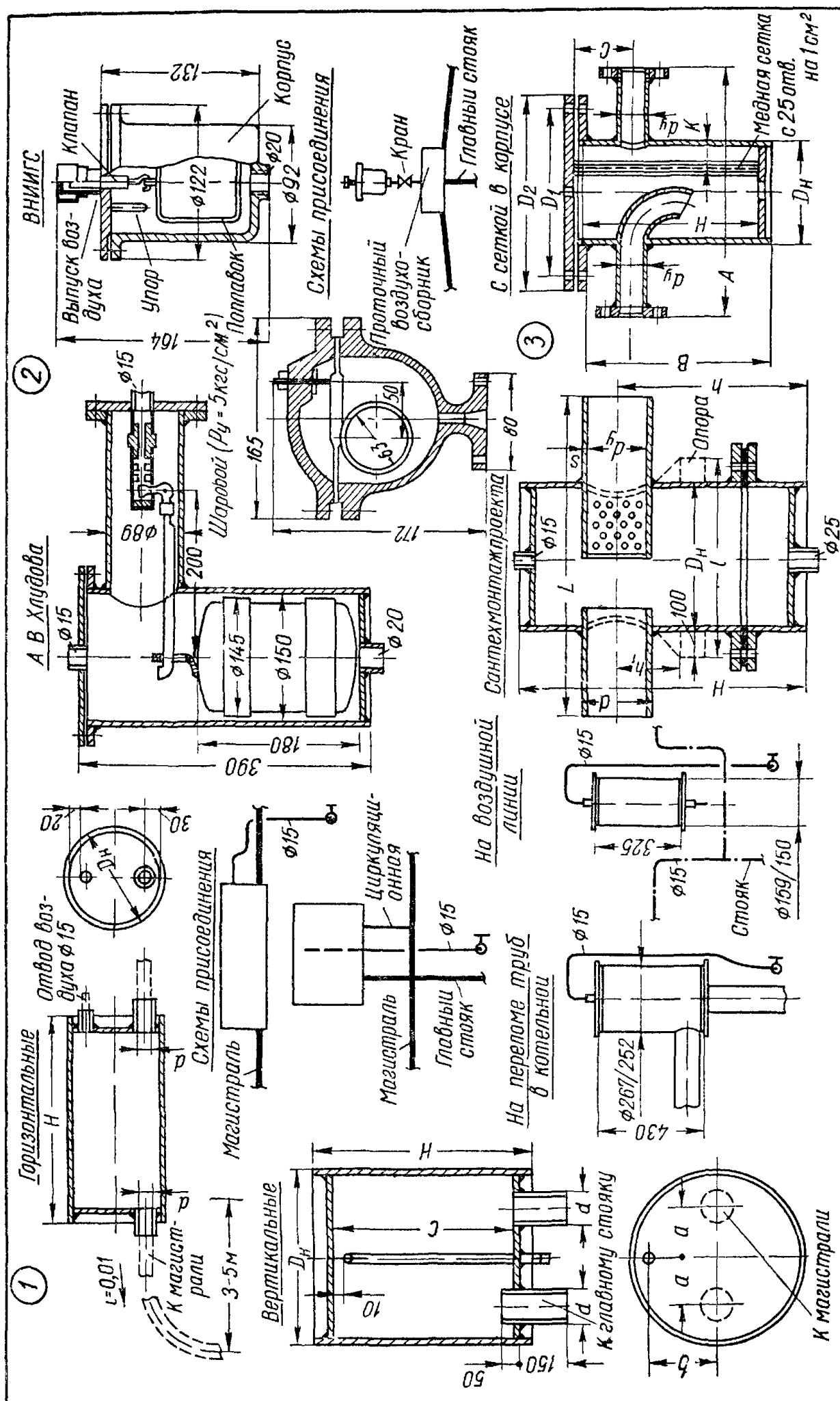


Рис. III.19. Воздухосборники, воздухоотводчики и грязевики: 1 — проточные воздухосборники; 2 — автоматические воздухоотводчики; 3 — грязевики

Таблица III.47. Сварные грязевики из труб с сеткой в корпусе
(лист III.19, рис 3)

Размеры, мм									Масса, кг
d_y	D_H	D_1	D_2	A	B	C	H	K	
25	159	240	285	360	309	69	297	30	33
40	219	295	346	450	409	89	385	45	59
50	273	355	410	520	461	101	436	50	79
80	325	410	460	586	513	123	487	76	111

Конденсатоотводчики и гидравлические затворы применяют для отвода конденсата из системы парового отопления, паровых теплообменников и калориферов. Эти приборы запирают систему отопления и теплообменники, пропуская только конденсат, и предупреждают утечку пара (пролетный пар) в конденсатопровод и атмосферу. Конденсатоотводчики повышают эффективность работы установок, обеспечивая хорошую конденсацию пара в системе и теплообменных аппаратах.

Гидравлические затворы обычно используют при давлении пара не более $0,5 \text{ кгс/см}^2$, при большем давлении устанавливают автоматически действующие конденсатоотводчики. Гидравлические затворы изготовляют из труб в виде петли или иглы (лист III.20, рис. 1), забиваемой в грунт.

Высота рабочей части гидравлического затвора h_1 должна быть равна избыточному давлению пара в точке a p_a , выраженному в м, с запасом 0,25 м:

$$h_1 = p_a + 0,25. \quad (\text{III.35})$$

Необходимую высоту гидравлического затвора h_1 в м можно найти из выражения

$$h_1 = 10 (p_1 - p_2), \quad (\text{III.36})$$

где p_1 — давление пара в точке присоединения гидравлического затвора, кгс/см^2 ;

p_2 — давление в конденсатопроводе, кгс/см^2 .

Если конденсат сливается в открытый бак, $p_2 = 0$ — атмосферному давлению.

Диаметр труб гидравлического затвора назначают по максимальному расходу конденсата при его скорости 0,2—0,3 м/с.

Наиболее распространены автоматические поплавковые конденсатоотводчики (лист III.20, рис. 2, табл. III.48 и III.49), которые нормально работают при следующих минимальных перепадах давления пара до и после прибора:

конденсатоотводчики термостатического действия типа 45кч6бр и с шаровым клапаном — $0,1 \text{ кгс/см}^2$ и более;

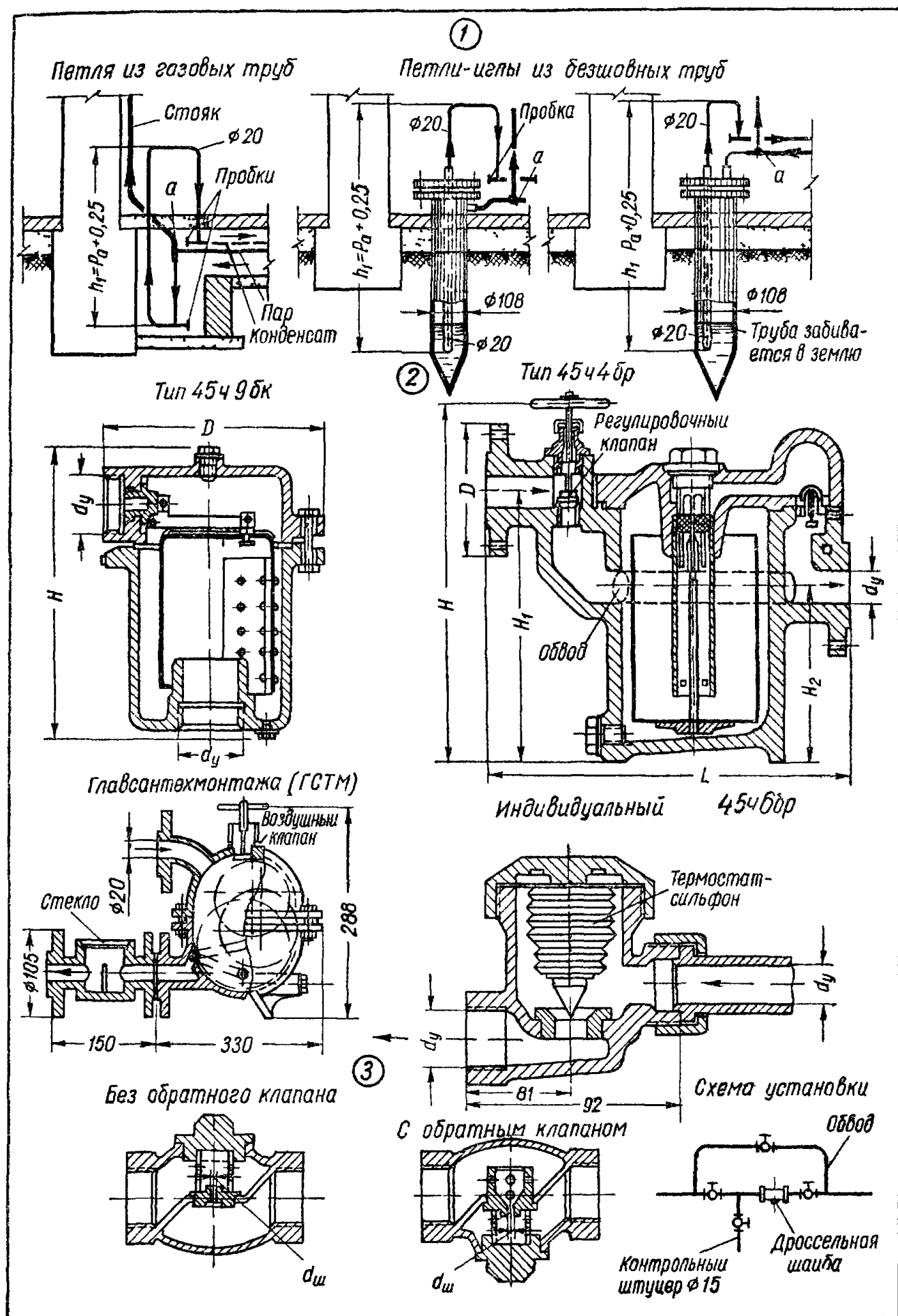
конденсатоотводчики с открытым поплавком типа 45ч46р — $0,3 \text{ кгс/см}^2$ и более;

конденсатоотводчики с опрокинутым поплавком типа 45ч96к — $0,5 \text{ кгс/см}^2$ и более.

Таблица III.48. Конденсатоотводчики с опрокинутым поплавком типа 45ч96к
(лист III.20, рис. 2)

Размеры, мм			Масса, кг	Производительность G , кг/ч, номер и диаметр седла d , мм, при давлении p , до конденсатоотводчика, кгс/см ²											
d_y	D	H		0,5—2			2,1—4			4,1—8			8,1—13		
				Q	№	d	Q	№	d	Q	№	d	Q	№	d
20 и 25	182	240	10,8	1500	1	9	1000	2	6	650	3	4	500	4	3
32* и 40	205	278	14	4500	5	15	2500	6	10	2000	7		1300	8	5,2
50*	228	296	19	8000	9	20	5000	10	14	4000	11	10	3000	12	8

Примечание. Звездочкой обозначены размеры конденсатоотводчиков, изготавливаемых по особому заказу.



Лист III.20. Конденсатоотводчики:

1 — гидравлические петли, 2 — конденсатоотводчики автоматы, 3 — дроссельные шайбы

Т а б л и ц а III.49. Конденсатоотводчики типа 45ч46р
(лист III. 20, рис. 2)

Номер конденсатоотвод- чика	Размеры, мм						Масса, кг
	d_y	L	H	H_1	H_2	D	
00	15	253	285	185	111	95	16
0	20	300	338	205	125	105	23
1	25	355	390	250	155	115	38,5
3	40	485	560	375	250	150	81
4	50	560	635	455	298	165	112

Конденсатоотводчики с опрокинутым поплавком и термостатического действия подбирают по данным табл. III.48 и III.50, а конденсатоотводчики с открытым поплавком — по данным табл. III.49 и номограмме на листе III.21, рис. 1. Подбирают их с учетом производительности в разности давлений пара до и после конденсатоотводчика.

Давление перед прибором при отводе конденсата от теплообменника $p_1 = 0,95p$ кгс/см²; при дренаже паропроводов $p_1 = p$ кгс/см². Если прибор установлен в конце конденсатной линии, то $p_1 = 0,7p$ кгс/см². Давление после прибора при наличии противодействия $p_2 \leq 0,4p$ кгс/см², а при свободном сливе конденсата $p_2 = 0$. Здесь p — давление пара перед теплообменником, после которого устанавливается конденсатоотводчик.

**Т а б л и ц а III.50. Производительность конденсатоотводчиков G с термостатом
сифонного типа 45ч66р**

p_1 , кгс/см ²	G, кг/ч, при d_y , мм		p_1 , кгс/см ²	G, кг/ч, при d_y , мм		p_1 , кгс/см ²	G, кг/ч, при d_y , мм	
	15	20		15	20		15	20
0,1	165	250	0,7	430	660	3	680	900
0,3	280	440	0,9	500	750	5	900	1150
0,5	350	560	1	560	850	6	1000	1300

Для систем отопления и вентиляции при давлении пара перед теплообменником до 2 кгс/см² принимают удвоенный, а при давлении более 2 кгс/см² — учетверенный максимальный расход конденсата в кг/ч. Для систем горячего водоснабжения и технологических паропроводов принимают учетверенный средний расход.

Чугунные конденсатоотводчики нового типа ГСТМ с диаметром условного прохода $d_y = 20$ мм, рассчитанные на давление пара до 6 кгс/см², имеют смотровое стекло для проверки в процессе работы, пропускает ли конденсатоотводчик только конденсат или также и пар. Производительность конденсатоотводчиков типа ГСТМ при диаметре условного прохода 20 мм принимают в зависимости от давления пара перед прибором:

p_1 , кгс/см ²	0,5	1	2	3	4	5	6
Q , л/ч	70	100	135	160	180	200	225

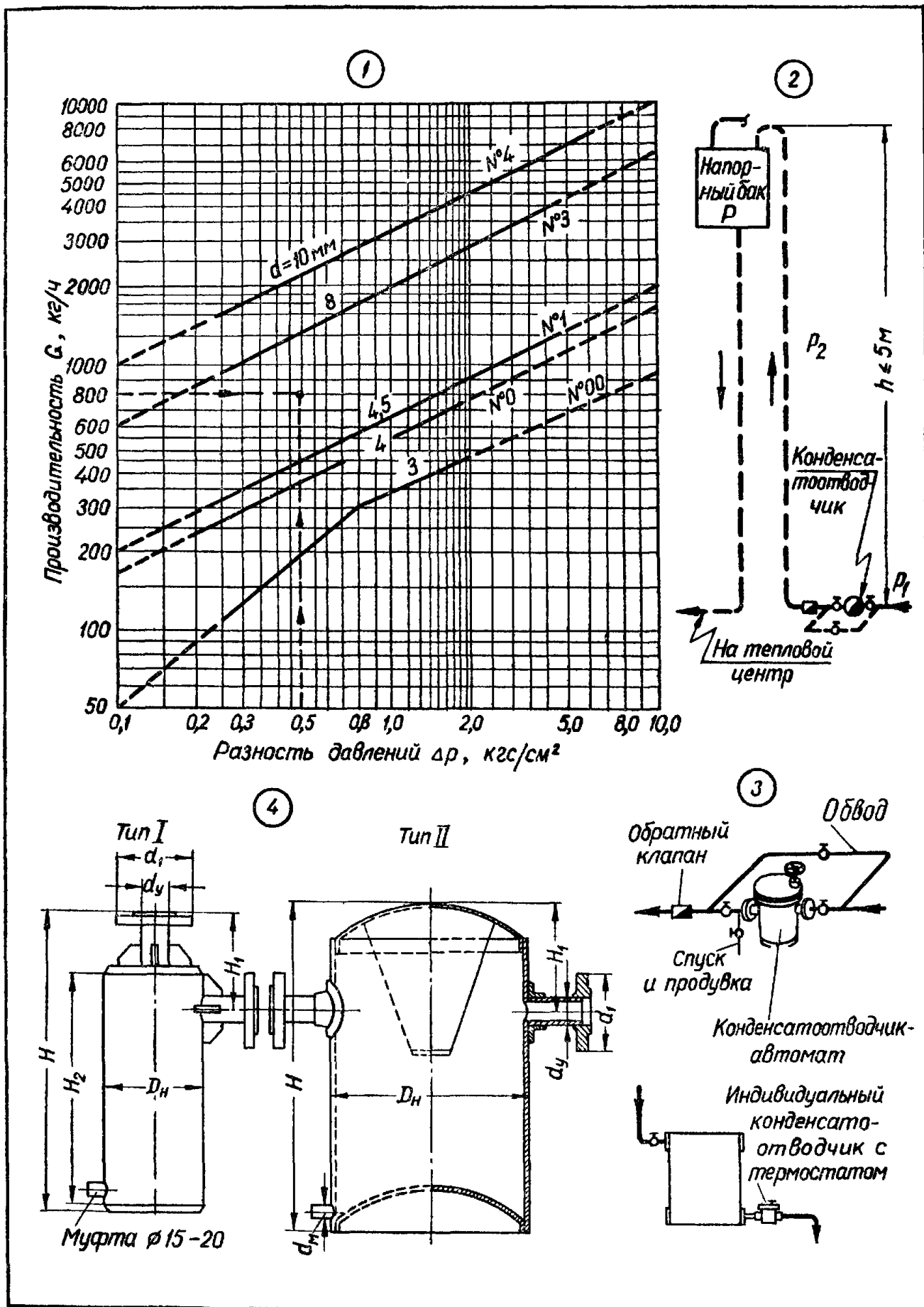
Наибольшую высоту подъема конденсата h в м под воздействием давления пара перед конденсатоотводчиком p_1 определяют по формуле

$$h = 0,4 \cdot 10p_1 - 0,001 (Rl + Z), \quad (\text{III.37})$$

где 0,4 — коэффициент, учитывающий потери давления в самом приборе, равные $0,6p_1$;

0,001 — множитель перевода потерь давления в метры;

$Rl + Z$ — сумма потерь давления на трение и в местных сопротивлениях трубопроводов после конденсатоотводчика до точки подъема конденсата, кгс/м².



Лист III.21. Конденсатоотводчики и водоотделители:

1 — номограмма для подбора конденсатоотводчика 45ч46р; 2 — установка конденсатоотводчика с напорным баком, 3 — обвязка трубопроводов; 4 — водоотделители.

Способ выдавливания на некоторую высоту конденсата конденсатоотводчиками часто используется в системах пароснабжения высокого давления, когда отвод конденсата осуществляется через напорные бачки (см. лист III.21, рис. 2). Из соображений надежности высоту подъема конденсата принимают не более 5 м. В системах пароснабжения низкого давления напорные конденсатопроводы не применяют, а конденсат от теплообменников и парового отопления отводится самотеком.

При наличии противодавления в сборной конденсационной магистрали p_2 на напорной трубе конденсатоотводчика устанавливают обратный клапан.

Все конденсатоотводчики должны иметь обводную линию и вентили для выключения прибора на случай ремонта (лист III.21, рис. 3).

При выборе автоматических конденсатоотводчиков следует иметь в виду, что приборы типа 45ч96к с опрокинутым поплавком могут автоматически удалять воздух и не допускать скопления грязи в корпусе.

Конденсатоотводчик индивидуальный с термостатом сильфонного типа на давление пара до 6 кгс/см^2 устанавливают непосредственно у приборов отопления на конденсатопроводе (лист III.20, рис. 2, табл. I II.50).

Пример III.9. Подобрать конденсатоотводчик типа 45ч46р для пропуска конденсата $G_{\text{макс}} = 400 \text{ кг/ч}$. Разность давлений пара $\Delta p = 0,5 \text{ кгс/см}^2$. Пользуясь номограммой (лист III.21, рис. 1) и табл. III.49, принимаем конденсатоотводчик удвоенной производительности № 3. Ход решения указан на номограмме штриховой линией.

Водоотделители применяются для отвода попутного конденсата и осушки паропроводов (табл. III.51). В низших точках паровых магистралей устанавливают водоотделители диаметром обычно на 1—2 размера по сортаменту большим диаметра подводящего паропровода. Конденсат удаляют через автоматические конденсатоотводчики или гидравлические затворы-петли.

Таблица III.51. Сварные водоотделители (лист III.21, рис. 4)

d_y , мм	Тип I						Тип II					
	Размеры, мм					Масса, кг	Размеры, мм					Масса, кг
	d_1	D_H	H	H_1	H_2		d_1	D_H	H	H_1	d_M	
40	150	108	725	225	625	10						
50	165		750		650	14						
80	200	159	850	250	750	21	200	259	600	180	15	43
100	220		950		850	40	220	309	700	200		67
		219										
125	250		1125	325	975	48	250	408	850	220		128
					975	65	285	500	1000	250	20	120
150	285	273										
200	340	325	1250	350	1100	108	340	600	1100	300		182

Дроссельные шайбы (лист III.20, рис. 3) изготавливают из нержавеющей стали и устанавливают для погашения избыточного давления, а также как подпорные органы для отвода конденсата из теплообменников.

В качестве конденсатоотводчиков можно применять шайбы при давлении пара до 6 кгс/см^2 и незначительном (до 35%) колебании в расходе пара. Шайбы не применяются для дренажа конденсата из паропроводов и отвода конденсата из теплообменников с изменяющейся поверхностью нагрева (например, от калориферных установок с обводным воздушным клапаном).

Диаметр отверстия подпорных шайб $d_{ш}$ в мм определяют по следующим формулам:

для чистого конденсата при $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$

$$d_{ш} = 0,21 \sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta p}}; \quad (\text{III.38})$$

для пароводяной эмульсии

$$d_{ш} = 1,13 \sqrt{\frac{G^2}{\Delta p \gamma_{эм}}}, \quad (\text{III.39})$$

где G — расход конденсата или пароводяной эмульсии (перегретого конденсата с температурой выше 100°C), кг/ч ;

Δp — перепад давлений до и после шайбы ($p_1 - p_2$), кгс/см^2 .

Давление после шайбы p_2 обычно принимают равным $0,56p_1$.

Плотность пароводяной эмульсии $\gamma_{эм}$ в зависимости от начального и конечного давления пара p_1 и p_2 можно найти по табл. III 52.

Т а б л и ц а III.52. Плотность пароводяной эмульсии $\gamma_{эм}$

$p_1, \text{кгс/см}^2$	$\gamma_{эм}, \text{кг/м}^3, \text{при } p_2, \text{кгс/см}^2$								
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	2,5	3
1,1	95	—	—	—	—	—	—	—	—
1,2	59	147	—	—	—	—	—	—	—
1,3	37	66	109	—	—	—	—	—	—
1,4	31	46	71	156	—	—	—	—	—
1,5	26	33	50	95	167	—	—	—	—
2	15	19	22	33	36	47	—	—	—
2,5	11	14	15	20	23	27	72	—	—
3	9	11	13	15	17	20	39	110	—
3,5	8	9	11	13	14	16	29	61	139
4	7	8	9	11	12	14	22	42	79
4,5	6	7	9	10	11	12	19	35	57
5	6	7	8	9	10	11	17	29	44

Дроссельные шайбы в паровых системах высокого давления удобно рассчитывать по номограммам А. Я. Мозгова (лист III.22, рис. 1).

Наименьший диаметр отверстия шайбы во избежание засоров рекомендуется принимать не менее 3 мм. Если по расчету требуется меньший диаметр, устанавливают последовательно две шайбы. Конструкции шайб и способы их установки приведены на листе III.20, рис. 3 и III.22, рис. 3.

В паровых системах низкого давления для уравнения гидравлических потерь в паропроводах применяют дроссельные шайбы с диаметром отверстия не менее 4 мм. Дроссельные шайбы устанавливают по одной на стояках или на ответвлениях к приборам, если разница в потере давления между приборами данного стояка превышает 50 кгс/м^2 .

Шайбы подбирают по графику И. Н. Куранова на листе III.22, рис. 2, где приведен пример расчета.

Пример III.10. Найти диаметр шайбы для $G = 600 \text{ кг/ч}$, $p_1 = 2 \text{ кгс/см}^2$, $p_2 = 1 \text{ кгс/см}^2$. По номограммам (лист III.22, рис. 1) находим: для чистого конденсата $d_{ш} = 5 \text{ мм}$; для пароводяной эмульсии $d_{ш} = 11 \text{ мм}$.

Ход решения показан штриховой линией (лист III.22, рис. 1 и 2).

Р е д у к ц и о н н ы е к л а п а н ы применяются для понижения давления насыщенного или перегретого пара до 14 кгс/см^2 и температуры до 320°C и поддержания заданного давления (табл. III.53).

Отношение давлений до и после клапанов p_1/p_2 должно быть не более 5. При большем соотношении давлений устанавливают последовательно два клапана.

Редукционные клапаны подбирают по номограмме на листе III.23, рис. 1.

Пример III.11. Подобрать редукционный клапан для насыщенного пара с расходом $G_p = 500 \text{ кг/ч}$ и давлениями $p_1 = 4,5 \text{ кгс/см}^2$ и $p_2 = 2,5 \text{ кгс/см}^2$.

Из точки А (лист III.23, рис. 1), соответствующей начальному давлению пара до редуктора $p_1 = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, поднимаясь вверх по кривой, находим на ее пересечении с перпендикуляром ВВ (ордината давления 2,5 кгс/см^2) точку В, показывающую на начальной ординате номограммы расход пара на 1 см^2 площади сечения клапана $G = 168 \text{ кг/ч} \cdot \text{см}^2$.

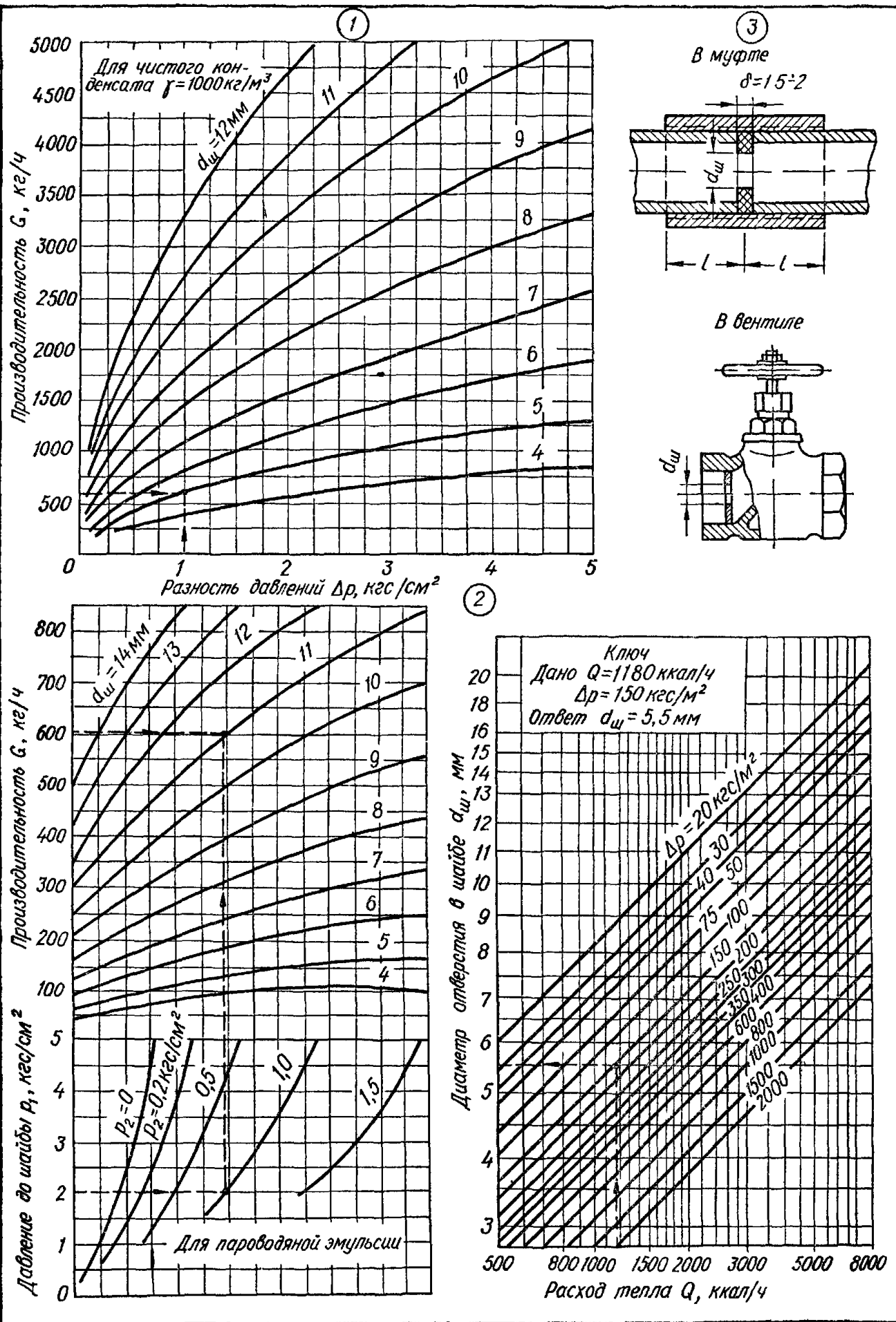
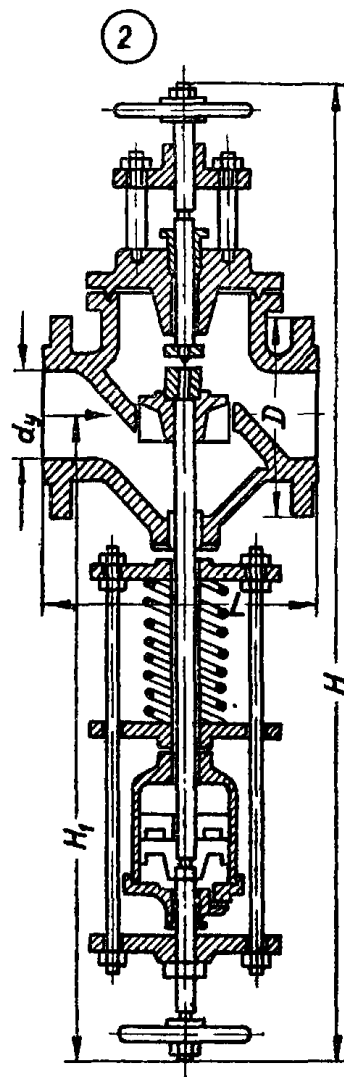
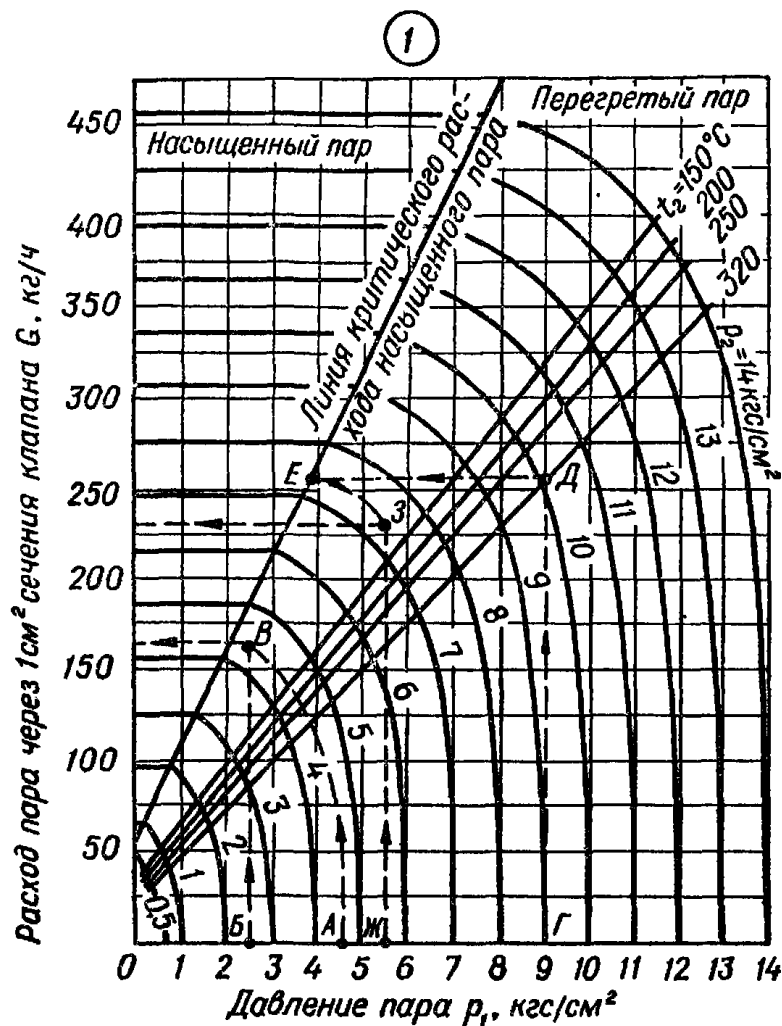
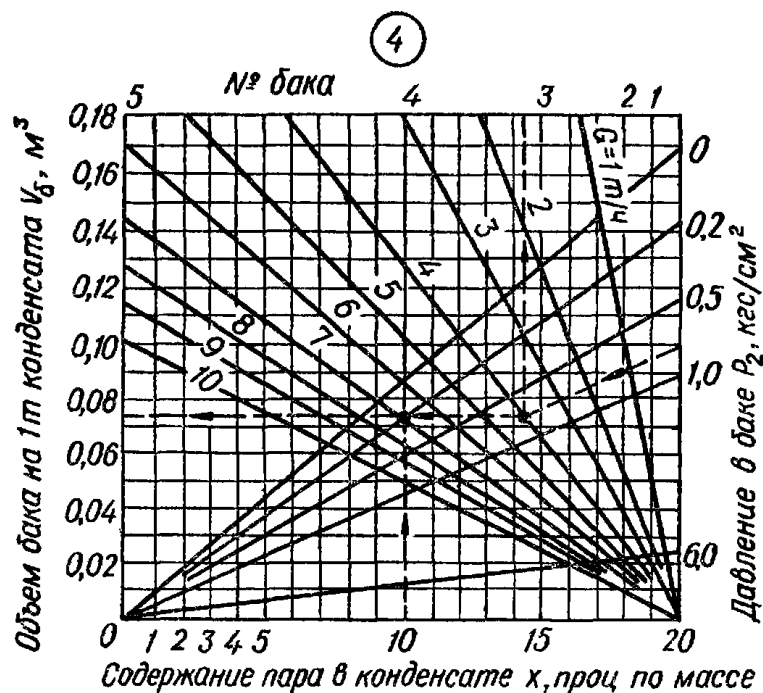
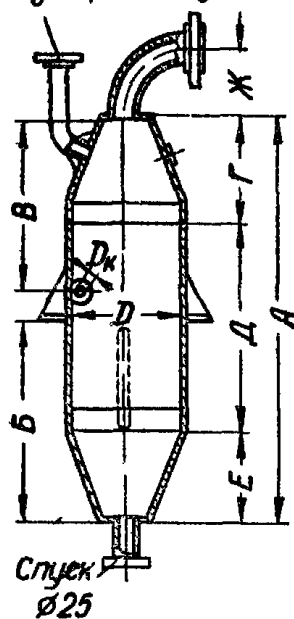


Рис. III.22. Подбор дроссельных шайб:

1 — номограммы для пара высокого давления; 2 — то же, низкого давления; 3 — установка шайб пара низкого давления.



3 К предохранительному устройству



Лист III.23. Редукционные клапаны и сепараторы:

1 — номограмма для подбора редукционных клапанов; 2 — размеры редукционного клапана;
3 — размеры сепаратора пара вторичного вскипания; 4 — номограмма для подбора сепараторов.

Таблица III. 53. Клапаны редукционные пружинные 18ч2бр (лист III. 23, рис. 2)

Размеры, мм					Площадь сечения прохода клапана, см ²	Масса, кг	Размеры, мм					Площадь сечения прохода клапана, см ²	Масса, кг
d_y	L	D	H	H_1			d_y	L	D	H	H_1		
25	135	115	410	280	2	9	100	300	220	1070	680	23,5	83,6
50	200	165	620	445	5,3	30	120	350	250	1200	780	36,8	168
80	260	200	990	625	13,2	57,4	150	400	285	1336	872	52,2	221

Сечение прохода клапана

$$f = \frac{G_p}{G} = \frac{500}{168} = 2,97 \text{ см}^2.$$

К установке принимаем клапан с $d_y = 50$ мм, $f = 5,3$ см² (табл. III 53).

Пример III.12. Для паропроизводительности $G_p = 500$ кг/ч подобрать редукционный клапан, если пар перегрет до температуры 320° С при $p_1 = 9$, $p_2 = 5,5$ кгс/см².

Из точки Г (лист III.23, рис. 1), поднимаясь вертикально вверх до пересечения с наклонной линией температуры перегретого пара, находим точку Д; идя от нее по горизонтали до наклонной линии критического расхода насыщенного пара, получаем точку Е. На пересечении кривой из точки Е с перпендикуляром ЖЗ (ордината давления 5,5 кгс/см²) находим точку З и, двигаясь по горизонтали до начальной ординаты номограммы, получаем расход пара $G = 230$ кг/ч · см².

Необходимое сечение клапана

$$f = 500 : 230 = 2,17 \text{ см}^2.$$

Принимаем клапан с $d_y = 50$ мм, $f = 5,3$ см² (табл. III.53).

Баки-сепараторы для получения пара вторичного вскипания изготавливают сварными из труб или листовой стали (табл. III.54).

Объем баков-сепараторов V_6 принимают из расчета 1 м³ объема на 200 м³/ч сепарируемого пара при скорости пара в баке не более 2, а конденсата — 0,25 м/с. Для подбора баков на листе III.23, рис. 4 приведена номограмма.

При давлении пара менее 0,5 кгс/см² бак-сепаратор оборудуют гидравлическим затвором особой конструкции (см. лист III.5, рис. 2), который служит для защиты от подсоса воздуха в бак при вакууме и для перелива конденсата в дренаж в случае переполнения бака.

Заданное давление пара в баке-сепараторе уравнивается столбом воды высотой H_1 :

p , кгс/см ²	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
H_1 , м	1,2	2,25	3,3	4,4	5,5

Высоту H_2 принимают по местным условиям, но не более 9—10 м и не менее высоты H_1 .

Таблица III. 54. Размеры баков-

Номер бака	Объем V_6 , м ³	Разме			
		А	Б	В	Г
1	0,05	820	410	340	200
2	0,125	1200	600	480	290
3	0,25	1500	750	600	340
4	0,5	2000	1000	800	410
5	1	2400	1200	940	580

Примечание. При изготовлении баков из листовой стали толщину стенки следует прини

Диаметр труб d в мм и другие размеры гидрозатвора определяют по формулам *:

$$d = 0,04 \sqrt{G}; \quad h = \frac{d^2}{D^2 + d^2} H_1; \quad (III.40)$$

$$D = \sqrt[3]{3H_1 d^2}; \quad D_1 = 1,15D, \quad (III.41)$$

где G — часовой расход конденсата, $m^3/ч$.

Пример III.13. Подобрать бак-сепаратор для пара вторичного вскипания, если расход конденсата $G = 4 m^3/ч$, давление пара вторичного вскипания $p_2 = 0,8 \text{ кгс/см}^2$, процентное содержание пара по массе в конденсате $x = 10\%$.

По номограмме (лист III.23, рис. 4) находим необходимый объем бака на 1 m^3 конденсата $V_{б.р} = 0,074 m^3$, или $V_{б.р} = 0,074 \cdot 4 = 0,296 m^3$. К установке принят бак № 4 с объемом $V_6 = 0,5 m^3$. Ход решения показан на номограмме штриховой линией.

Прокладка трубопроводов в зданиях

Для водяной системы отопления с естественной циркуляцией рекомендуется принимать верхнюю разводку с прокладкой разводящих трубопроводов по чердаку по тупиковой схеме: при ширине здания до 10 м — в одну нитку, более 10 м — в две нитки с отнесом магистралей от наружных стен не менее чем на 1 м для удобства монтажа и ремонта труб (лист III.24, рис. 1). Прокладка труб в одну нитку загромождает чердак и ее можно рекомендовать лишь при обеспечении пожарных проходов. Прокладка магистральных трубопроводов в две нитки позволяет обеспечивать независимую пофасадную регулировку системы отопления.

В системах с насосной циркуляцией применяют тупиковую схему или, как исключение, схему с попутным движением воды. Последнюю схему применяют при невозможности увязки потерь давления в отдельных кольцах и ветвях системы с тупиковой разводкой при постоянном температурном перепаде воды в стояках, а также в зданиях большой протяженности с минимальным перерасходом труб на общие магистрали по сравнению с тупиковой разводкой (см. лист III.2, рис. 2).

Прокладки разводящих трубопроводов по тупиковой и попутной схемам применяют с верхней или нижней разводкой. В некоторых случаях (например, в блоках или секциях жилых зданий) применяют нижнюю посекционную разводку (лист III.24, рис. 2).

В зданиях повышенной этажности магистрали прокладывают в технических этажах.

Разводящие паропроводы обычно прокладывают под потолком отапливаемых помещений по тупиковой схеме. В системах парового отопления с нижней или средней разводкой трубопроводов распределительные стояки, по которым происходит встречное движение пара и конденсата, должны иметь высоту не более двух этажей.

Все разводящие трубопроводы — подающие и обратные водоводы, паропроводы и конденсатопроводы для местных нагревательных приборов, воздухонагревателей вентиляции и воздушного отопления, а также водонагревателей установок горячего водоснабжения, как правило, устраивают отдельными.

Разводящие магистрали водяного и парового отопления имеют уклон не менее 0,003. В системе водяного отопления с естественной циркуляцией уклон труб поддерживается не менее 0,01.

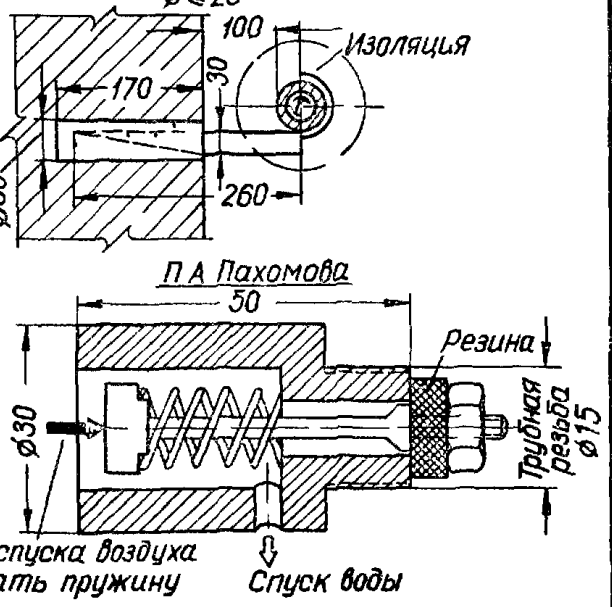
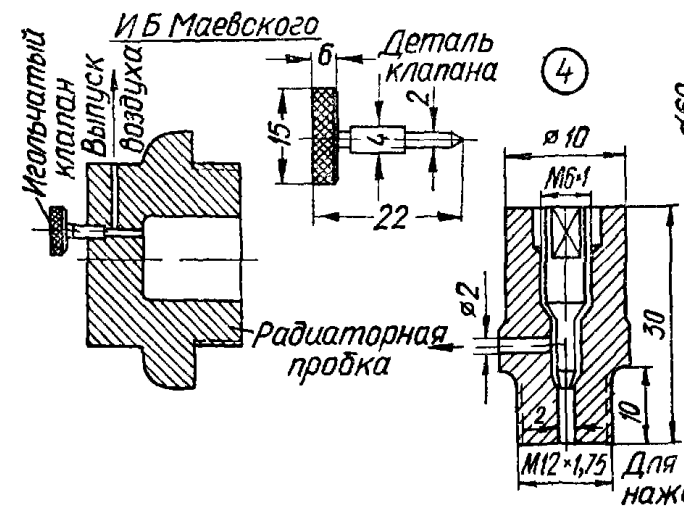
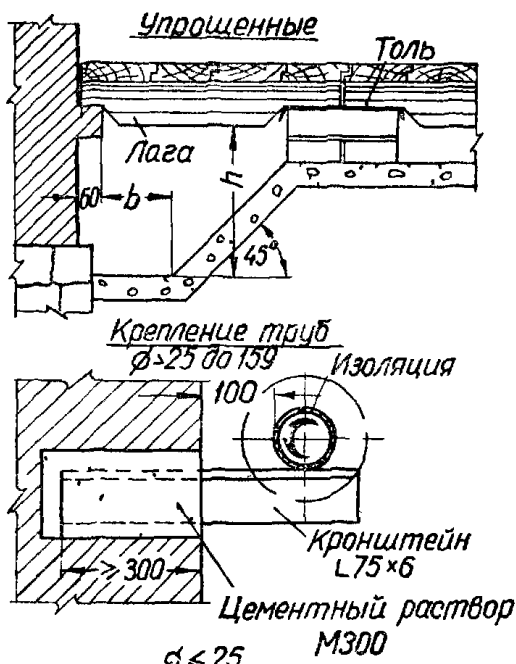
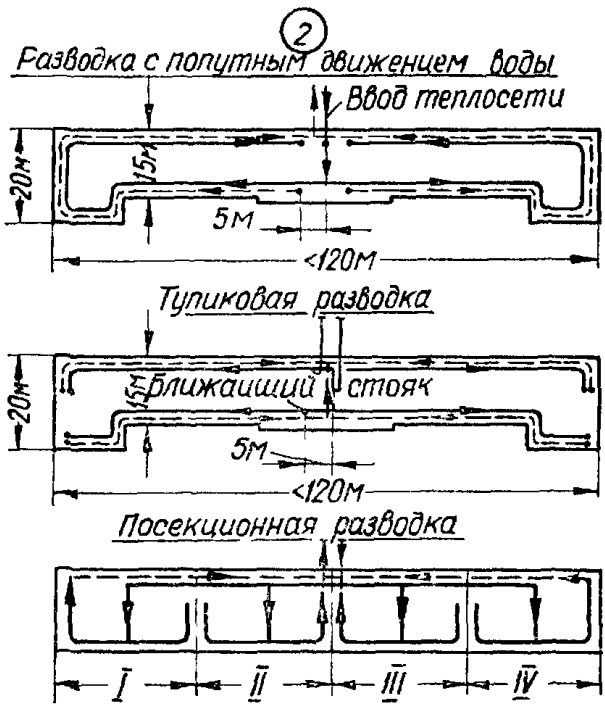
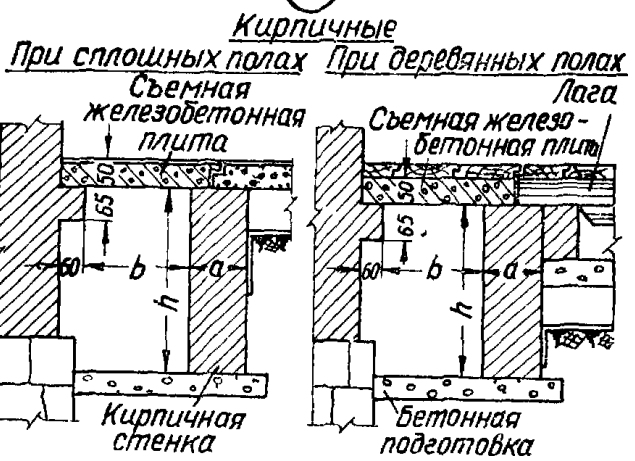
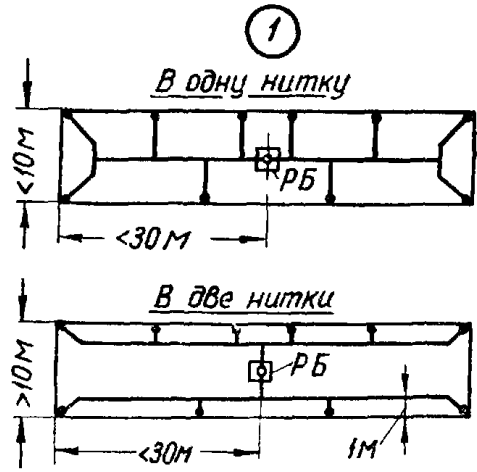
* А. М. Д а л и н. Сбор и возврат конденсата. М., Госэнергоиздат, 1949.

сепараторов (лист III.23, рис. 3)

ры, мм						
Д	Е	Ж	Д	Д _п	Д _к	
450	170	120	325×8	48×2,5	76×3	
690	220	150	426×9	57×2,5	108×4	
860	300	190	529×9	89×3	133×4	
1210	380	220	631×9	108×4	159×4,5	
1290	530	270	820×9	159×4,5	219×6	

мат $\delta = 5 \text{ мм}$ Водяной объем бака составляет 0,2 V_6

3



Лист III.24. Прокладка разводящих магистралей водяного отопления:

1 — с естественной циркуляцией, 2 — с насосной циркуляцией, 3 — подпольные каналы; 4 — ручные воздухоотводчики

Для удаления воздуха из системы отопления все трубопроводы прокладывают с уклоном по движению теплоносителя, за исключением подающих магистралей водяного отопления с насосной циркуляцией, монтируемых с подъемом к проточным воздухоотборникам. В системах с естественной циркуляцией воздух отводят через расширительный бак.

При нижней разводке в системе водяного отопления воздух удаляют через воздушные трубки диаметром 15 мм, которые являются продолжением подающих стояков. Воздушные трубки от стояков собирают в воздушную линию диаметром 15 мм, прокладываемую без уклона в карнизе или горизонтальной борозде под потолком верхнего этажа. Во избежание циркуляции воды через воздушные трубки стояков у общей воздушной линии устраивают петли (см. лист III.2). Воздух выпускают через расширительный бак или воздухоотборник на воздушной линии.

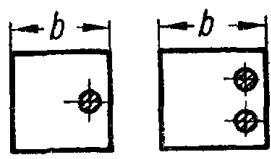
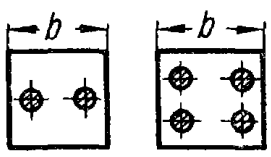
Прокладка воздушной линии удорожает систему отопления и приводит к перерасходу труб, поэтому имеет ограниченное применение.

В жилых и общественных зданиях для одно- и двухтрубных систем водяного отопления с нижней разводкой магистралей в верхних пробках радиаторов или на отрезках стояков устанавливают воздушные краны (лист III.24, рис. 4). Устанавливать такие краны у нагревательных приборов водяного отопления в школах, детских и лечебных учреждениях не рекомендуется.

В паровой системе отопления низкого давления воздух отводят в низших точках конденсационной линии: в замкнутых системах — в котельной на переломе общего конденсатопровода у паровых котлов, а в разомкнутых — через конденсатоотводчики при выходе конденсата в сборный бак котельной (см. лист III.4). Для периодической продувки системы в процессе эксплуатации в тупиках на конденсационной линии у концевых нагревательных приборов рекомендуется дополнительно устанавливать воздушные краны.

Обратные разводящие магистрали водяного отопления и конденсатопроводы парового отопления можно прокладывать над полом по периметру наружных стен или в подпольных каналах. При прокладке трубопроводов в непроходных подпольных каналах необходимо обеспечить доступ к трубам на случай их ремонта, для чего перекрытие каналов делают съемным (лист III.24, рис. 3). Габариты каналов должны позволять прокладку изолированных труб с нужным уклоном и установкой арматуры на стояках (табл. III.55 и III.56).

Т а б л и ц а III.55. Ширина каналов b для изолированных трубопроводов

Схема расположения труб в канале	b , см, при Σd_n , мм (не более)		
	40	50	100
	40	45	55
	—	55	65

При строительстве зданий на макропористых просадочных грунтах днище, а иногда и стенки подпольных каналов выполняют в водонепроницаемых бетонных лотках, прокладываемых с уклоном для отвода воды. Такие лотки не допускают замачивания грунта у фундаментов сооружения в случае появления течи из системы отопления.

В низших точках обратных разводящих магистралей водяных систем отопления в местах обводов лестничных клеток и отдельных циркуляционных колец предусматривается установка спускных кранов или тройников с пробками для опорожнения отдельных участков системы от воды и удаления грязи при промывке (см. лист III.2).

Таблица III.56. Высота подпольных каналов h для изолированных трубопроводов, прокладываемых с уклоном 0,003

Схема расположения труб в канале	$\Sigma d_{\text{н}}, \text{ мм}$ (не более)	$h, \text{ см}$, при длине канала, м									
		10	20	30	40	50	60	80	100		
	40	46	54	54	54	62	62	69	77		
	50	54		62	62		69				
	75										
	100				69	69	77				
	50	62	69	69	77	77	77	85	92		
	75	69		77		85	85				
	100						92	92	100		
	150	77	77	85	85	92		100	103		
	200		85			100	100				

Примечания. 1 В табл III 55 и III 56 Σd_n — сумма наружных диаметров труб (без изоляции), габариты каналов для заданных условий указаны минимальные. При диаметре стояков 40 мм высота канала увеличивается на 8 см. При высоте канала $h < 50$ см толщина кирпичной стенки $a = 12$ см, при $h > 50$ см $a = 25$ см (см лист III 24, рис 3).

2. При прокладке неизолированных труб размеры каналов уменьшаются: по горизонтали — на половину толщины изоляции, по вертикали — на толщину изоляции.

Для удобства монтажа, наблюдения и ремонта системы при эксплуатации рекомендуется открытая прокладка трубопроводов отопления у стен помещений, за исключением зданий с повышенной архитектурной отделкой или высокими санитарно-гигиеническими требованиями, где трубы прокладываются скрыто в бороздах (табл. III.57). При скрытой прокладке стояки и подводы к приборам при температурных деформациях должны свободно перемещаться.

Таблица III. 57. Размеры отверстий и борозд для прокладки трубопроводов в строительных конструкциях, см (СНиП III-Г. 1—62)

Трубопроводы отопления	Открытая прокладка	Скрытая прокладка в борозде	
		ширина	глубина
Стояк однетрубной системы	10×10	13	
Два стояка двухтрубной системы диаметром до 32 мм каждый	15×10	20	13
Подводки к прибору и сцепки	10×10	6	
Главный стояк	20×20	20	
Магистраль	25×30	—	

Примечание. При открытой прокладке для отверстий в перекрытиях первый размер означает длину (параллельную стене), второй — ширину. Для отверстий в стенах первый размер означает ширину, второй — высоту.

В жилых зданиях открыто проложенные трубопроводы с высокотемпературной водой должны быть изолированы (при $t_r > 105^\circ\text{C}$).

Магистральные участки разводящих трубопроводов протяженностью более 30 м и стояки в зданиях выше 6 этажей должны иметь гнутые компенсаторы и мертвые опоры. В местах прохода труб через перекрытия, стены или конструкции подпольных каналов устанавливаются гильзы из обрезков труб большого диаметра или кровель-

ной стали. Кроме того, при проходе через деревянные конструкции трубы обертывают листовым асбестом.

Все трубы отопления, прокладываемые в подпольных каналах, на чердаке и в других местах, где возможно замерзание воды (у наружных входов в лестничные клетки, в неотапливаемых помещениях и т.п.), а также главные стояки тщательно изолируют.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Общие принципы расчета

Общепринятые методы гидравлического расчета трубопроводов систем отопления отличаются большой трудоемкостью, но точность расчета по ним невелика. Так, для систем водяного отопления с тупиковой схемой разводки допускаются неувязки в расчете до 25%. Ниже приведены основные сведения по общеизвестному методу гидравлического расчета трубопроводов по удельной потере давления при помощи вспомогательных таблиц, а также другие способы при помощи таблиц и номограмм, в значительной мере упрощающих и уточняющих расчет.

Расчеты по таблицам требуют подробной записи промежуточных величин путем последовательных приближений, на что затрачивается много времени. Однако вспомогательные таблицы широко применяются в проектной практике, так как позволяют проверять вычисления по ходу расчета и легко обнаруживать ошибки. Расчеты при помощи номограмм выполняют обычно без записей промежуточных величин, что позволяет получить конечные результаты быстро и с достаточной точностью. Несмотря на эти преимущества графоаналитических методов гидравлических расчетов, номограммами пользуются реже в связи с тем, что они в процессе работы подвергаются быстрому износу, а проверка вычислений сводится к повторному расчету.

Для гидравлических и теплотехнических расчетов систем центрального отопления все шире используют ЭВМ. Но совершенно очевидно, что работе на ЭВМ должно предшествовать изучение расчетов традиционными методами, проверенными на практике.

Расчет трубопроводов систем водяного и парового отопления сводится к определению экономичных сечений труб при заданных тепловых нагрузках и располагаемом перепаде давлений теплоносителя p_p в кгс/м².

При водяном отоплении располагаемый перепад давлений определяют в зависимости от принятой принципиальной схемы разводки, вида циркуляции, параметров теплоносителя, размеров в плане и этажности здания. Величина p_p всегда должна превышать сумму потерь давления от трения и местных сопротивлений по наименее выгодному кольцу — самому протяженному и нагруженному (магистральный трубопровод с ответвлением к рассматриваемому прибору):

$$p_p \geq \Sigma (lR + Z), \quad (\text{III.42})$$

где l — длина расчетного участка наименее выгодного циркуляционного кольца трубопровода, м;

R — удельная потеря давления от трения, кгс/м² на 1 м;

Z — потери давления в местных сопротивлениях расчетного участка, кгс/м².

В паровом отоплении величина располагаемого перепада давлений p_p должна всегда превышать с некоторым запасом потери давления в наиболее протяженной и нагруженной ветви паропровода. Таким образом, располагаемый перепад давлений p_p является определяющей величиной при гидравлических расчетах трубопроводов систем центрального водяного и парового отопления.

Величину R в кгс/м² на 1 м можно найти по формуле

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \gamma, \quad (\text{III.43})$$

где λ — безразмерный коэффициент сопротивления трению о стенки трубы теплоносителя;

v — скорость потока, м/с;

d — внутренний диаметр трубы, м;

γ — плотность среды, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент λ зависит от состояния внутренней поверхности трубы (относительной шероховатости), физических свойств потока и режима его движения (критерия Рейнольдса Re).

Потери давления в местных сопротивлениях Z в $кгс/м^2$ определяются количеством единиц коэффициентов местных сопротивлений (к. м. с.) ζ и скоростью движения теплоносителя по формуле

$$Z = \Sigma \zeta \frac{v^2}{2g} \gamma, \quad (III.44)$$

где $\Sigma \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке.

При гидравлических расчетах трубопроводов не допускается превышение нормируемых предельных скоростей теплоносителя (табл. III.58). В магистральных трубопроводах систем водяного отопления, прокладываемых без уклона, для обеспечения воздухоудаления скорость теплоносителя принимают не менее $0,25 \text{ м/с}$ независимо от диаметра труб, а в трубопроводах, прокладываемых вне жилых и рабочих помещений, — до $1,5 \text{ м/с}$. Рекомендуются скорости и максимальные расходы теплоносителя в системах водяного отопления приведены в табл. III.59.

Т а б л и ц а III.58. Предельные скорости движения теплоносителя в трубопроводах систем отопления, $м/с$ (СНиП II.-Г. 7—62)

Диаметр трубопровода, мм	Скорость теплоносителя — воды	Скорость теплоносителя — пара с давлением на вводе, $кгс/см^2$		
		до 0,7		более 0,7
		при движении пара и конденсата		
		попутном	встречном	попутном
15	0,3	14	10	24
20	0,65	18	12	40
25	0,8	22	14	50
32	1	23	15	55
40	1,5	25	17	60
50	1,5	30	20	70
>50	1,5	30	20	80

Примечание В трубопроводе диаметром 6—15 мм предельная скорость движения воды — $0,3 \text{ м/с}$. Предельные скорости движения пара в системах с давлением на вводе более $0,7 \text{ кгс/см}^2$ при встречном движении пара и конденсата следует принимать равными $0,7$ от значений, приведенных для попутного движения.

Общие принципы и последовательность подготовительных операций гидравлического расчета трубопроводов систем центрального отопления заключается в следующем:

1) на основании технико-экономических соображений и нормативных требований в зависимости от назначения, размеров и этажности здания выбирают принципиальную схему отопления, типы нагревательных приборов, параметры теплоносителя, способ циркуляции теплоносителя водяных систем, схему возврата конденсата в паровые котлы и т. п.;

2) после размещения на планах здания (масштаб 1 : 100) нагревательных приборов, стояков, разводящих, подающих и обратных магистралей конструируют расчетную пространственную схему всей системы. Для многоэтажных зданий эту схему рекомендуется выполнять лишь для разводящих трубопроводов с отрезками стояков. Нагревательные приборы и стояки вычерчивают в виде развертки. Конструкция стояков и присоединение к ним нагревательных приборов (этажестояки) должны быть единообразны и отвечать требованиям индустриализации монтажных работ. Для точного учета всех местных сопротивлений на расчетной схеме необходимо указать все изгибы труб, арматуру и вспомогательное оборудование (расширительный бак, воздухоотборники, грязевик и т. п.). Для небольших зданий с индивидуаль-

ной котельной схему коммуникации основных трубопроводов, котлов и насосов совмещают с расчетной схемой отопления. Расчетные схемы обычно вычерчивают в масштабе 1 : 100;

Т а б л и ц а III.59. Допустимые скорости v , м/с, и расходы теплоносителя G , кг/ч, в трубопроводах водяного отопления

Диаметр условного прохода труб, мм	Максимальные		Минимальные по условиям удаления воздуха			
			независимо от диаметров труб, проложенных без уклона		в подводках к приборам и в стояках	
	v	G	v	G	v	G
10	0,3	130	0,25	110	0,2	100
15	0,5	350	0,25	175	0,2	140
20	0,65	810	0,25	310	0,2	250
25	0,8	1600	0,25	500	0,2	400
32	1	3500	0,25	875	—	—
40	1,5	6970	0,25	1160	—	—
50	1,5	11 700	0,25	1950	—	—
70	1,5	20 100	0,25	3350	—	—
80	1,5	27 600	0,25	4600	—	—
100	1,5	41 400	0,25	6900	—	—
125	1,5	64 500	0,25	10 750	—	—
150	1,5	91 500	0,25	15 250	—	—

3) на основании расчета теплотерь, подбора и размещения нагревательных приборов на схеме наносят тепловые нагрузки на приборы, суммируемые по стоякам и отдельным кольцам сети трубопроводов. Каждое расчетное кольцо по ходу движения теплоносителя, начиная от котла, узла управления ТЭЦ или концевого прибора, разбивают на расчетные участки — отрезки трубопровода одного диаметра с неизменными тепловой нагрузкой или расходом теплоносителя. Каждый расчетный участок обозначают порядковым номером, указывают длину l в м, тепловую нагрузку Q в ккал/ч или расход G в кг/ч. Расчетные участки паропроводов удобнее разбивать против движения теплоносителя от концевого прибора к котлу или к узлу ввода;

4) зная параметры теплоносителя и располагаемый перепад давлений в системе отопления p_p , пользуясь вспомогательными таблицами или номограммами, по принятой методике гидравлического расчета находят потери давления на всех расчетных участках — на трение Rl и в местных сопротивлениях Z . Затем найденные потери давления суммируют по циркуляционным кольцам и ветвям расчетной схемы трубопроводов;

5) полученные результаты должны отвечать требованиям норм. Неувязки в расходуемых давлениях по отдельным кольцам и ветвям системы отопления не должны превышать допустимых значений. Величину неувязки в расходуемых давлениях A в проц. вычисляют по формуле

$$A = \frac{p_p - \Sigma (lR + Z)}{p_p} 100. \quad (\text{III.45})$$

При расчете наиболее протяженного и нагруженного кольца или ветви трубопровода допускается оставлять запас располагаемого перепада давлений p_p на неучтенные расчетом сопротивления сети не более 10% или

$$0,9p_p \geq \Sigma (lR + Z). \quad (\text{III.46})$$

При определении располагаемого перепада давлений $p_{p.o}$ в кгс/м² в узлах ответвлений для последующего их расчета из величины p_p для наиболее протяженного кольца ветви трубопровода вычитают известные потери на общих, уже рассчитанных участках:

$$p_{p.o} = p_p - \sum_1^n (lR + Z); \quad (\text{III.47})$$

б) гидравлический расчет трубопроводов водяного отопления выполняют с постоянными или переменными перепадами температур теплоносителя в стояках одноконтурных систем отопления. Переменные перепады температур в отдельных стояках могут отличаться от расчетного перепада температур теплоносителя, принятого в системе отопления, не более чем на $\pm 15\%$. Потери давления в циркуляционных кольцах одноконтурных систем водяного отопления, рассчитанных с постоянным перепадом температур теплоносителя, могут отличаться не более чем на 15% при тупиковой схеме разводки магистралей и на 5% — при попутной. Потери давления в циркуляционных кольцах двухконтурных систем водяного отопления могут отличаться не более чем на 15% при попутной схеме разводки магистралей и на 25% — при тупиковой;

7) в паровых системах отопления потери давления в паропроводах должны быть не более величины располагаемого перепада давлений на вводе в здание с запасом до 10%. Потери давления по взаимосвязанным частям системы могут отличаться не более чем на 25%.

Расчет располагаемого перепада давлений систем водяного отопления

Действующие нормы по проектированию систем водяного и парового отопления дают общие рекомендации по определению величин p_p , уточняемых гидравлическим расчетом. Так, в системах водяного с насосной циркуляцией и парового отопления потери давления ограничиваются предельными скоростями теплоносителя (см. табл. III.58 и III.59), возможностью увязки расходуемых давлений по отдельным циркуляционным кольцам и ветвям, а также технико-экономическими соображениями. При выяснении величины располагаемого перепада давлений для принятой схемы центрального отопления следует иметь в виду, что максимальное суммарное гидростатическое и динамическое давление в них не должно превышать 6 кгс/см^2 при применении чугунных и стальных штампованных радиаторов и 10 кгс/см^2 при применении стальных трубчатых греющих элементов (например, в конвекторах, листотрубных радиаторах и при панельном отоплении).

В системах водяного отопления с насосной циркуляцией движение воды по трубам происходит за счет давления, развиваемого насосом, p_n^* , а также вследствие гравитационных сил, возникающих при охлаждении горячей воды в нагревательных приборах и трубопроводах, p_e . Для таких систем располагаемый перепад давлений определяют по формуле

$$p_p = p_n + B p_e. \quad (\text{III.48})$$

Для горизонтальных и вертикальных с нижней разводкой одноконтурных систем водяного отопления поправка $B = 0,4$, с верхней разводкой — 1, для двухконтурных — 0,5—0,7. Эта поправка учитывает работу системы отопления в течение отопительного сезона при уменьшенной величине естественного давления. Значение p_e не учитывают, если оно составляет не более 10% давления p_n .

Располагаемый перепад давлений определяют для покрытия всех расчетных гидравлических потерь. При присоединении системы водяного отопления с насосной циркуляцией непосредственно к тепловым сетям без элеватора он равен разности давлений в подающем и обратном трубопроводах ($p_p = p_{\text{в}}$). Величину $p_{\text{в}}$ обычно задают в *м вод. ст.* Для систем отопления, в перспективе присоединяемых к централизованному теплоснабжению через элеватор, $p_p \leq 1200 \text{ кгс/м}^2$ после элеватора при параметрах теплоносителя $95\text{—}70^\circ \text{C}$ и $p_{\text{в}} \geq 10\text{—}15 \text{ м вод. ст.}$ Для систем отопления, присоединяемых к тепловым сетям через водонагреватели (независимая схема при давлении на вводе теплосети в обратном трубопроводе более 60 м вод. ст.), и систем, не имеющих перспективы присоединения к тепловым сетям, p_p определяют исходя из максимально допустимых скоростей движения теплоносителя в трубах и возможности увязки потерь давления в циркуляционных кольцах с учетом технико-экономических соображений. При элеваторном присоединении системы отопления значение давления $p_{\text{поб}}$, создаваемого побудителем циркуляции, определяют в

* В каталогах заводов-изготовителей обычно указывается напор насоса в *м.* Давление, развиваемое насосом, является произведением его напора в *м* и плотности перекачиваемой жидкости в кг/м^3 .

зависимости от перепада давлений на вводе тепловой сети p_v и от коэффициента смешения u по графику на листе III.25, рис. 1. Нормы СН 419—70 рекомендуют в типовых проектах принимать $p_v = 10 \div 12$ м вод.ст. По данным ВНИИГС*, для систем водяного отопления с элеваторным присоединением к тепловой сети при $\Delta t = 150 - 70^\circ \text{C}$ в зависимости от коэффициента смешения u и параметров теплоносителя после элеватора, принимают следующие величины p_p :

при $\Delta t = 95 - 70^\circ \text{C}$ и $u = 2$ $p_p = 1200$ кгс/м²;
 при $\Delta t = 105 - 70^\circ \text{C}$ и $u = 1,17$ $p_p = 2000$ кгс/м²;
 при $\Delta t = 100 - 70^\circ \text{C}$ и $u = 1,51$ $p_p = 1600$ кгс/м²;
 при $\Delta t = 110 - 70^\circ \text{C}$ и $u = 0,91$ $p_p = 2500$ кгс/м².

В необходимых случаях в узле ввода тепловой сети в здание на перемычке устанавливают насос для повышения p_p в местной системе отопления.

Коэффициент смешения определяют по формуле

$$u = \frac{T_{\text{ф}} - t_{\text{г}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{о.ф}}}, \quad (\text{III.49})$$

где $T_{\text{ф}}$ — фактическая температура горячей воды на входе в отопительную систему с учетом предвключенной тепловой нагрузки (например, лестничных рециркуляционных воздухонагревателей), $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{о.ф}}$ — фактическая температура охлажденной воды, $^\circ\text{C}$, с учетом дополнительных потерь тепла, определяемая по формуле

$$t_{\text{о.ф}} = t_{\text{о}} - \frac{Q_{\text{д}}}{G_{\text{сист}}}; \quad (\text{III.50})$$

$t_{\text{г}}$ и $t_{\text{о}}$ — расчетные температуры горячей и охлажденной воды местной системы отопления, $^\circ\text{C}$;

$G_{\text{сист}}$ — расход теплоносителя, кг/ч, определяемый по величине теплотерь $Q_{\text{т}}$ и температурному перепаду Δt по формуле (III.29);

$Q_{\text{д}}$ — дополнительные потери тепла, составляющие не более 15% величины $Q_{\text{т}}$, ккал/ч.

Элеваторы и насосы подбирают с запасом 10% по коэффициенту смешения на неучтенные потери давления в самой системе отопления и элементах узла ввода тепловой сети в здание ($u' = u \cdot 1,1$).

В вертикальных однотрубных системах с насосной циркуляцией учитывают величину естественного давления p_e от остывания воды в стояках в размере 40% его расчетного значения, определяемого при нижней разводке магистральных трубопроводов по формуле

$$p_e = 0,4\varepsilon \frac{\Sigma qh}{cG_{\text{ст}}}, \quad (\text{III.51})$$

где ε — приращение плотности воды при охлаждении ее на 1°C , кг/м³, которое при заданном температурном перепаде в системе отопления $\Delta t = t_{\text{г}} - t_{\text{о}}$ является постоянной величиной:

$t_{\text{г}} - t_{\text{о}}, ^\circ\text{C}$		85—65	95—70	100—70	105—70	130—70	150—70
$\varepsilon, \text{кг/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$		0,6	0,64	0,65	0,66	0,72	0,76

Σqh — сумма произведений тепловых нагрузок этажестояков, ккал/ч, на высоту установки нагревательных приборов над обратным трубопроводом, м;

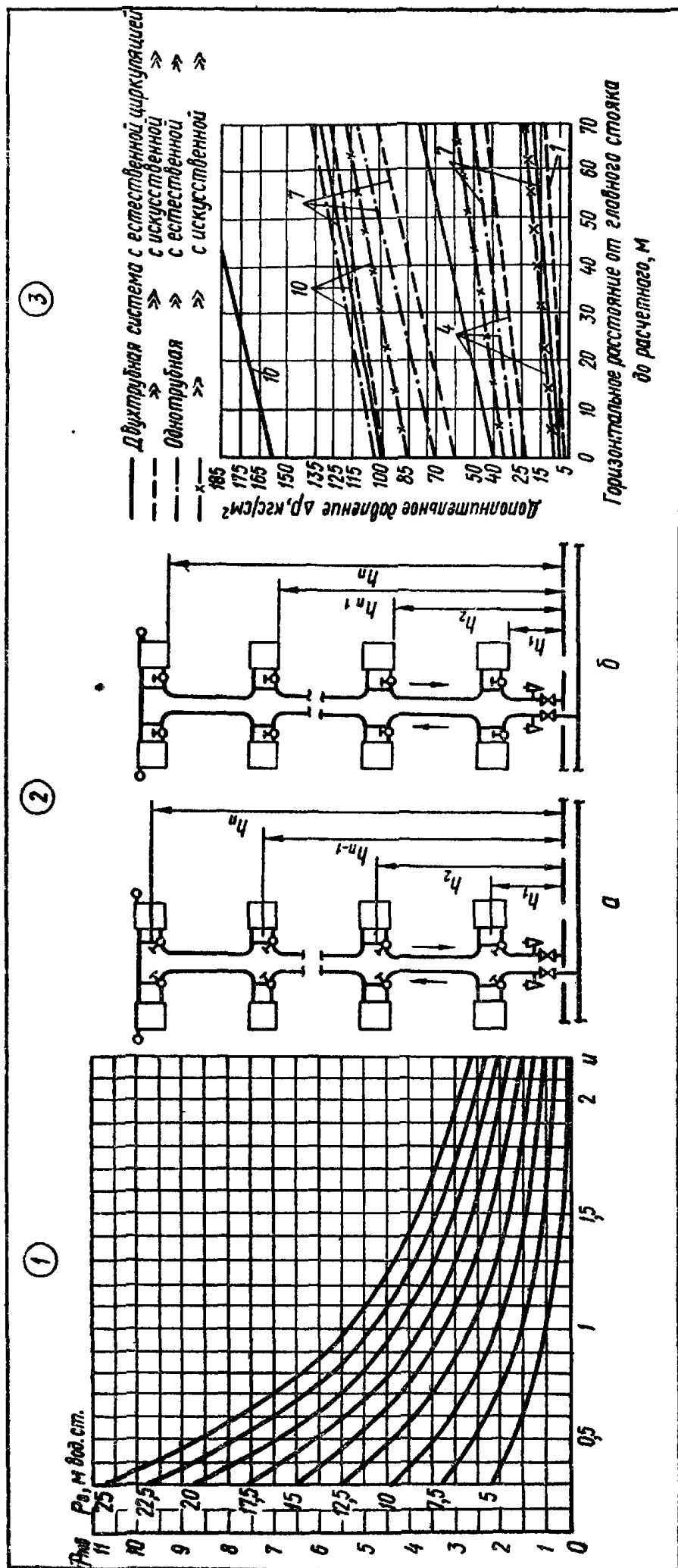
$G_{\text{ст}}$ — расход теплоносителя через стояк, кг/ч, определяемый по формуле (III.20);

c — теплоемкость воды, равная 1 ккал/кг $\cdot ^\circ\text{C}$.

Следует иметь в виду, что высота установки приборов измеряется от точки изменения температуры воды в стояке: в проточных и проточно-регулируемых однотрубных системах — от середины приборов, в системах с замыкающими участками и кранами двойной регулировки — от обратной подводки к приборам (лист III.25, рис. 2). При верхней разводке трубопроводов значение p_p определяют по формуле (III.51) без поправки 0,4.

Нормы СН 419—70 допускают вычисление величины естественного давления для однотрубных систем водяного отопления при нижней разводке магистралей по при-

* Минмонтажспецстрой СССР. «Труды ВНИИГС». Вып. 28. Л., Госстройиздат, 1970.



Лист III.25. К расчету располагаемого перепада давлений p_p :

1 — график для выбора значений $p_{\text{доб}}$, 2 — высотные схемы однотрубных стояков для расчета p_e (а — проточно регулируемых, б — с замыкающими участками); 3 — график для определения Δp .

ближенной формуле

$$p_e = 0,13nh_3\Delta t, \quad (\text{III.52})$$

где n — число этажей;

h_3 — высота этажей, м.

В горизонтальных однотрубных системах водяного отопления естественное давление рассчитывают последовательно для ветви каждого нижележащего этажа по формуле

$$p_e = 0,4\epsilon h_{г.в}\Delta t, \quad (\text{III.53})$$

где $h_{г.в}$ — расстояние между горизонтальными ветвями соседних по высоте этажей, м.

При водяном отоплении с естественной циркуляцией теплоносителя располагаемым перепадом давлений являются гравитационные силы p_e , т. е.

$$p_p = p_e = p + \Delta p, \quad (\text{III.54})$$

где p и Δp — естественное давление, возникающее от охлаждения воды соответственно в нагревательных приборах и трубопроводах, кгс/м².

Давление от охлаждения воды в трубопроводах зависит от вида и геометрических размеров системы водяного отопления (лист III.25, рис. 3, где цифрами обозначены номера этажей). График на этом рисунке составлен для открытой прокладки стояков по стенам помещений, но при изолированных магистральных трубопроводах. Если стояки проложены в бороздах без изоляции, то вводится поправка 0,75. Для случаев, когда стояки изолированы, а также для систем с нижней разводкой магистралей, величину Δp не учитывают. Для систем водяного отопления с насосной циркуляцией значениями Δp (ввиду их малой величины) пренебрегают.

Естественное давление от охлаждения воды в нагревательных приборах p вычисляют достаточно точно по формулам, приведенным ниже. Для однотрубных систем с верхней разводкой магистралей предварительно по формуле (III.19) находят температуры воды в стояках, последовательно входящей в приборы каждого этажа, — соответствующие температуры смеси. Затем, зная высотное расположение нагревательных приборов (лист III.26, рис. 1), определяют величину p , приняв по табл. III.4 плотность воды соответственно ее температуре, по формуле

$$p = (h_1\gamma_0 + h_2\gamma_1 + \dots + h_n\gamma_{n-1}) - (h_1 + h_2 + \dots + h_n) \gamma_r, \quad (\text{III.55})$$

где $h_1, h_2, \dots, h_n$ — вертикальные размеры между точками смешения воды при расположении нагревательных приборов по этажам, м;

γ_0 и γ_r — плотность охлажденной и горячей воды, кг/м³;

$\gamma_1, \dots, \gamma_{n-1}$ — плотность смешиваемой воды в стояке между этажами, кг/м³.

Значение p для однотрубных вертикальных систем водяного отопления можно вычислить также пользуясь формулой (III.51), но без поправки 0,4.

При переменных перепадах температур воды в стояках значение p определяют поочередно для каждого стояка.

Для двухтрубных систем водяного отопления, работающих с радиусом действия до 30 м при высоте $h_1 = 3$ м (лист III.26, рис. 2), величину p определяют по следующим формулам:

для приборов нижнего этажа при верхней и нижней разводках магистралей

$$p = h_1 (\gamma_0 - \gamma_r); \quad (\text{III.56})$$

для приборов вышележащих этажей при верхней разводке магистралей

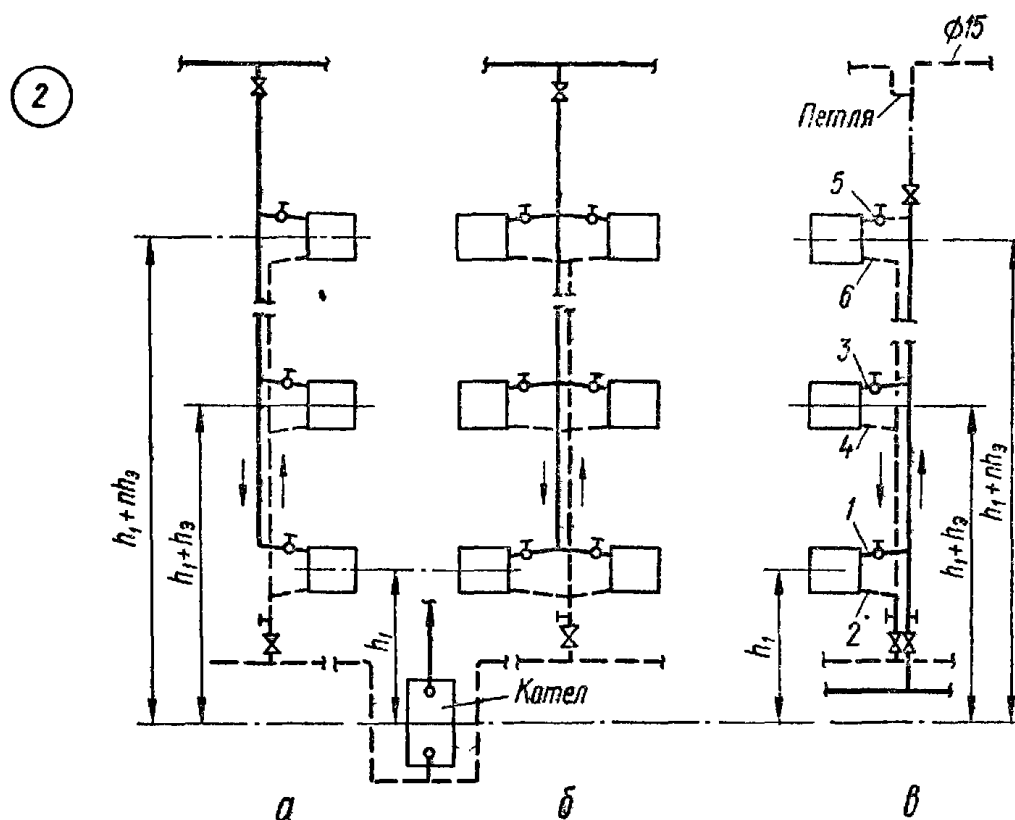
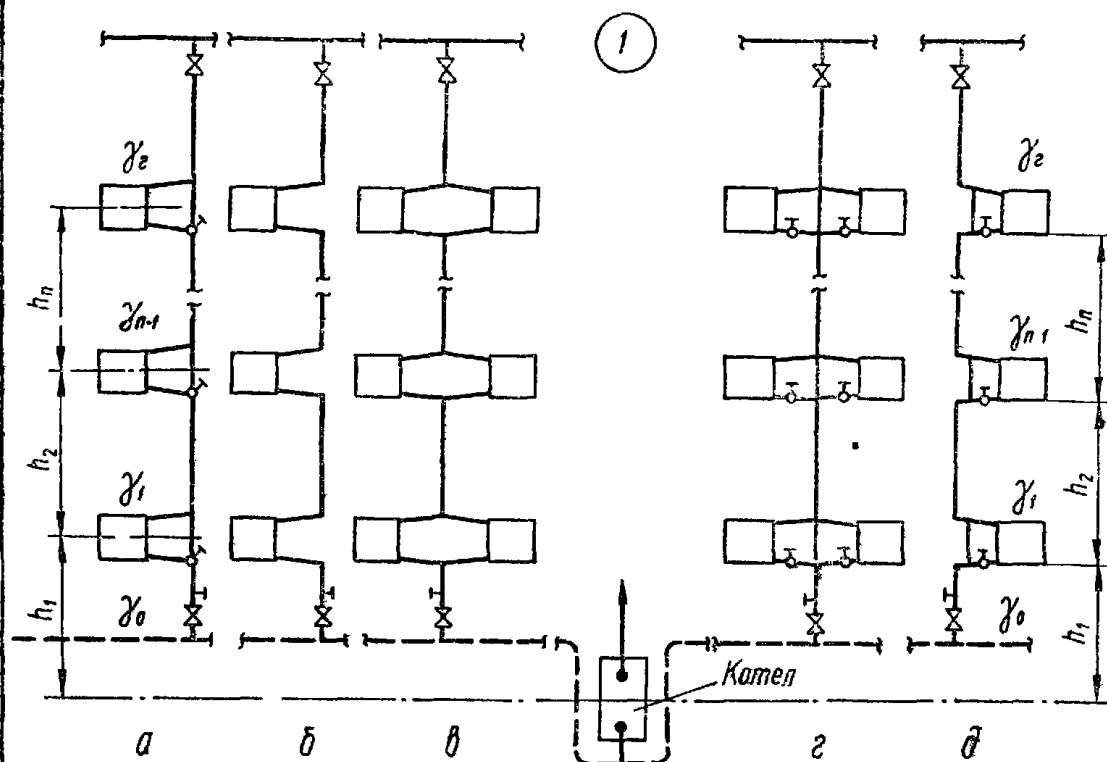
$$p = (h_1 + nh_3) (\gamma_0 - \gamma_r); \quad (\text{III.57})$$

то же, при нижней разводке

$$p = (h_1 + nh_3) (\gamma_0 - \gamma_r) + \Sigma (lR + Z)_{\text{под}}, \quad (\text{III.58})$$

где $\Sigma (lR + Z)_{\text{под}}$ — потери давления, кгс/м², в подводках 1—6 к прибору рассматриваемого этажа.

Пример III.13. Найти требуемый располагаемый перепад давлений p_p в системе водяного отопления с нижней разводкой магистралей и П-образными однотрубными стояками для 7-этажного дома. Система отопления имеет элеваторный узел и присоединяется к наружной тепловой сети. Параметры теплоносителя $t_r - t_0 = 100 - 70^\circ \text{C}$;



Лист III.26. К расчету располагаемого перепада давлений p_p при естественной циркуляции:

1 — высотные схемы однетрубных стояков (а, б, в — проточных; г, д — с замыкающими участками); 2 — высотные схемы двухтрубных стояков с верхней (а, б) и нижней (в) разводками магистралей.

температура воды в подающей линии тепловой сети $T = 150^\circ \text{C}$; расчетные теплотери здания $Q_T = 300\,000 \text{ ккал/ч}$. Отопление лестничных клеток предусмотрено при помощи рециркуляционных воздухонагревателей, включенных до элеватора. Теплотери лестничных клеток составляют 10% расчетных теплотерь всего здания. Давление на вводе тепловой сети в здание $p_B = 10 \text{ м вод.ст.}$

По формуле (III.29) находим расход циркулирующего теплоносителя в системе отопления без учета обогрева лестничных клеток воздухонагревателями, присоединенными до элеватора:

$$G_{\text{сист}} = \frac{300\,000 - 0,1 \cdot 300\,000}{100 - 70} = 9000 \text{ кг/ч.}$$

Затем находим фактическую температуру охлажденной воды по формуле (III.50), принимая дополнительные потери тепла от расчетных в размере 15%:

$$t_{o.ф} = 70 - \frac{0,15 \cdot 300\,000}{9000} = 65^\circ \text{C.}$$

Далее по формуле (III.49) вычисляем требуемый коэффициент смешения:

$$u = \frac{150 - 100}{100 - 65} = 1,43.$$

Для определения величины действующего в системе естественного давления высотную схему наименее нагруженного стояка принимаем по аналогии с приведенной на листе III.25, рис. 2, а при высотах $h_9 = 2,7 \text{ м}$ и $h_1 = 1 \text{ м}$, тепловые нагрузки приборов на 1 и 7-м этажах $Q_{пр} = 1000 \text{ ккал/ч}$, а на промежуточных этажах (2—6) $Q_{пр} = 500 \text{ ккал/ч}$. Расход воды по стояку по формуле (III.20)

$$G_{\text{ст}} = \frac{1000 \cdot 2 + 500 \cdot 5}{100 - 70} = 300 \text{ кг/ч.}$$

Тогда естественное давление по формуле (III.51)

$$p_e = \frac{0,4 \cdot 0,65}{300} (1000 \cdot 1 + 500 \cdot 3,7 + 500 \cdot 6,4 + 500 \cdot 9,1 + 500 \cdot 11,4 + 500 \times \\ \times 14,5 + 1000 \cdot 17,2) \cdot 2 = 71 \text{ кгс/см}^2.$$

Найденную величину p_e для сравнения полученных результатов проверяем по приближенной формуле (III.52):

$$p_e = 0,13 \cdot 7 \cdot 2,7 (100 - 70) = 73 \text{ кгс/м}^2.$$

Разница в подсчетах составляет всего 2 кгс/м^2 , или 3%.

Определяем требуемое значение $p_{\text{поб}}$ побудителя циркуляции при $p_B = 10 \text{ м}$ и коэффициенте смешения с запасом 10% $u' = 1,43 \cdot 1,1 = 1,57$. По графику на листе III.25, рис. 1 $p_{\text{поб}} = 1,4 \text{ м вод.ст.}$ или 1400 кгс/м^2 .

Суммарная возможная величина располагаемого перепада давлений на покрытие гидравлических потерь в системе отопления с учетом потерь в арматуре узла ввода тепловой сети $p_p = 1400 + 73 \approx 1475 \text{ кгс/м}^2$.

Пример III.14. Рассчитать величину располагаемого перепада давлений в системе водяного отопления с естественной циркуляцией для 5-этажного дома. Стояки системы проложены открыто по стенам помещений, магистральные трубопроводы изолированы. Параметры теплоносителя — $95\text{—}70^\circ \text{C}$. Высоты этажей: $h_9 = 3,5 \text{ м}$ и $h_1 = 5 \text{ м}$. Тепловые нагрузки приборов на 1-м и 5-м этажах $Q_{пр} = 1500 \text{ ккал/ч}$, на промежуточных этажах (2—4) $Q_{пр} = 1000 \text{ ккал/ч}$.

Пользуясь формулой (III.20), находим расход воды, циркулирующей по стояку:

$$G_{\text{ст}} = \frac{1500 \cdot 2 + 1000 \cdot 3}{95 - 70} = 240 \text{ кг/ч.}$$

Температуру входящей в нагревательные приборы воды вычисляем последовательно для каждого этажа по формуле (III.19), принимая значения плотности воды

по табл. III.4:

$$t_r = t_s = 95^\circ \text{C} \quad (\gamma_r = 961,92 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_4 = 95 - \frac{1500}{240} = 89^\circ \text{C} \quad (\gamma_4 = 966,01 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_3 = 95 - \frac{1500 + 1000}{240} = 84,6^\circ \text{C} \quad (\gamma_3 = 968,91 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_2 = 95 - \frac{1500 + 1000 \cdot 2}{240} = 81,9^\circ \text{C} \quad (\gamma_2 = 970,63 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_1 = 95 - \frac{1500 + 1000 \cdot 3}{240} = 76,3^\circ \text{C} \quad (\gamma_1 = 974,1 \text{ кг/м}^3);$$

$$t_0 = 70^\circ \text{C} \quad (\gamma_0 = 977,81 \text{ кг/м}^3).$$

Зная высотное расположение нагревательных приборов, по формуле (III.55) вычисляем естественное давление от охлаждения воды в приборах

$$p_e = (5 \cdot 977,81 + 3,5 \cdot 974,1 + 3,5 \cdot 970,63 + 3,5 \cdot 968,91 + 3,5 \cdot 966,01) - \\ - (5 + 3,5 \cdot 4) \cdot 961,92 = 191 \text{ кгс/м}^2.$$

Определяем полную величину располагаемого естественного давления с учетом влияния от охлаждения воды в трубопроводах Δp при радиусе действия системы отопления до 30 м. На основании графика на листе III.25, рис. 3, интерполируя, получаем

$$p_p = p_e = p + \Delta p = 191 + 52 = 243 \text{ кгс/м}^2.$$

Для сравнения полученных результатов проверяем значение p по формуле (III.50), но без поправки 0,4:

$$p = \frac{0,64}{240} (1500 \cdot 5 + 1000 \cdot 3,5 + 1000 \cdot 12 + 1000 \cdot 15,5 + 1500 \cdot 19) = \\ = 192 \text{ кгс/м}^2.$$

Методы гидравлического расчета трубопроводов

В отопительной технике приняты разнообразные методы гидравлических расчетов трубопроводов с различной точностью получаемых результатов.

Метод расчета трубопроводов по удельным потерям давления на 1 м расчетного кольца состоит в том, что при помощи вспомогательных таблиц вначале производят предварительный, а затем окончательный гидравлический расчет с увязкой расходуемых давлений по большим и малым кольцам циркуляции, отдельным стоякам и частям системы. Изменение величины неувязки в рассматриваемом расчетном кольце достигается увеличением или уменьшением потери давления на наиболее нагруженных участках при различных диаметрах труб.

Для предварительного гидравлического расчета трубопроводов водяного отопления и парового низкого давления вначале находят среднее значение на 1 м удельной потери давления от трения при движении теплоносителя по трубам:

$$R_{cp} = \beta \frac{p_p}{\Sigma l}, \quad (III.59)$$

где β — коэффициент, учитывающий долю потери давления на преодоление сопротивления трения от общего располагаемого перепада давлений p_p в системе (для двухтрубной системы водяного отопления β принимают равным 0,5, для однострубной — 0,6, для парового отопления — 0,65);

Σl — общая длина расчетного циркуляционного кольца водяной системы или ветви паропроводов, м.

Расчет трубопровода начинают с наиболее протяженного циркуляционного кольца или ветви, т. е. при наименьшем значении R_{cp} . По вспомогательной величине

$R_{\text{ср}}$ определяют удельные потери давления на трение R в кгс/м^2 на 1 м на расчетных участках при заданных тепловых нагрузках (табл. III.60*). Следует иметь в виду, что табл. III.60 для расчета трубопроводов водяного отопления составлена по тепловым нагрузкам, приведенным к температурному перепаду ($\Delta t = 1^\circ\text{C}$) или к расходу воды G . Поэтому все тепловые нагрузки расчетных участков предварительно пересчитывают по формуле (III.20) путем деления тепловой нагрузки Q на температурный перепад, принятый в системе отопления, Δt .

При соответствующих значениях R и скорости движения теплоносителя v по таблицам принимают диаметры труб для всех расчетных участков. Диаметры труб следует выбирать так, чтобы скорость v возрастала без резких скачков по мере увеличения тепловых нагрузок и не превышала предельно допускаемых величин при условии бесшумной работы систем отопления (см. табл. III.59).

Определив сумму коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \zeta$ и зная найденную по табл. III.60 скорость теплоносителя v , по табл. III.61 находят величину потери давления Z на данном расчетном участке (см. стр. 217).

Потери давления Z в местных сопротивлениях, находящихся на границе двух смежных участков, относят к участку с меньшим расходом теплоносителя. При расположении местных сопротивлений переменного сечения на данном участке (проточный воздухооборник, грязевик, распределительная гребенка и т.п.) потери определяют по большей скорости теплоносителя. Форма записи расчетных величин приведена в табл. III.75.

Основы расчета трубопроводов по методу эквивалентных сопротивлений для водяного отопления при помощи сетчатой номограммы** состоят в следующем.

Величину располагаемого перепада давлений в системе p_p делят на длину главного (наиболее протяженного и нагруженного) циркуляционного кольца Σl . В результате определяют среднее располагаемое давление в кгс/м^2 на 1 м кольца, характеризующее потери от трения и в местных сопротивлениях, т.е.

$$R_0 = \frac{p_p}{\Sigma l} . \quad (\text{III.60})$$

Тогда расчетное падение давления на любом участке циркуляционного кольца будет равно полученной потере на 1 м, умноженной на длину данного участка, т.е. $p_n = R_0 l_n$.

Заменяя скорость через расход G в $\text{м}^3/\text{с}$ и диаметр d в м в формулах (III.43) и (III.44), получаем выражение для потери давления на участке от трения и местных сопротивлений

$$p_n = \left(\frac{\lambda}{d^5} + \frac{\Sigma \zeta}{d^4} \right) \frac{G^2}{2g \left(\frac{\pi}{4} \right)^2 \gamma} . \quad (\text{III.61})$$

Принимая для простоты расчета плотность воды постоянной (при $t = 80^\circ\text{C}$, $\gamma = 971,8 \text{ кг/м}^3$), расход воды G в кг/ч и внутренний диаметр трубы d в мм, после соответствующих преобразований имеем

$$p_n = 6,53 \left(\frac{1000\lambda}{d^5} + \frac{\Sigma \zeta}{d^4} \right) G^2 . \quad (\text{III.62})$$

При обозначении величины в скобках через коэффициент μ , называемый гидравлическим критерием, формула (III.62) примет более простой вид:

$$p_n = 6,53 \mu G^2 . \quad (\text{III.63})$$

Гидравлический критерий μ зависит от длины и диаметра трубы, а также от коэффициента местного сопротивления и сопротивления трения. Таким образом, величина μ зависит от конструктивных размеров трубы при данном расходе воды.

* Табл. III.60 и III.61 приведены по данным П. Ю. Г а м б у р г а «Таблицы и примеры расчетов трубопроводов отопления и горячего водоснабжения» (М., Госстройиздат, 1961).

** Способ расчета при помощи номограмм предложен Б. Н. Л о б а е в ы м в книге «Расчет трубопроводов систем отопления» (Киев, «Будівельник», 1956).

Т а б л и ц а III.60. Расчет стальных трубопроводов

Потери от трения, кгс/м ² на 1 м	Количество тепла Q, проходящего по трубе, ккал/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
Трубопроводы водяного отопления при								
0,06	8	12,5	27	52	110	160	307	589
	0,015	0,017	0,021	0,025	0,031	0,034	0,039	0,045
0,065	8,2	13	28	54	116	172	321	616
	0,016	0,018	0,022	0,026	0,032	0,036	0,041	0,047
0,07	8,5	13,5	30	56	121	183	335	643
	0,017	0,019	0,023	0,027	0,033	0,038	0,043	0,049
0,075	8,8	14	31	59	126	188	349	669
	0,0174	0,019	0,024	0,028	0,035	0,04	0,044	0,051
0,08	9,1	14,5	32	61	130	192	368	695
	0,018	0,02	0,025	0,029	0,036	0,041	0,046	0,053
0,085	9,5	15	33	63	135	196	374	718
	0,019	0,021	0,026	0,031	0,037	0,042	0,048	0,055
0,09	9,8	15,5	34	65	139	202	385	742
	0,0194	0,021	0,027	0,032	0,039	0,043	0,049	0,057
0,095	10,1	16	35	67	144	206	398	764
	0,02	0,022	0,0275	0,033	0,04	0,044	0,051	0,058
0,1	10,4	16,5	36	69	148	210	409	788
	0,021	0,023	0,028	0,034	0,041	0,045	0,052	0,06
0,11	10,7	17	38	73	157	219	432	830
	0,022	0,024	0,03	0,035	0,044	0,046	0,055	0,063
0,12	11,1	17,5	40	76	164	229	454	872
	0,023	0,025	0,031	0,037	0,045	0,048	0,059	0,067
0,13	11,4	18	42	80	172	239	475	910
	0,0234	0,026	0,033	0,039	0,047	0,05	0,061	0,07
0,14	12	19	44	84	180	249	496	948
	0,024	0,027	0,034	0,041	0,049	0,052	0,064	0,073
0,15	12,6	20	45	87	188	259	516	982
	0,026	0,029	0,035	0,042	0,052	0,054	0,067	0,075
0,16	13,2	21	47	96	191	269	535	1016
	0,027	0,03	0,037	0,045	0,053	0,057	0,069	0,078
0,17	13,6	21,5	49	103	193	279	553	1046
	0,027	0,03	0,038	0,048	0,053	0,059	0,071	0,08
0,18	13,9	22	50	108	197	287	571	1077
	0,028	0,031	0,039	0,051	0,054	0,06	0,073	0,082
0,19	14,5	23	52	110	201	296	589	1106
	0,029	0,032	0,04	0,053	0,056	0,062	0,076	0,085
0,2	15,1	24	53	111	203	304	606	1137
	0,03	0,033	0,042	0,054	0,057	0,064	0,078	0,087
0,22	15,8	25	56	115	213	321	638	1197
	0,032	0,035	0,044	0,055	0,059	0,067	0,082	0,092
0,24	16,4	26	59	120	223	338	671	1258
	0,034	0,037	0,046	0,057	0,062	0,071	0,087	0,096
0,26	17	27	62	126	234	353	700	1317
	0,035	0,039	0,048	0,059	0,064	0,074	0,091	0,101
0,28	17,7	28	64	130	244	368	729	1377
	0,037	0,041	0,05	0,064	0,068	0,077	0,096	0,106
0,3	19	30	67	135	254	383	752	1438
	0,038	0,042	0,052	0,067	0,07	0,081	0,099	0,11
0,32	19,6	31	72	140	263	396	774	1483
	0,04	0,044	0,058	0,068	0,73	0,083	0,102	0,114

водяного и парового отопления низкого давления

движения воды (пара) в трубе u , м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

57 × 3,5	76 × 3	89 × 3,5	102 × 4	108 × 4	133 × 4	152 × 4,5	168 × 5
----------	--------	----------	---------	---------	---------	-----------	---------

температуре воды 95° С, $\Delta t = 1^\circ \text{С}$ и $k = 0,2$ мм

274	669	1027	1508	1784	3208	4685	6074
0,038	0,048	0,054	0,059	0,062	0,073	0,08	0,0862
286	698	1074	1576	1871	3368	4922	6328
0,04	0,05	0,057	0,062	0,065	0,076	0,084	0,0898
298	728	1119	1644	1956	3469	5114	6583
0,042	0,053	0,059	0,064	0,068	0,079	0,087	0,0934
311	758	1157	1712	2046	3622	5305	6837
0,043	0,055	0,061	0,067	0,071	0,082	0,09	0,097
323	785	1194	1781	2113	3749	5497	7101
0,045	0,057	0,063	0,07	0,073	0,085	0,094	0,1006
333	812	1231	1848	2179	3877	5688	7355
0,047	0,059	0,065	0,072	0,076	0,088	0,097	0,1042
343	839	1269	1917	2246	4004	5880	7550
0,048	0,061	0,067	0,075	0,078	0,091	0,1	0,1071
354	864	1306	1969	2312	4132	6038	7750
0,05	0,062	0,069	0,077	0,08	0,094	0,103	0,1098
364	889	1343	2021	2379	4259	6195	7934
0,051	0,064	0,071	0,079	0,082	0,096	0,106	0,1124
385	939	1418	2126	2512	4560	6510	8308
0,054	0,068	0,075	0,083	0,087	0,103	0,111	0,1177
398	977	1493	2330	2645	4860	6826	8682
0,057	0,071	0,079	0,087	0,092	0,108	0,116	0,123
422	1016	1568	2335	2770	5161	7141	9345
0,059	0,073	0,082	0,092	0,096	0,114	0,122	0,1324
442	1054	1643	2440	2876	5462	7456	9698
0,062	0,076	0,086	0,096	0,1	0,119	0,127	0,1374
460	1093	1699	2545	2983	5600	7771	10 058
0,065	0,079	0,089	0,1	0,103	0,124	0,132	0,1425
476	1132	1756	2626	3089	5738	8022	10 411
0,067	0,082	0,092	0,103	0,107	0,128	0,137	0,1475
492	1170	1813	2707	3195	5876	8272	10 764
0,069	0,084	0,095	0,106	0,111	0,133	0,141	0,1525
509	1209	1870	2788	3302	6014	8522	11 117
0,071	0,087	0,098	0,109	0,114	0,136	0,145	0,1575
525	1247	1927	2870	3408	6151	8773	11 435
0,074	0,09	0,101	0,112	0,118	0,139	0,15	0,162
540	1286	1983	2951	3497	6290	9024	11 745
0,076	0,093	0,104	0,116	0,121	0,142	0,154	0,1664
568	1363	2097	3113	3675	6565	9524	12 359
0,08	0,098	0,11	0,122	0,127	0,149	0,162	0,1751
595	1440	2210	3276	3853	6841	9947	12 973
0,084	0,104	0,116	0,128	0,134	0,155	0,17	0,1838
623	1498	2300	3414	4031	7119	10 370	13 503
0,088	0,108	0,121	0,134	0,14	0,161	0,177	0,1913
649	1557	2390	3552	4188	7397	10 792	14 032
0,091	0,112	0,126	0,139	0,145	0,167	0,184	0,1988
669	1615	2480	3690	4331	7675	11 226	14 562
0,094	0,117	0,13	0,145	0,15	0,174	0,191	0,2063
689	1673	2569	3827	4475	7953	11 637	15 176
0,097	0,121	0,135	0,15	0,155	0,18	0,199	0,215

Потери от трения, кгс/м² на 1 м	Количество тепла Q, проходящего по трубе, ккал/ч (перная строка) и скорость							
	водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
0,34	20,2	32	75	142	272	409	796	1530
	0,041	0,045	0,06	0,07	0,075	0,086	0,106	0,117
0,36	20,8	33	80	143	281	422	818	1576
	0,042	0,047	0,062	0,071	0,078	0,089	0,108	0,121
0,38	21,5	34	82	145	290	435	839	1622
	0,043	0,048	0,064	0,073	0,08	0,092	0,111	0,124
0,4	22,1	35	85	146	299	448	861	1667
	0,045	0,05	0,066	0,073	0,082	0,094	0,115	0,128
0,45	23,4	37	91	152	317	478	916	1783
	0,049	0,054	0,071	0,074	0,088	0,101	0,122	0,136
0,5	25,2	40	95	157	336	507	971	1898
	0,051	0,057	0,073	0,074	0,093	0,107	0,13	0,145
0,55	26,5	42	100	163	356	533	1026	1999
	0,054	0,06	0,077	0,078	0,098	0,112	0,137	0,153
0,6	27,8	44	103	169	373	559	1081	2090
	0,057	0,063	0,08	0,082	0,103	0,118	0,144	0,16
0,65	29,7	47	107	176	389	580	1127	2180
	0,059	0,066	0,083	0,086	0,108	0,122	0,15	0,167
0,7	30,3	48	111	184	406	601	1172	2269
	0,062	0,069	0,086	0,089	0,112	0,126	0,152	0,174
0,75	31,6	50	112	191	420	622	1218	2359
	0,065	0,072	0,087	0,093	0,116	0,131	0,155	0,181
0,8	33,4	55	113	199	434	642	1263	2450
	0,074	0,082	0,088	0,097	0,12	0,135	0,161	0,187
0,85	35,3	56	115	205	450	663	1309	2523
	0,075	0,083	0,089	0,1	0,124	0,14	0,165	0,193
0,9	36,5	57	119	212	463	684	1354	2598
	0,076	0,084	0,092	0,103	0,128	0,144	0,171	0,199
0,95	36,8	58	122	218	477	705	1399	2671
	0,077	0,085	0,095	0,106	0,132	0,148	0,177	0,204
1	37,2	59	126	225	490	726	1445	2744
	0,078	0,087	0,097	0,109	0,136	0,151	0,182	0,21
1,1	38,5	61	133	237	516	767	1514	2892
	0,081	0,09	0,103	0,115	0,143	0,162	0,192	0,221
1,2	39,8	63	140	248	537	809	1583	3011
	0,084	0,093	0,108	0,12	0,149	0,17	0,201	0,23
1,3	41	65	146	259	557	846	1652	3128
	0,086	0,095	0,113	0,126	0,154	0,178	0,21	0,239
1,4	42,3	67	151	269	579	876	1720	3246
	0,088	0,098	0,117	0,131	0,16	0,184	0,218	0,248
1,5	42,9	68	157	280	600	906	1790	3364
	0,091	0,101	0,121	0,136	0,166	0,191	0,227	0,257
1,6	44,2	70	163	289	621	937	1858	3482
	0,093	0,103	0,126	0,141	0,172	0,197	0,236	0,266
1,7	45,5	72	169	299	642	967	1917	3600
	0,096	0,106	0,13	0,145	0,178	0,203	0,243	0,275
1,8	46,7	74	174	309	663	997	1974	3718
	0,098	0,108	0,135	0,15	0,184	0,21	0,251	0,284
1,9	47,4	75	179	318	684	1027	2032	3835
	0,1	0,111	0,138	0,154	0,189	0,216	0,258	0,293
2	48,6	77	184	332	705	1058	2090	3953
	0,102	0,114	0,142	0,161	0,195	0,222	0,265	0,302

движения воды (пара) в трубе u , м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

	57 × 3,5	76 × 3	89 × 3,5	102 × 4	108 × 4	133 × 4	152 × 4,5	168 × 5
707	1731	2659	3938	4619	8230	11 986	15 874	
0,1	0,125	0,14	0,154	0,16	0,186	0,204	0,2249	
727	1790	2748	4049	4762	8508	12 335	16 580	
0,102	0,129	0,145	0,159	0,165	0,193	0,21	0,2349	
747	1848	2825	4160	4906	8738	12 684	16 912	
0,105	0,133	0,149	0,163	0,17	0,198	0,216	0,2396	
766	1906	2902	4271	5049	8968	13 033	17 244	
0,108	0,138	0,153	0,167	0,175	0,203	0,222	0,2443	
815	2023	3093	4548	5408	9542	13 905	17 969	
0,115	0,146	0,163	0,178	0,187	0,216	0,237	0,256	
865	2139	3285	4825	5694	10 116	14 698	18 895	
0,122	0,154	0,173	0,189	0,197	0,229	0,251	0,2677	
913	2555	3432	5103	5980	10 574	15 492	19 707	
0,129	0,163	0,181	0,2	0,207	0,239	0,264	0,2792	
962	2372	3587	5253	6266	11 033	16 184	20 526	
0,136	0,171	0,188	0,209	0,217	0,25	0,276	0,2908	
1003	2468	3730	5544	6552	11 490	16 876	21 338	
0,141	0,178	0,196	0,217	0,227	0,26	0,288	0,3023	
1043	2564	3878	5764	6838	11 949	17 568	21 156	
0,146	0,185	0,204	0,226	0,237	0,271	0,3	0,3139	
1084	2660	4026	5985	7068	12 407	18 178	22 975	
0,152	0,192	0,212	0,235	0,245	0,281	0,31	0,3255	
1124	2756	4175	6206	7299	12 866	18 787	23 794	
0,158	0,199	0,22	0,243	0,253	0,291	0,32	0,3371	
1165	2852	4323	6426	7529	13 324	19 397	24 606	
0,162	0,206	0,227	0,252	0,261	0,302	0,331	0,3486	
1205	2927	4471	6606	7760	13 726	19 873	25 424	
0,168	0,211	0,235	0,259	0,269	0,311	0,339	0,3602	
1245	3002	4587	6786	7991	14 107	20 348	26 243	
0,174	0,217	0,241	0,266	0,277	0,319	0,347	0,3718	
1286	3078	4703	6966	8221	14 487	20 825	27 055	
0,179	0,222	0,247	0,273	0,285	0,328	0,355	0,3833	
1347	3228	4934	7326	8620	15 249	21 776	28 481	
0,188	0,233	0,26	0,287	0,299	0,345	0,371	0,4035	
1409	3378	5280	7686	9018	15 909	22 728	29 695	
0,197	0,214	0,272	0,301	0,313	0,36	0,388	0,4207	
1470	3528	5398	7994	9416	16 571	23 679	30 881	
0,206	0,255	0,284	0,314	0,327	0,375	0,404	0,4375	
1531	3679	5629	8302	9783	17 232	24 625	32 059	
0,214	0,266	0,296	0,325	0,339	0,39	0,42	0,4542	
1593	3829	5825	8610	10 128	17 752	25 583	33 238	
0,223	0,276	0,306	0,337	0,351	0,402	0,436	0,4709	
1654	3950	6020	8915	10 474	18 272	26 534	34 424	
0,231	0,285	0,317	0,349	0,363	0,414	0,453	0,4877	
1706	4072	6215	9183	10 819	18 792	27 486	35 603	
0,238	0,294	0,327	0,36	0,375	0,425	0,469	0,5044	
1757	4191	6409	9451	11 114	19 312	28 438	36 781	
0,246	0,303	0,337	0,37	0,385	0,437	0,485	0,5211	
1808	4312	6606	9719	11 409	19 832	29 389	37 740	
0,253	0,311	0,348	0,381	0,396	0,449	0,501	0,5351	
1859	4433	6781	9987	11 704	20 352	30 062	38 680	
0,26	0,32	0,357	0,391	0,406	0,461	0,513	0,548	

Потери от трения, кгс/м ² на 1 м	Количество тепла Q, проходящего по трубе, ккал/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
2,2	51,1	81	194	346	747	1118	2204	4141
	0,107	0,119	0,15	0,168	0,207	0,235	0,28	0,317
2,4	53	84	204	360	778	1166	2291	4327
	0,112	0,124	0,157	0,175	0,215	0,245	0,291	0,331
2,6	55,6	88	212	376	809	1214	2378	4513
	0,117	0,13	0,164	0,182	0,224	0,255	0,302	0,345
2,8	57,5	91	221	398	840	1261	2465	4702
	0,122	0,135	0,171	0,19	0,233	0,265	0,312	0,35
3	60	95	229	404	871	1309	2552	4889
	0,126	0,14	0,177	0,196	0,241	0,276	0,323	0,374
3,2	61,9	98	237	416	902	1357	2640	5043
	0,131	0,145	0,183	0,202	0,25	0,284	0,334	0,386
3,4	64,3	102	245	428	933	1405	2727	5196
	0,135	0,15	0,189	0,208	0,258	0,296	0,345	0,397
3,6	67	106	256	441	964	1444	2814	5350
	0,14	0,156	0,195	0,214	0,267	0,304	0,356	0,409
3,8	68,8	109	260	454	995	1484	2900	5503
	0,144	0,16	0,201	0,22	0,276	0,312	0,367	0,421
4	70,7	112	267	467	1026	1524	2973	5657
	0,148	0,164	0,206	0,226	0,284	0,321	0,376	0,433
4,5	75,1	119	284	498	1090	1623	3155	6015
	0,156	0,175	0,219	0,242	0,301	0,342	0,399	0,46
5	79,6	126	297	530	1149	1710	3336	6339
	0,167	0,186	0,23	0,257	0,318	0,36	0,422	0,485
5,5	84	133	311	561	1210	1788	3517	6666
	0,176	0,196	0,24	0,272	0,335	0,376	0,445	0,51
6	88	139	324	593	1270	1866	3699	6971
	0,185	0,205	0,25	0,288	0,352	0,393	0,468	0,533
6,5	92	146	337	614	1320	1944	3844	7253
	0,194	0,215	0,261	0,298	0,365	0,409	0,486	0,555
7	95,3	151	351	635	1369	2022	3988	7534
	0,201	0,223	0,271	0,308	0,379	0,426	0,504	0,576
7,5	99	157	361	656	1418	2100	4131	7790
	0,208	0,231	0,281	0,318	0,393	0,442	0,522	0,598
8	102,3	162	377	677	1467	2178	4276	8066
	0,215	0,239	0,291	0,328	0,406	0,458	0,54	0,618
8,5	106	168	390	698	1517	2249	4420	8317
	0,223	0,248	0,302	0,338	0,42	0,473	0,559	0,636
9	109,2	173	404	719	1554	2309	4543	8567
	0,23	0,255	0,312	0,348	0,43	0,486	0,574	0,655
9,5	112,4	178	417	739	1593	2370	4665	8819
	0,236	0,262	0,322	0,359	0,441	0,499	0,589	0,675
10	115,6	183	430	759	1632	2431	4788	9035
	0,242	0,269	0,332	0,369	0,452	0,512	0,605	0,691
11	121,2	192	450	801	1709	2553	5033	9467
	0,255	0,283	0,347	0,389	0,473	0,537	0,637	0,724
12	127	201	469	835	1786	2674	5250	9899
	0,266	0,295	0,362	0,405	0,494	0,563	0,664	0,757
13	132	209	488	870	1863	2796	5468	10 241
	0,277	0,308	0,377	0,422	0,516	0,588	0,692	0,783
14	136	216	507	904	1939	2895	5686	10 584
	0,286	0,318	0,392	0,438	0,537	0,609	0,719	0,81
15	141	223	527	938	2017	2995	5903	10 927
	0,295	0,328	0,407	0,455	0,558	0,63	0,746	0,836

движения воды (пара) в трубе v , м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

57 × 3,5	76 × 3	89 × 3,5	102 × 4	108 × 4	133 × 4	152 × 4,5	168 × 5
1962	4674	6924	10 485	12 294	21 392	31 406	40 508
0,275	0,337	0,374	0,411	0,426	0,484	0,536	0,5739
2039	4877	7447	10 940	12 873	22 432	32 751	42 336
0,286	0,352	0,392	0,429	0,445	0,508	0,559	0,5998
2116	5080	7780	11 394	13 452	23 471	34 096	44 164
0,297	0,367	0,409	0,447	0,466	0,531	0,582	0,6257
2194	5283	8064	11 838	13 936	24 511	35 440	45 986
0,307	0,381	0,424	0,464	0,483	0,555	0,605	0,6515
2272	5486	8347	12 274	14 354	25 551	36 785	47 574
0,318	0,396	0,439	0,481	0,498	0,578	0,627	0,674
2349	5688	8630	12 709	14 772	26 303	38 137	49 084
0,329	0,411	0,454	0,498	0,512	0,595	0,65	0,6954
2427	5846	8914	13 073	15 119	27 056	39 475	50 588
0,34	0,423	0,469	0,512	0,527	0,612	0,673	0,7167
2505	6002	9165	13 397	15 609	27 808	40 535	52 098
0,35	0,433	0,482	0,525	0,541	0,629	0,681	0,7381
2581	6160	9417	13 721	16 029	28 560	41 595	53 602
0,361	0,445	0,495	0,538	0,556	0,647	0,71	0,7594
2646	6317	9669	14 045	16 446	29 311	42 656	55 105
0,37	0,456	0,509	0,55	0,57	0,664	0,728	0,7807
2808	6710	10 268	14 856	17 492	31 192	45 308	58 154
0,393	0,484	0,54	0,582	0,607	0,706	0,773	0,8239
2969	7103	10 832	15 666	18 538	33 072	47 960	61 076
0,416	0,513	0,57	0,614	0,643	0,749	0,818	0,8653
3131	7497	11 336	16 476	19 584	34 717	50 179	63 999
0,439	0,541	0,596	0,646	0,679	0,786	0,856	0,9067
3283	7829	11 767	17 286	20 630	36 198	52 398	66 928
0,462	0,565	0,619	0,677	0,715	0,819	0,894	0,9482
3421	8161	12 198	18 097	21 387	37 678	54 618	69 850
0,48	0,589	0,642	0,709	0,742	0,853	0,932	0,9896
3549	8493	12 630	18 907	22 143	39 159	56 337	72 779
0,498	0,613	0,664	0,741	0,768	0,886	0,969	1,0311
3677	8781	13 062	19 598	22 900	40 639	58 965	75 464
0,516	0,634	0,687	0,768	0,794	0,92	1,006	1,069
3805	9069	13 494	20 178	23 656	42 119	60 904	77 925
0,534	0,655	0,71	0,791	0,82	0,953	1,039	1,104
3934	9357	13 925	20 757	24 413	43 306	62 780	80 395
0,553	0,675	0,733	0,813	0,846	0,98	1,071	1,139
4043	9606	14 357	21 336	25 169	44 493	64 598	82 654
0,568	0,693	0,755	0,836	0,873	1,007	1,102	1,171
4152	9826	14 807	21 915	25 920	45 680	66 369	84 983
0,583	0,709	0,778	0,859	0,899	1,034	1,132	1,204
4261	10 047	15 220	22 495	26 824	46 867	68 090	87 171
0,599	0,725	0,801	0,882	0,93	1,061	1,161	1,235
4479	10 488	16 084	23 653	28 133	49 240	71 415	91 406
0,63	0,757	0,846	0,927	0,975	1,115	1,218	1,295
4673	10 929	16 951	24 812	29 384	51 415	74 594	95 500
0,657	0,789	0,892	0,972	1,019	1,164	1,272	1,353
4867	11 371	17 643	26 020	30 585	53 513	77 637	99 382
0,685	0,821	0,928	1,02	1,06	1,211	1,324	1,408
5060	11 812	18 308	27 003	31 738	55 532	80 589	103 123
0,712	0,853	0,963	1,058	1,1	1,257	1,374	1,461
5253	12 253	18 951	27 949	32 855	57 481	83 401	106 723
0,739	0,884	0,997	1,095	1,139	1,301	1,423	1,512

Потери от трения, кгс/м ² на 1 м	Количество тепла Q , проходящего по трубе, ккал/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
16	145 0,304	229 0,338	546 0,422	972 0,471	2079 0,575	3095 0,651	6093 0,77	11 269 0,862
17	149 0,313	236 0,348	565 0,436	1000 0,485	2140 0,592	3149 0,672	6283 0,794	11 611 0,888
18	154 0,332	243 0,358	584 0,451	1028 0,499	2201 0,609	3294 0,693	6473 0,818	11 953 0,914
19	157 0,33	249 0,367	599 0,463	1056 0,512	2263 0,626	3427 0,721	6654 0,841	12 296 0,941
20	162 0,339	256 0,377	614 0,474	1084 0,526	2325 0,643	3513 0,739	6823 0,862	12 638 0,967
22	171 0,357	270 0,397	643 0,497	1141 0,553	2448 0,678	3684 0,775	7159 0,904	13 323 1,019
24	179 0,375	283 0,417	673 0,52	1197 0,581	2572 0,712	3808 0,801	7476 0,944	14 008 1,071
26	186 0,392	296 0,436	702 0,542	1240 0,602	2671 0,739	3965 0,834	7782 0,983	14 693 1,124
28	195 0,41	310 0,456	732 0,565	1284 0,623	2770 0,767	4113 0,865	8076 1,02	15 215 1,164
30	200 0,423	319 0,47	756 0,584	1327 0,644	2869 0,794	4260 0,896	8359 1,056	15 749 1,205
32	207 0,436	329 0,484	780 0,602	1372 0,655	2969 0,821	4408 0,928	8634 1,08	16 266 1,244
34	212 0,449	338 0,499	804 0,621	1415 0,686	3067 0,849	4546 0,957	8900 1,124	16 768 1,283
36	219 0,462	348 0,513	828 0,64	1458 0,708	3153 0,873	4684 0,986	9157 1,156	17 252 1,32
38	225 0,474	358 0,527	852 0,658	1502 0,729	3239 0,896	4822 1,015	9409 1,188	17 726 1,356
40	232 0,487	367 0,541	876 0,677	1545 0,754	3325 0,92	4960 1,044	9652 1,219	18 186 1,391
45	246 0,519	391 0,577	924 0,714	1588 0,8	3539 0,978	5092 1,073	10 239 1,293	19 285 1,476
50	261 0,551	415 0,612	972 0,751	1730 0,843	3707 1,031	5541 1,166	10 791 1,362	20 333 1,555
Трубопроводы парового отопления								
0,5	425 2,62	674 2,9	1284 2,95	2034 2,98	4490 3,65	6830 4,2	17 739 5,3	25 522 5,7
0,55	433 2,66	686 2,95	1351 3,05	2174 3,1	4736 3,85	7155 4,4	18 575 5,55	27 089 6,05
0,6	440 2,7	697 3	1396 3,15	2244 3,2	4982 4,05	7562 4,65	19 579 5,85	28 209 6,3
0,65	448 2,75	709 3,05	1440 3,25	2350 3,35	5228 4,25	7806 4,8	20 416 6,1	29 328 6,55
0,7	455 2,79	721 3,1	1484 3,35	2455 3,5	5413 4,4	8050 4,95	21 420 6,4	30 672 6,85
0,75	462 2,84	732 3,15	1506 3,4	2560 3,65	5659 4,6	8375 5,15	22 257 6,65	32 015 7,15
0,8	470 2,88	744 3,2	1528 3,45	2665 3,8	5843 4,75	8619 5,3	22 926 6,85	33 134 7,4
0,85	477 2,93	756 3,25	1551 3,5	2735 3,9	6028 4,9	8944 5,5	23 428 7	34 030 7,6

движения воды (пара) в трубе u , м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

57 × 3,5	76 × 3	89 × 3,5	102 × 4	108 × 4	133 × 4	152 × 4,5	168 × 5
5423	12 694	19 573	28 886	33 931	59 367	86 133	110 252
0,763	0,916	1,03	1,131	1,176	1,344	1,469	1,562
5592	13 136	20 175	29 754	34 975	61 196	88 782	113 640
0,787	0,948	1,061	1,166	1,213	1,385	1,514	1,61
5761	13 577	20 780	30 619	35 990	62 967	91 356	116 958
0,811	0,98	1,092	1,2	1,248	1,425	1,558	1,657
5922	14 018	21 329	31 457	36 925	64 695	93 860	120 134
0,834	1,012	1,122	1,233	1,28	1,464	1,601	1,702
6072	14 417	21 882	32 272	37 934	66 374	96 299	123 240
0,854	1,041	1,151	1,265	1,315	1,502	1,643	1,746
6371	15 121	22 950	33 849	39 792	69 612	101 001	129 310
0,896	1,091	1,207	1,327	1,38	1,576	1,723	1,832
6654	15 793	23 972	35 354	41 557	72 709	106 498	135 027
0,936	1,14	1,261	1,386	1,441	1,646	1,799	1,913
6926	16 437	24 951	36 799	43 252	75 678	109 801	140 533
0,975	1,186	1,312	1,442	1,5	1,713	1,873	1,991
7187	17 057	25 892	38 187	44 884	78 536	113 952	145 827
1,012	1,231	1,362	1,497	1,556	1,778	1,944	2,066
7440	17 656	26 803	39 529	46 460	81 293	117 951	150 979
1,048	1,274	1,41	1,549	1,611	1,84	2,012	2,139
7684	18 235	27 681	40 826	47 986	83 957	121 815	155 920
1,082	1,316	1,456	1,6	1,664	1,9	2,078	2,209
7921	18 796	28 533	42 081	49 462	86 516	125 567	160 719
1,116	1,357	1,501	1,649	1,715	1,950	2,142	2,277
8150	19 342	29 360	43 301	50 896	89 051	129 208	165 379
1,148	1,396	1,544	1,697	1,765	2,016	2,204	2,343
8374	19 871	30 164	44 484	52 292	91 499	132 749	169 825
1,179	1,434	1,587	1,743	1,813	2,071	2,264	2,407
8590	20 388	30 949	45 643	53 650	93 870	136 196	174 343
1,21	1,472	1,628	1,789	1,86	2,125	2,323	2,47
9112	21 625	32 826	48 412	56 904	99 565	144 157	184 860
1,284	1,561	1,727	1,897	1,973	2,254	2,464	2,619
9604	22 795	34 601	51 033	59 984	104 950	152 273	194 883
1,352	1,645	1,82	2	2,08	2,376	2,597	2,761

низкого давления при $k = 0,2$ мм

11 615	28 916	44 223	65 045	76 974	136 044	197 591	243 919
4,8	6,1	6,8	7,45	7,8	9	9,85	10,1
12 340	30 338	46 184	68 538	80 428	142 090	208 624	254 787
5,1	6,4	7,1	7,85	8,15	9,4	10,4	10,55
12 945	31 997	48 136	71 593	84 376	148 893	217 651	265 654
5,35	6,75	7,4	8,2	8,55	9,85	10,85	11
13 550	33 182	50 087	74 649	88 328	154 939	227 681	276 522
5,6	7	7,7	8,55	8,96	10,25	11,35	11,45
14 034	34 604	52 364	77 705	92 270	160 985	236 708	288 597
5,8	7,3	8,05	8,9	9,35	10,65	11,8	11,95
14 639	35 789	54 315	80 761	95 231	167 032	244 732	299 465
6,05	7,55	8,35	9,25	9,65	11,05	12,2	12,4
15 123	37 211	56 267	83 380	98 192	173 078	252 756	310 333
6,25	7,85	8,65	9,55	9,95	11,45	12,6	12,85
15 728	38 396	58 218	86 436	101 152	176 101	260 780	322 408
6,5	8,1	8,95	9,9	10,25	11,65	13	13,35

Потери от трения, кгс/м² на 1 м	Количество тепла Q , проходящего по трубе, ккал/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
0,9	484	767	1595	2841	6212	9188	24 432	34 925
	2,97	3,3	3,6	4,05	5,05	5,65	7,3	7,8
0,95	492	779	1639	2911	6397	9513	25 102	36 045
	3,02	3,35	3,7	4,15	5,2	5,85	7,5	8,05
1	499	790	1706	3016	6581	9757	25 771	36 940
	3,07	3,4	3,85	4,3	5,35	6	7,7	8,25
1,1	521	825	1794	3191	6889	10 326	27 277	38 955
	3,2	3,55	4,05	4,55	5,6	6,35	8,15	8,7
1,2	535	848	1883	3332	7198	10 896	28 449	40 298
	3,29	3,65	4,25	4,75	5,85	6,7	8,5	9
1,3	550	872	1971	3472	7504	11 383	29 620	42 089
	3,37	3,75	4,45	4,95	6,1	7	8,85	9,4
1,4	565	895	2038	3612	7750	11 790	30 959	43 657
	3,47	3,85	4,6	5,15	6,3	7,25	9,25	9,75
1,5	587	930	2127	3752	8057	12 197	32 130	45 448
	3,6	4	4,8	5,35	6,55	7,5	9,6	10,15
1,6	594	941	2193	3893	8303	12 603	33 134	47 015
	3,65	4,05	4,95	5,55	6,75	7,75	9,9	10,5
1,7	609	965	2282	3998	8611	13 010	34 138	48 582
	3,74	4,15	5,15	5,7	7	8	10,2	10,85
1,8	624	988	2348	4138	8857	13 416	35 142	50 149
	3,83	4,25	5,3	5,9	7,2	8,25	10,5	11,2
1,9	632	1011	2415	4278	9177	13 823	35 979	51 716
	3,92	4,35	5,45	6,1	7,45	8,5	10,75	11,55
2	660	1046	2481	4454	9472	14 229	36 983	53 283
	4,06	4,5	5,6	6,35	7,7	8,75	11,05	11,9
2,2	689	1092	2614	4629	10 026	15 042	38 824	55 746
	4,23	4,7	5,9	6,6	8,15	9,25	11,6	12,45
2,4	719	1139	2747	4839	10 456	15 693	40,665	58 433
	4,42	4,9	6,2	6,9	8,5	9,65	12,15	13,05
2,6	748	1185	2858	5015	10 825	16 343	42 506	60 895
	4,58	5,1	6,45	7,15	8,8	10,05	12,7	13,6
2,8	767	1232	2968	5225	11 256	16 994	44 179	63 358
	4,77	5,3	6,7	7,45	9,15	10,45	13,2	14,15
3	797	1278	3079	5401	11 686	17 644	45 852	65 821
	4,95	5,5	6,95	7,7	9,5	10,85	13,7	14,7
3,2	836	1325	3190	5576	12 117	18 295	47 359	68 060
	5,14	5,7	7,2	7,95	9,85	11,25	14,15	15,2
3,4	865	1371	3301	5751	12 487	18 945	48 865	70 074
	5,32	5,9	7,45	8,2	10,15	11,65	14,6	15,65
3,6	895	1418	3390	5892	12 916	19 433	50 371	72 089
	5,49	6,1	7,65	8,4	10,5	11,95	15,05	16,1
3,8	924	1464	3500	6067	13 348	20 002	51 877	74 104
	5,67	6,03	7,9	8,65	10,8	12,3	15,5	16,55
4	946	1499	3589	6242	13 778	20 490	53 383	76 343
	5,82	6,45	8,1	8,9	11,2	12,6	15,95	17,05
4,5	1013	1604	3882	6663	14 577	21 872	56 730	81 045
	6,22	6,9	8,65	9,5	11,85	13,45	16,95	18,1
5	1078	1708	3987	7084	15 377	23 011	59 742	85 552
	6,62	7,35	9	10,1	12,5	14,16	17,85	19,1
5,5	1130	1790	4187	7505	16 176	24 068	62 754	90 000
	6,84	7,7	9,45	10,7	13,15	14,8	18,75	20,1

движения воды (пара) в трубе v , м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

$57 \times 3,5$	76×3	$89 \times 3,5$	102×4	108×4	133×4	$152 \times 4,5$	168×5
16 212	39 344	60 169	89 055	104 606	185 171	267 801	333 276
6,6	8,3	9,25	10,2	10,6	12,25	13,35	13,8
16 817	40 530	61 796	91 238	107 567	189 706	273 819	344 143
6,95	8,55	9,5	10,45	10,9	12,55	13,65	14,25
17 301	41 478	63 422	93 857	110 527	194 996	280 840	352 596
7,15	8,75	9,75	10,75	11,2	12,9	14	14,6
18 148	43 374	66 349	98 659	115 955	205 578	292 876	369 501
7,5	9,15	10,2	11,3	11,75	13,6	14,6	15,3
18 995	45 507	69 601	103 461	121 383	212 380	305 915	386 506
7,85	9,6	10,7	11,85	12,3	14,05	15,25	16
19 842	47 403	72 529	107 827	126 810	222 961	318 964	403 312
8,2	10	11,15	12,35	12,85	14,75	15,9	16,7
20 688	49 536	75 781	111 756	131 744	232 031	331 993	420 217
8,55	10,45	11,65	12,8	13,35	15,35	16,55	17,4
21 414	51 669	78 383	116 121	136 185	238 833	344 029	437 122
8,85	10,9	12,05	13,3	13,8	15,8	17,15	18,1
22 261	53 091	80 985	120 050	141 120	246 391	357 068	452 820
9,2	11,2	12,45	13,75	14,3	16,3	17,8	18,75
22 987	54 750	83 587	123 106	145 560	263 193	370 107	467 310
9,5	11,55	12,85	14,1	14,75	16,75	18,45	19,35
23 713	56 410	86 189	127 471	149 508	259 995	383 146	480 593
9,8	11,9	13,25	14,6	15,15	17,2	19,1	19,9
24 439	58 069	88 791	130 964	153 455	266 797	396 185	492 668
10,1	12,25	13,65	15	15,55	17,65	19,75	20,4
25 044	59 728	91 392	134 456	157 896	274 355	405 212	505 951
10,35	12,6	14,05	15,4	16	18,15	20,2	20,95
26 375	63 046	95 621	141 004	165 297	287 960	423 266	532 517
10,9	13,3	14,7	16,15	16,75	19,05	21,1	22,05
27 464	65 653	100 174	147 116	173 192	302 320	441 320	557 874
11,35	13,85	15,4	16,85	17,55	20	22	23,1
28 552	68 497	104 727	153 227	181 087	315 924	459 374	582 025
11,8	14,45	16,1	17,55	18,35	20,9	22,9	24,1
29 520	71 105	108 630	159 339	187 502	330 285	477 428	603 760
12,2	15	16,7	18,25	19	21,85	23,8	25
30 609	73 949	112 533	165 451	193 423	343 889	495 482	625 495
12,65	15,6	17,3	18,95	19,6	22,75	24,7	25,9
31 698	76 556	116 111	171 126	198 850	354 470	513 536	646 023
13,1	16,15	17,85	19,6	20,15	23,45	25,6	26,75
32 666	78 689	120 014	175 928	204 771	364 296	531 590	667 759
13,5	16,6	18,45	20,15	20,75	24,1	26,5	27,65
33 755	80 822	123 266	180 293	210 199	374 121	545 632	689 494
13,95	17,05	18,95	20,65	21,3	24,75	27,2	28,55
34 723	82 955	126 844	184 659	215 627	384 702	559 674	706 399
14,35	17,5	19,5	21,15	21,85	25,45	27,9	29,25
35 691	85 088	130 096	189 024	221 548	394 528	574 719	723 304
14,75	17,95	20	21,65	22,45	26,1	28,65	29,95
37 868	90 303	138 227	199 938	235 364	420 225	609 824	766 775
15,65	19,05	21,25	22,9	23,85	27,8	30,4	31,75
40 046	95 754	145 708	210 851	249 673	445 166	645 932	809 038
16,55	20,2	22,4	24,15	25,3	29,45	32,2	33,5
42 224	100 968	152 538	221 765	263 489	455 747	676 022	852 509
17,45	21,3	23,45	25,4	26,7	30,15	33,7	35,3

Потери от трения, кгс/м^2 на 1 м	Количество тепла Q , проходящего по трубе, ккал/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
6	1189	1883	4364	7925	17 037	25 125	65 934	94 030
	7,3	8,1	9,85	11,3	13,85	15,45	19,7	21
6,5	1240	1964	4541	8206	17 714	26 182	68 444	97 836
	7,52	8,45	10,25	11,7	14,4	16,1	20,45	21,85
7	1284	2034	4718	8487	18 329	27 239	71 122	101 642
	7,88	8,75	10,65	12,1	14,9	16,75	21,25	22,7
7,5	1335	2115	4873	8767	19 006	28 296	73 632	106 224
	8,2	9,1	11	12,5	15,45	17,4	22	23,5
8	1379	2185	5073	9008	19 682	29 353	76 309	108 806
	8,45	9,4	11,45	12,9	16	18,05	22,8	24,3
8,5	1430	2266	5250	9288	20 297	30 247	78 485	112 164
	8,77	9,75	11,85	13,3	16,5	18,6	23,45	25,05
9	1469	2324	5427	9567	20 850	31 060	80 828	115 522
	8,9	10	12,25	13,67	16,95	19,1	24,15	25,8
9,5	1511	2394	5626	9847	21 343	31 955	83 003	118 880
	9,3	10,3	12,7	14,1	17,35	19,65	24,8	26,55
10	1571	2464	5804	10 126	21 835	32 768	85 346	121 791
	9,6	10,6	13,1	14,5	17,75	20,15	25,5	27,2
11	1629	2580	6047	10 685	22 881	34 394	89 864	127 612
	10	11,1	13,65	15,3	18,6	21,15	26,85	27,5
12	1701	2696	6313	11 139	23 926	36 020	93 713	133 432
	10,42	11,6	14,25	15,95	19,45	22,15	28	29,8
13	1783	2824	6579	11 592	24 972	37 647	97 564	138 134
	11	12,15	14,85	16,6	20,3	23,15	29,15	30,85
14	1834	2905	6823	12 011	25 956	38 947	101 244	142 612
	11,32	12,5	15,4	17,2	21,1	23,95	30,25	31,85
15	1890	2998	7088	12 500	27 002	43 030	104 758	147 313
	11,6	12,9	16	17,9	21,95	24,8	31,3	32,9
16	1951	3091	7354	12 954	27 863	41 631	108 607	151 179
	12	13,3	16,6	18,55	22,65	25,6	32,45	33,9
17	2010	3184	7620	13 338	28 662	43 013	111 954	156 492
	12,3	13,7	17,2	19,1	23,3	26,45	33,45	34,95
18	2069	3277	7864	13 687	29 462	44 314	115 133	160 970
	12,7	14,1	17,75	19,6	23,95	27,25	34,4	35,95
19	2120	3358	8063	14 072	30 323	46 184	118 313	165 671
	13	14,45	18,2	20,15	24,65	28,7	35,35	37
20	2178	3451	8263	14 456	31 122	47 322	121 325	170 373
	13,35	14,85	18,65	20,7	25,3	29,1	36,25	38,05

В приложении 2 дана номограмма для расчета трубопроводов систем водяного отопления по методу эквивалентных сопротивлений. Номограмма состоит из двух частей: левая — сетчатая, а правая — из помеченных точек. На сетчатой номограмме по оси абсцисс нанесены расходы G , а по оси ординат — потери давления в трубе p_n . На наклонных параллельных прямых помечены значения гидравлического критерия μ . На кривых даны длины труб участков l . На этой же номограмме находится ордината величины $1000 M = \alpha$, которая сносится вправо на вертикальную шкалу α . При заданной величине расхода на участке и величине потери давления легко определяется критерий μ , а затем по известной сумме к.м.с. $\Sigma \zeta$ на вертикальной шкале определяется искомый диаметр трубы d .

Сущность гидравлического расчета по предложенной номограмме заключается в том, что, зная заранее требуемую величину потери давления на участке p_n , иско-

движения воды (пара) в трубе v , м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

57×3,5	76×3	89×3,5	102×4	108×4	133×4	152×4,5	168×5
44 401	105 472	158 392	232 678	277 798	487 491	705 109	894 772
18,35	22,25	24,35	26,65	28,15	32,25	35,15	37,05
46 095	109 975	164 246	243 592	288 160	507 142	735 199	933 413
19,05	23,2	25,25	27,9	29,2	33,55	36,66	38,65
47 989	114 241	170 101	254 606	298 029	527 548	765 289	966 016
19,75	24,1	26,15	29,15	30,2	34,9	38,15	40
49 483	118 270	179 955	263 763	308 391	547 099	793 373	998 619
20,45	24,95	27,05	30,2	31,25	36,2	39,55	41,35
51 298	122 063	181 809	271 531	318 753	566 850	820 454	1 032 430
21,2	25,75	27,95	31,1	32,3	37,5	40,9	42,75
52 991	126 092	187 338	279 389	328 621	583 478	845 529	1 065 033
21,9	26,6	28,8	32	33,3	38,6	42,15	44,1
54 443	129 410	193 193	287 247	338 983	599 349	869 601	1 097 636
22,5	27,3	29,7	32,9	34,35	39,65	43,35	45,45
55 895	132 254	199 047	295 104	349 345	615 221	893 673	1 131 446
23,1	27,9	30,6	33,8	35,4	40,7	44,55	46,86
57 347	135 336	204 901	302 962	351 187	631 093	916 742	1 160 427
23,8	28,55	31,5	34,7	36,6	41,75	45,7	48,05
60 372	141 261	216 610	318 678	368 950	662 837	961 877	1 213 558
24,95	29,8	33,3	36,5	38,4	43,85	47,95	50,25
62 912	147 186	233 622	333 957	395 727	692 313	1 006 006	1 266 688
26	31,05	35,1	38,25	40,1	45,8	50,1	52,45
67 510	153 112	237 425	350 546	412 010	720 277	1 045 126	1 319 819
27,3	32,3	36,5	40,15	41,75	47,65	52,1	54,65
68 115	159 037	246 532	363 642	427 306	747 486	1 085 246	1 375 365
28,15	35,56	37,9	41,65	43,3	49,45	54,1	56,95
70 776	164 962	255 310	376 302	442 602	773 939	1 123 360	1 420 044
29,25	34,8	39,25	43,1	44,85	51,2	56	58,8
73 075	170 889	263,444	388 525	456 912	799 636	1 159 468	1 465 929
30,2	36,05	40,5	44,5	46,3	52,9	57,8	60,7
75 374	176 813	271 575	400 748	471 221	823 822	1 195 576	1 511 815
31,15	37,3	41,75	45,9	47,75	54,5	59,6	62,6
77 551	182 739	279 381	412 098	484 543	848 008	1 229 678	1 557 701
32,05	38,55	42,95	47,2	49,1	56,1	61,3	64,5
79 729	188 664	287 187	423 449	497 372	871 437	1 263 780	1 602 379
32,95	39,8	44,15	48,5	50,4	57,65	63	66,35
81 786	194 115	294 067	434 362	510 695	893 356	1 296 879	1 642 227
33,8	40,95	45,3	49,75	51,75	59,1	64,65	68

мый диаметр трубы d будет окончательным при известном расходе G и неизменном значении $\Sigma\zeta$ без повторных пересчетов участков циркуляционного кольца. Однако те участки, где $\Sigma\zeta$ изменяется в зависимости от диаметра труб, их приходится рассчитывать повторно.

Пример III.15. Дано: расход воды $G = 1000$ кг/ч, потери давления в трубе $p_n = 50$ кгс/м², длина трубы $l = 22$ м и сумма к.м.с. $\Sigma\zeta = 4$.

По номограмме (приложение 2) находим $d = 40$ мм при значении $\mu = 50$. Ход расчета показан линиями $A \rightarrow B \rightarrow B' \rightarrow \Gamma \leftarrow D$.

По номограмме можно решать и обратную задачу, т.е. при известных d , μ , $\Sigma\zeta$ и заданном расходе воды G определить величину потери давления в трубе p_n .

Результат гидравлического расчета по номограмме удобно записывать в таблицу (табл. III.62).

Таблица III. 61. Потери давления Z , кгс/м², в местных сопротивлениях при расчете трубопроводов систем отопления

Скорость движения воды (пара), м/с	Сумма единиц коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Системы водяного отопления										
0,025	0,031	0,063	0,094	0,125	0,157	0,188	0,219	0,251	0,282	0,313
0,03	0,045	0,09	0,135	0,18	0,226	0,271	0,316	0,361	0,406	0,451
0,035	0,061	0,123	0,184	0,246	0,307	0,368	0,43	0,491	0,553	0,614
0,04	0,08	0,16	0,241	0,321	0,401	0,481	0,561	0,642	0,722	0,802
0,045	0,102	0,203	0,304	0,406	0,507	0,609	0,71	0,812	0,913	1,015
0,05	0,125	0,251	0,376	0,501	0,626	0,752	0,877	1,002	1,128	1,253
0,055	0,15	0,3	0,45	0,61	0,76	0,91	1,06	1,21	1,36	1,52
0,06	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9	1,08	1,26	1,44	1,62	1,8
0,065	0,21	0,42	0,64	0,85	1,06	1,27	1,48	1,69	1,91	2,12
0,07	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,72	1,96	2,21	2,46
0,075	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,69	1,97	2,26	2,54	2,82
0,08	0,32	0,64	0,96	1,28	1,6	1,92	2,25	2,57	2,89	3,21
0,085	0,36	0,72	1,09	1,45	1,81	2,17	2,53	2,9	3,26	3,62
0,09	0,41	0,81	1,22	1,62	2,03	2,44	2,81	3,25	3,65	4,06
0,095	0,45	0,9	1,36	1,81	2,26	2,71	3,17	3,62	4,07	4,52
0,1	0,5	1	1,5	2	2,51	3,01	3,51	4,01	4,51	5,01
0,105	0,55	1,11	1,66	2,21	2,76	3,32	3,87	4,42	4,97	5,53
0,11	0,61	1,21	1,82	2,43	3,03	3,64	4,24	4,85	5,46	6,06
0,115	0,66	1,33	1,99	2,65	3,31	3,98	4,64	5,3	5,96	6,63
0,12	0,72	1,44	2,16	2,89	3,51	4,33	5,05	5,77	6,49	7,22
0,125	0,78	1,57	2,35	3,13	3,92	4,7	5,48	6,26	7,05	7,84
0,13	0,85	1,69	2,54	3,39	4,23	5,08	5,93	6,78	7,62	8,47
0,135	0,91	1,83	2,74	3,65	4,57	5,48	6,39	7,31	8,22	9,13
0,14	0,98	1,96	2,95	3,93	4,91	5,89	6,88	7,86	8,84	9,82
0,145	1,05	2,11	3,16	4,21	5,27	6,32	7,38	8,43	9,48	10,54
0,15	1,13	2,26	3,38	4,51	5,64	6,77	7,89	9,02	10,15	11,28
0,155	1,2	2,41	3,61	4,82	6,02	7,22	8,43	9,63	10,84	12,04
0,16	1,28	2,57	3,85	5,13	6,41	7,7	8,98	10,26	11,55	12,83
0,165	1,36	2,73	4,09	5,46	6,82	8,19	9,55	10,92	12,28	13,64
0,17	1,45	2,9	4,34	5,79	7,24	8,69	10,14	11,59	13,03	14,48
0,175	1,53	3,07	4,6	6,14	7,67	9,21	10,7	12,3	13,8	15,3
0,18	1,62	3,25	4,87	6,49	8,12	9,74	11,4	13	14,6	16,2
0,185	1,72	3,43	5,15	6,86	8,58	10,3	12	13,7	15,4	17,2
0,19	1,81	3,62	5,43	7,24	9,05	10,9	12,7	14,5	16,3	18,1
0,195	1,91	3,81	5,72	7,62	9,53	11,4	13,3	15,2	17,2	19,1
0,2	2	4,01	6,01	8,02	10	12	14	16	18	20
0,205	2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	19	21,1
0,21	2,2	4,4	6,6	8,8	11,1	13,3	15,5	17,7	19,9	22,1
0,215	2,3	4,6	6,9	9,3	11,6	13,9	16,2	18,5	20,8	23,2
0,22	2,4	4,9	7,3	9,7	12,1	14,6	17	19,4	21,8	24,3
0,225	2,5	5,1	7,6	10,1	12,7	15,2	17,8	20,3	22,8	25,4
0,23	2,7	5,3	8	10,6	13,3	15,9	18,6	21,2	23,9	26,5
0,235	2,8	5,5	8,3	11,1	13,8	16,6	19,4	22,1	24,9	27,7
0,24	2,9	5,8	8,7	11,5	14,4	17,3	20,2	23,1	26	28,9
0,245	3	6	9	12	15	18	21,1	24,1	27,1	30,1
0,25	3,1	6,3	9,4	12,5	15,7	18,8	21,9	25,1	28,2	31,3
0,255	3,3	6,5	9,8	13	16,3	19,6	22,8	26,1	29,3	32,6
0,26	3,4	6,8	10,2	13,6	16,9	20,3	23,7	27,1	30,5	33,9
0,265	3,5	7	10,6	14,1	17,6	21,1	24,6	28,2	31,7	35,2
0,27	3,7	7,3	11	14,6	18,3	21,9	25,6	29,2	32,9	36,5
0,275	3,8	7,6	11,4	15,2	18,9	22,7	26,5	30,3	34,1	37,9
0,28	3,9	7,9	11,8	15,7	19,6	23,6	27,5	31,4	35,4	39,3
0,285	4,1	8,1	12,2	16,3	20,4	24,4	28,5	32,6	36,6	40,7
0,29	4,2	8,4	12,6	16,9	21,1	25,3	29,5	33,7	37,9	42,1
0,295	4,4	8,7	13,1	17,4	21,8	26,2	30,5	34,9	39,3	43,6
0,3	4,5	9	13,5	18	22,6	27,1	31,6	36,1	40,6	45,1
0,305	4,7	9,3	14	18,6	23,3	28	32,6	37,3	42	46,6
0,31	4,8	9,6	14,4	19,3	24,1	28,9	33,7	38,5	43,3	48,2
0,315	5	9,9	14,9	19,9	24,9	29,8	34,8	39,8	44,8	49,7
0,32	5,1	10,3	15,4	20,5	25,7	30,8	35,9	41,1	46,2	51,3
0,325	5,3	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	37,1	42,3	47,6	52,9
0,33	5,5	10,9	16,4	21,8	27,3	32,7	38,2	43,7	49,1	54,6
0,335	5,6	11,2	16,9	22,5	28,1	33,7	39,4	45	50,6	56,2
0,34	5,8	11,6	17,4	23,2	29	34,8	40,6	46,3	52,1	57,9
0,345	6	11,9	17,9	23,9	29,8	35,8	41,8	47,7	53,7	59,6
0,35	6,1	12,3	18,4	24,6	30,7	36,8	43	49,1	55,3	61,4
0,355	6,3	12,6	18,9	25,3	31,6	37,9	44,2	50,5	56,8	63,2
0,36	6,5	13	19,5	26	32,5	39	45,5	52	58,5	65
0,365	6,7	13,4	20	26,7	33,4	40,1	46,7	53,4	60,1	66,8
0,37	6,9	13,7	20,6	27,4	34,3	41,2	48	54,9	61,7	68,6
0,375	7	14,1	21,1	28,2	35,2	42,3	49,3	56,4	63,4	70,5

Скорость движения воды (пара), м/с	Сумма единиц коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \zeta$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,38	7,2	14,5	21,7	28,9	36,2	43,4	50,7	57,9	65,1	72,4
0,385	7,4	14,9	22,3	29,7	37,1	44,6	52	59,7	66,9	74,3
0,39	7,6	15,2	22,9	30,5	38,1	45,7	53,4	61	68,6	76,2
0,395	7,8	15,6	23,5	31,3	39,1	46,9	54,4	62,6	70,4	78,2
0,4	8	16	24,1	32,1	40,1	48,1	56,1	64,1	72,2	80,2
0,405	8,2	16,4	24,7	32,9	41,1	49,3	57,5	65,8	74	82,2
0,41	8,4	16,8	25,3	33,7	42,1	50,5	59	67,4	75,8	84,2
0,415	8,6	17,3	25,9	34,5	43,2	51,8	60,4	69	77,7	86,3
0,42	8,8	17,7	26,5	35,4	44,2	53	61,9	70,7	79,6	88,4
0,425	9,1	18,1	27,2	36,2	45,3	54,3	63,4	72,4	81,5	90,5
0,43	9,3	18,5	27,8	37,1	46,3	55,6	64,9	74,1	83,4	92,7
0,435	9,5	19	28,4	37,9	47,4	56,9	66,4	75,6	85,3	94,8
0,44	9,7	19,4	29,1	38,8	48,5	58,2	67,9	77,9	87,3	97
0,445	9,9	19,8	29,8	39,7	49,6	59,5	69,5	79,4	89,3	99,2
0,45	10,1	20,3	30,4	40,6	50,7	60,9	71	81,2	92,3	101,5
0,455	10,4	20,8	31,1	41,5	51,9	62,3	72,6	83	93,4	103,8
0,46	10,6	21,2	32,2	42,4	53	63,6	74,2	84,8	95,4	106
0,465	10,8	21,7	32,5	43,3	54,2	65	75,9	86,7	97,5	108,4
0,47	11,1	22,1	33,2	44,3	55,4	66,4	77,5	88,6	99,6	110,7
0,475	11,3	22,6	33,9	45,2	56,5	67,8	79,1	90,5	101,8	113,1
0,48	11,5	23,1	34,6	46,2	57,7	69,3	80,8	92,4	103,9	115,5
0,485	11,8	23,6	35,4	47,2	58,9	70,7	82,5	94,3	106,1	117,9
0,49	12	24,1	36,1	48,1	60,2	72,2	84,2	96,2	108,3	120,3
0,495	12,3	24,6	36,8	49,1	61,4	73,7	86	98,2	110,5	122,8
0,5	12,5	25,1	37,6	50,1	62,6	75,2	87,7	100,2	112,8	125,3
0,51	13	26,1	39,1	52,1	65,2	78,2	91,2	104,3	117,3	130,4
0,52	13,6	27,1	40,7	54,2	67,8	81,3	94,9	108,4	122	135,5
0,53	14,1	28,2	42,2	56,3	70,4	84,5	98,5	112,6	126,7	140,8
0,54	14,6	29,2	43,8	58,5	73,1	87,7	102,3	116,9	131,5	146,1
0,55	15,2	30,3	45,5	60,6	75,8	91	106,1	121,3	136,4	151,6
0,56	15,7	31,4	47,1	62,9	78,6	94,3	110	125,7	141,4	157,2
0,57	16,3	32,6	48,8	65,1	81,4	97,7	114	130,3	146,5	162,8
0,58	16,9	33,7	50,6	67,4	84,3	101,2	118	134,9	151,7	168,6
0,59	17,4	34,9	52,3	69,8	87,2	104,7	122,1	139,6	157	174,4
0,6	18	36,1	54,1	72,2	90,2	108,2	126,3	144,3	162,3	180,4
0,61	18,7	37,3	56	74,6	93,3	111,9	130,6	149,2	167,9	186,5
0,62	19,3	38,5	57,8	77,1	96,3	115,6	134,8	154,1	173,4	192,6
0,63	19,9	39,8	59,7	79,6	99,5	119,3	139,2	159,1	176,6	198,9
0,64	20,5	41,1	61,6	82,1	102,6	123,2	143,7	164,2	184,7	205,3
0,65	21,2	42,2	63,5	84,7	105,9	127	148,2	169,4	190,6	211,7
0,66	21,8	43,7	65,5	87,3	109,2	131	152,8	174,6	196,5	218,3
0,67	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225
0,68	23,2	46,3	69,5	92,7	115,9	139	162,2	185,4	208,6	231,7
0,69	23,9	47,7	71,6	95,4	119,3	143,2	167	190,9	214,7	238,6
0,7	24,6	49,1	73,7	98,2	122,8	147,3	171,9	196,4	221	245,6
0,71	25,3	50,5	75,8	101,1	126,3	151,6	176,8	202,1	227,4	252,6
0,72	26	52	77,9	103,9	129,9	155,9	181,9	207,8	233,8	259,8
0,73	26,7	53,3	80,1	106,8	133,5	160,2	186,9	213,6	240,4	267,1
0,74	27,4	54,9	82,3	109,8	137,2	164,7	192,1	219,5	247	274,4
0,75	28,2	56,4	84,6	112,8	141	169,1	197,3	225,5	253,7	281,9
0,76	28,9	57,9	86,8	115,8	144,7	172,9	202,6	231,6	260,5	289,5
0,77	29,7	59,4	89,1	118,9	148,6	173,7	208	237,7	267,4	297,1
0,78	30,5	61	91,5	122	152,5	178,3	213,4	243,9	274,4	304,9
0,79	31,5	62,6	93,8	125,1	156,4	187,7	218,9	250,2	281,5	312,8
0,8	32,1	64,1	96,2	128,3	160,4	192,4	224,5	256,6	288,7	320,7
0,85	36,2	72,4	108,6	144,8	181	217,2	253,5	289,7	325,9	362,1
0,9	40,6	81,2	121,8	162,4	203,6	243,6	284,1	324,7	365,3	405,9
0,95	45,2	90,5	135,7	180,9	226,1	271,4	316,6	361,8	407,1	452,3
1	50	100	150	200	251	301	351	401	451	501
1,05	55	111	166	221	276	332	387	442	497	553
1,1	61	121	182	243	303	364	424	485	546	606
1,15	66	133	199	265	331	398	464	530	596	663
1,2	72	144	216	289	361	433	505	577	649	722
1,25	78	157	235	313	392	470	548	626	705	783
1,3	85	169	254	339	423	508	593	678	762	847
1,35	91	183	274	365	457	548	639	731	822	913
1,4	98	196	295	393	491	589	688	786	884	982
1,45	105	211	316	421	527	632	738	843	948	1054
1,5	113	226	338	451	564	677	789	902	1015	1128
1,55	120	241	361	482	602	722	843	963	1084	1204
1,6	128	257	385	513	641	770	898	1026	1155	1283
1,65	136	273	409	546	682	819	955	1091	1228	1364
1,7	145	290	434	579	724	869	1014	1159	1303	1448
1,75	153	307	460	614	767	921	1074	1228	1381	1535

Скорость движения воды (пара), м/с	Сумма единиц коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \zeta$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,8	162	325	487	649	812	974	1137	1299	1461	1624
1,85	172	343	515	686	858	1029	1201	1372	1544	1715
1,9	181	362	543	724	905	1085	1266	1447	1628	1809
1,95	191	381	572	762	953	1143	1334	1525	1715	1907
2	200	401	601	802	1002	1203	1403	1604	1804	2005
Системы парового отопления низкого давления										
3	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	2	2,3	2,6	2,9
3,5	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
4	0,52	1,04	1,56	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,7	5,2
4,5	0,66	1,32	2	2,66	3,32	4	4,66	5,32	6	6,66
5	0,82	1,64	2,46	3,28	4,1	4,52	5,74	6,56	7,4	8,2
5,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,17	2,34	3,51	4,68	5,85	7,02	8,2	9,37	10,54	11,7
6,5	1,37	2,74	4,11	5,48	6,85	8,22	9,6	10,96	12,33	13,7
7	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16
7,5	1,83	3,66	5,5	7,32	9,15	11	12,8	14,64	16,47	18,3
8	2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	18,9	21
8,5	2,34	4,68	7	9,36	11,7	14,04	16,4	18,7	21,06	23,4
9	2,64	5,28	7,92	10,56	13,2	15,84	18,48	21,12	23,76	26,4
9,5	2,94	5,88	8,82	11,76	14,7	17,64	20,58	23,52	26,46	29,4
10	3,26	6,52	9,78	13,04	16,3	19,56	22,82	26,08	29,34	32,6
10,5	3,6	7,2	10,8	14,4	18	21,6	25,2	28,8	32,4	36
11	3,94	7,88	11,82	15,76	19,7	23,64	27,58	31,52	35,46	39,4
11,5	4,3	8,6	12,9	17,2	21,5	25,8	30,1	34,4	38,7	43
12	4,7	9,4	14,1	18,8	23,5	28,2	32,9	37,6	42,3	47
12,5	5,1	10,2	15,3	20,4	25,5	30,6	35,7	40,8	45,9	51
13	5,5	11	16,5	22	27,5	33	38,5	44	49,5	55
13,5	6	12	18	21	30	36	42	48	54	60
14	6,4	12,8	19,2	25,6	32	38,4	44,8	51,2	57,6	64
14,5	6,85	13,7	20,55	27,4	34,2	41,1	48	54,8	61,65	68,5
15	7,35	14,7	22	29,4	37,6	44,1	51,4	58,8	66,15	73,5
15,5	7,85	15,7	23,55	31,4	39,2	47,1	55	62,8	70,65	78,5
16	8,35	16,7	25	33,4	41,7	50,1	58,4	66,8	75,15	83,5
16,5	8,85	17,7	26,55	35,4	44,2	53,1	62	70,8	79,65	88,5
17	9,4	18,8	28,2	37,6	47	56,4	65,8	72,2	84,6	94
17,5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
18	10,5	21	31,5	42,2	55,2	63	73,5	84	94,5	105
19	11,8	23,6	35,4	47,2	50,9	71	82,6	94,4	106,2	118
20	13	26	39	52	60,5	78	91	104	117	130
21	14,4	28,8	43,2	57,6	70,2	86,4	101	115	126,6	144
22	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
23	17,2	34,4	51,6	68,8	86	103	120,4	137,6	154,8	172
24	19	38	57	76	100	119	138	157	171	190
25	20,4	40,8	61,2	81,6	102,4	122,4	142,8	163,2	183,6	201
26	22	44	66	88	110	132	154	176	198	220
27	23,7	47,4	71	94	118,5	141	165	188,6	212,3	237
28	25,6	51,2	76,8	102,4	128	153,6	179	205	230	256
29	27,4	55	78	110	137	164	192	219	247	274
30	29	58	87	116	145	174	203	232	261	290
31	31	62	93	124	155	186	217	248	279	310
32	33	66	100	133	166	200	233	266	300	333
33	36	71	107	142	178	214	249	285	320	356
34	38	75	113	151	188	226	264	302	339	377
35	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
36	42	84	127	169	211	253	295	338	380	422
37	45	89	134	178	223	267	312	357	401	446
38	47	94	141	188	235	282	329	376	423	470
39	50	99	149	198	248	298	347	397	446	496
40	52	104	156	208	260	312	364	416	468	520
42	57	115	172	230	287	345	402	460	517	575
44	62	125	187	250	312	375	437	500	562	625
46	69	138	207	276	345	414	483	552	611	690
48	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750
50	81	163	244	326	407	489	570	652	733	815
52	88	176	264	352	440	528	626	704	792	880
54	95	191	286	382	477	573	668	764	860	955
56	102	205	307	410	512	615	717	820	922	1025
58	110	220	330	440	550	660	770	880	990	1100
60	117	235	352	470	587	705	822	940	1057	1175

Т а б л и ц а III. 62. Расчет трубопроводов водяного отопления по методу эквивалентных сопротивлений

Номер участ- ка	Расход G , кг/ч	Потери давле- ния p_n , кгс/м^2	Длина тру- бы, l , м	$\Sigma \zeta$	Диаметр тру- бы d , мм
1	1000	50	22	4	40

Сущность метода характеристик сопротивления* для расчета трубопроводов водяного отопления заключается в том, что общую потерю давления на расчетном участке $\Sigma (Rl + Z)$ в кгс/м^2 при неизменных расходе воды G и диаметре трубы d , можно представить в виде

$$p_n = \left(\frac{\lambda}{d} l + \Sigma \zeta \right) \frac{v^2}{2} \cdot \frac{\gamma}{g}, \quad (\text{III.64})$$

где v — скорость воды в трубопроводе, определяемая по формуле

$$v = \frac{G}{3600 \frac{\pi d^2}{4} \gamma}. \quad (\text{III.65})$$

Выражая в формуле (III.64) скорость через расход теплоносителя, получим

$$p_n = A \left(\frac{\lambda}{d} l + \Sigma \zeta \right) G^2. \quad (\text{III.66})$$

Здесь расход теплоносителя G в кг/ч , отнесенный к его скорости $v = 1 \text{ м/с}$, определяется выражением

$$\frac{G}{v} = 900 \pi d^2 \gamma. \quad (\text{III.67})$$

Величина A в $(\text{кгс/м}^2)/(\text{кг/ч})^2$ является удельным скоростным давлением в трубопроводе при расходе воды $G = 1 \text{ кг/ч}$ с плотностью γ в кг/м^3 .

При постоянной плотности воды ($t = 80^\circ \text{С}$, $\gamma = 971,8 \text{ кг/м}^3$) величины G/v и A для трубопровода данного диаметра, определяются по табл. III.63.

Величина G/v позволяет по заданному расходу воды G и диаметру трубы d найти скорость теплоносителя v путем деления расхода на эту величину. Использование величины A позволяет находить потери давления в трубопроводе по заданному расходу без определения скорости.

Обозначив в уравнении (III.66) величину $A \left(\frac{\lambda}{d} l + \Sigma \zeta \right)$ через S , получим

$$p_n = S G^2, \quad (\text{III.68})$$

откуда

$$G = \sqrt{\frac{p_n}{S}}; \quad (\text{III.69})$$

$$S = \frac{p_n}{G^2}. \quad (\text{III.70})$$

В этих выражениях величина S в $(\text{кгс/м}^2)/(\text{кг/ч})^2$ является характеристикой сопротивления трубопровода; она равна потере давления в нем при расходе воды $G = 1 \text{ кг/ч}$.

Значение гидравлической характеристики сопротивления можно отнести к отдельному участку, к части сети из нескольких участков, соединенных между собой последовательно или параллельно, а также ко всей сети в целом при тупиковой

* Е. А. Б е л и н к и й. Рациональные системы водяного отопления. Л., Стройиздат, 1963; Р. В. Щ е к и н и др. Расчет систем центрального отопления. Киев, «Вища школа», 1975.

Таблица III. 63. Удельные скоростные давления и приведенные коэффициенты трения для трубопроводов водяного отопления (СН 419—70)

Диаметры труб, мм			$\frac{G}{v}, \frac{\text{кг/ч}}{\text{м/с}}$	$\frac{A \cdot 10^3, \frac{\text{кгс/м}^2}{\text{кг/ч}^2}}$	Средние значения λ/d_B на 1 м трубы при циркуляции воды	
d_y	d_H	d_B			насосной	естественной
Трубы с $d_y \leq 50$ мм (ГОСТ 3262—62) при $A \cdot 10^4$						
10	17	12,6	425	2,7	3,6	3,9
15	21,3	15,7	690	1,08	2,7	2,8
20	26,8	21,2	1250	0,325	1,8	2,1
25	33,5	27,1	2000	0,125	1,4	1,5
32	42,3	35,9	3500	0,04	1	1,1
40	48	41	4650	0,0235	0,8	0,9
50	60	53	7800	0,0084	0,55	0,65
Трубы с $d_y \geq 50$ мм (ГОСТ 8732—70) при $A \cdot 10^6$						
50	57	49	6600	1,15	0,6	0,7
70	76	70	13 400	0,274	0,4	0,45
80	89	82	18 400	0,145	0,3	0,35
100	108	100	27 600	0,0665	0,23	0,25
125	133	125	43 000	0,027	0,18	0,2
150	159	149	61 000	0,0138	0,15	0,16

Примечание. Значения λ/d_B на 1 м для естественной циркуляции приведены по данным Е. А. Белинского

разводке магистралей и отсутствии разности естественных давлений. При известных расходах и отвечающих им потерям давлений можно найти характеристику сопротивления S .

Суммарная потеря давления двух или более последовательно соединенных участков сети с неизменным расходом $\Sigma p = p_1 + p_2$. Выражая потери давления через характеристики сопротивления сети на участках, находим, что

$$\Sigma S G^2 = S_1 G_1^2 + S_2 G_2^2, \quad (\text{III.71})$$

откуда

$$\Sigma S = S_1 + S_2.$$

Таким образом, гидравлическая характеристика последовательно соединенных расчетных участков сети с неизменным расходом теплоносителя равна сумме гидравлических характеристик этих участков.

В параллельно соединенных участках сети при отсутствии в них разности естественных давлений потери давления равны между собой. На этих участках суммарный расход

$$\Sigma G = G_1 + G_2.$$

На основании формулы (III.69) суммарная характеристика сети

$$\sqrt{\frac{p}{\Sigma S}} = \sqrt{\frac{p}{S_1}} + \sqrt{\frac{p}{S_2}},$$

откуда

$$\frac{1}{\sqrt{\Sigma S}} = \frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}}$$

или

$$\Sigma S = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \right)^2}. \quad (\text{III.72})$$

Гидравлический расчет трубопроводов водяного отопления по методу характеристик сопротивления производят аналитическим путем, руководствуясь формулами (III.68)—(III.72) и табл. III.63. При расчете сетей по квадратичному закону характеристику сопротивления при неизменных диаметрах труб и конфигурации трубопровода принимают постоянной. Общий расход в сети изменяется пропорционально корню квадратному из действующего в ней перепада давлений. Новый расход в одной из ветвей определяют пересчетом.

$$G'_2 = G_2 \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}, \quad (\text{III.73})$$

где p_1 и p_2 — найденные по предварительному расчету потери давления в двух рассматриваемых смежных ветвях трубопровода, кгс/м^2 ;

G_1 и G_2 — расходы воды в этих ветвях, кг/ч ;

G'_1 и G'_2 — новые расходы в одной из ветвей после пересчета, кг/ч .

При изменении общего расхода в сети, расходы на всех участках ее изменяются при коэффициенте пропорциональности

$$a = \frac{G_{\text{об}}}{G_p}, \quad (\text{III.74})$$

где $G_{\text{об}}$ — общий расход воды, кг/ч , в двух смежных рассматриваемых ветвях трубопровода, определяемый по формуле (III.20) при принятом в системе отопления температурном перепаде $\Delta t = t_r - t_0$;

$G_p = G'_1 + G_2$ — суммарный расход воды, кг/ч , после уравнивания давлений в обоих смежных ветвях трубопровода.

Действительные потери давления в любой ветви при новых расходах пересчитывают пропорционально квадрату расхода. Их можно найти по формуле

$$p'_1 = p_1 a^2. \quad (\text{III.75})$$

В этом случае потери давления в обоих ветвях уравниваются.

Метод гидравлического расчета трубопроводов водяного отопления при помощи характеристики сопротивления труб весьма удобен и рекомендуется нормами СН 419—70. Порядок записей расчетных величин в бланке приведен в примере III.19.

Сущность метода динамических давлений* заключается в том, что потери на трение по длине трубы Rl заменяют равновеликими им потерями давления в местных сопротивлениях $Z_{\text{экв}}$ исходя из условия, что $Rl = Z_{\text{экв}}$ или

$$\left(\frac{\lambda}{d} l \cdot \frac{v^2}{2g} \gamma \right) = \xi_{\text{экв}} \frac{v^2}{2g} \gamma, \text{ откуда общая потеря давления на расчетном участке}$$

$$p_n = \left(\frac{\lambda}{d} l + \Sigma \xi \right) p_d, \quad (\text{III.76})$$

где $\frac{\lambda}{d}$ — приведенный коэффициент трения на 1 м трубы данного диаметра (см. табл. III.63);

$p_d = \frac{v^2}{2g} \gamma$ — скоростное, или динамическое давление, кгс/м^2 , при данном расходе G , отнесенное к единице местного сопротивления (табл. III.64).

Поскольку $\xi_{\text{пр}} = \frac{\lambda}{d} l + \Sigma \xi$ — приведенный коэффициент местного сопротивления расчетного участка трубопровода, то

$$p_n = \xi_{\text{пр}} p_d. \quad (\text{III.77})$$

Задав диаметр расчетного участка сети d при расходе теплоносителя G , можно найти потерю давления на расчетном участке p_n . Если при заданной потере

* И. С. Л и б е р. Санитарно-технические устройства в крупнопанельном домостроении. Л., Госстройиздат, 1970.

Т а б л и ц а III. 64. Динамическое давление p_d

Расход воды G , кг/ч, в трубах с d_y , мм										v , м/с	p_d , кгс/м ²
15	20	25	32	40	50	65	70	80	100		
75	135	220	382	510	855	1405	1485	2070	3100	0,11	0,6
80	141	230	398	538	893	1470	1503	2160	3220	0,115	0,66
85	148	240	424	555	930	1535	1620	2255	3320	0,12	0,72
87	155	252	444	580	966	1597	1690	2340	3480	0,125	0,78
90	163	263	464	605	1005	1660	1760	2444	3655	0,13	0,85
93	169	272	477	627	1046	1730	1822	2539	3755	0,135	0,91
95	175	281	490	650	1086	1800	1895	2633	3850	0,14	0,98
100	181	292	512	673	1123	1855	1957	2718	4020	0,145	1,05
105	187	303	534	690	1160	1920	2030	2780	4185	0,15	1,12
108	194	312	550	721	1202	1980	2100	2895	4350	0,155	1,19
110	201	320	566	745	1244	2060	2167	3010	4499	0,16	1,28
115	206	333	583	760	1282	2115	2289	3074	4645	0,165	1,36
120	212	344	600	775	1320	2170	2305	3137	4770	0,17	1,44
123	218	352	615	805	1358	2235	2372	3260	4920	0,175	1,53
125	225	360	630	835	1395	2300	2440	3385	5050	0,18	1,62
128	231	370	652	859	1435	2365	2507	3482	5200	0,185	1,71
130	239	379	675	892	1475	2430	2575	3570	5350	0,19	1,8
135	242	390	692	908	1512	2470	2642	3655	5500	0,195	1,9
140	247	402	710	935	1550	2555	2707	3760	5600	0,2	2
145	254	414	726	955	1587	2625	2774	3852	5700	0,205	2,1
150	262	425	742	975	1625	2695	2842	3945	5800	0,21	2,2
153	268	433	756	997	1665	2797	2910	4040	5900	0,215	2,31
155	275	442	770	1020	1708	2800	2975	4140	6080	0,22	2,42
157	283	454	791	1045	1748	2867	3040	4235	6250	0,225	2,53
160	286	465	812	1070	1787	2935	3115	4385	6360	0,23	2,64
163	293	474	834	1087	1827	3000	3180	4415	6480	0,235	2,76
165	300	493	856	1104	1862	3065	3245	4510	6600	0,24	2,87
168	305	497	871	1136	1906	3127	3315	4597	6800	0,245	3
170	311	505	886	1168	1950	3180	3385	4685	7000	0,25	3,12
173	321	517	910	1217	2003	3267	3470	4795	7150	0,255	3,25
175	326	530	925	1230	2035	3350	3520	4870	7340	0,26	3,37
180	330	535	940	1252	2065	3395	3565	4940	7450	0,265	3,5
185	334	540	955	1275	2090	3465	3660	5115	7560	0,27	3,63
187	341	562	968	1300	2120	3525	3730	5215	7670	0,275	3,77
190	349	580	980	1325	2150	3599	3800	5350	7785	0,28	3,91
195	355	585	990	1345	2198	3649	3850	5410	7980	0,285	4,05
200	361	590	1000	1365	2245	3705	3900	5500	8305	0,29	4,19
205	367	605	1053	1387	2295	3763	4065	5600	8430	0,295	4,34
210	374	620	1065	1410	2345	3820	4130	5700	8550	0,3	4,49
212	380	625	1086	1438	2395	3910	4210	5810	8595	0,305	4,64
215	386	630	1108	1465	2446	4006	4290	5920	8800	0,31	4,79
218	393	638	1130	1493	2496	4100	4370	5977	9000	0,315	4,95
220	400	645	1152	1520	2547	4192	4448	6149	9150	0,32	5,11
224	408	658	1167	1547	2587	4272	4578	6294	9220	0,325	5,27
228	415	670	1188	1570	2626	4328	4657	6336	9290	0,33	5,43
232	420	680	1206	1597	2666	4398	4726	6436	9350	0,335	5,6
235	425	690	1224	1615	2706	4464	4796	6528	9510	0,34	5,76
238	430	695	1242	1640	2746	4530	4865	6628	9685	0,345	5,93
242	435	700	1260	1662	2782	4590	4920	6720	9830	0,35	6,11
246	440	710	1278	1687	2825	4653	4960	6820	10 050	0,355	6,28
250	445	720	1296	1710	2865	4716	5000	6910	10 300	0,36	6,46
254	450	730	1316	1735	2905	4780	5074	7012	10 420	0,365	6,64
258	460	740	1332	1758	2950	4850	5145	7104	10 590	0,37	6,82
262	468	750	1350	1788	2985	4965	5215	7204	10 710	0,375	7,01
265	475	760	1368	1805	3024	4978	5282	7296	10 868	0,38	7,2

Расход воды G , кг/ч, в трубах с d_y , мм										v , м/с	p_d , кгс/м ²
15	20	25	32	40	50	65	70	80	100		
270	480	770	1386	1827	3064	5036	5352	7386	11 088	0,385	7,4
275	485	780	1404	1852	3104	5109	5421	7488	11 270	0,39	7,59
280	500	800	1440	1900	3184	5240	5560	7680	11 440	0,4	7,98
290	525	840	1512	1995	3349	5502	5838	8064	12 000	0,42	8,79
300	550	895	1584	2090	3502	5784	6116	8498	12 580	0,44	9,75
310	580	930	1656	2185	3660	6026	6394	8832	13 150	0,46	10,58
330	600	975	1728	2280	3820	6288	6672	9216	13 730	0,48	11,48
340	630	1030	1820	2375	3980	6550	6950	9600	14 300	0,5	12,48
374	682	1124	1936	2600	4240	7058	7460	10 430	15 340	0,55	15
420	748	1240	2130	2820	4690	7640	8260	11 400	17 100	0,6	18
448	816	1316	2334	3094	5174	8544	9156	12 600	18 440	0,65	21
484	870	1400	2520	3324	5570	9180	9960	13 440	19 660	0,7	24,5
524	940	1500	2700	3600	6000	10 000	10 430	14 400	21 420	0,75	28

давления p_n и приведенном коэффициенте местного сопротивления расчетного участка $\zeta_{пр}$ решить выражение (III.76) относительно p_d , то, пользуясь табл. III.64, можно определить расход теплоносителя G . Методы гидравлических характеристик и динамических давлений используются в расчетах насосных однетрубных систем водяного отопления.

Подсчет коэффициентов местных сопротивлений

По каждому расчетному участку трубопровода должна быть сделана выборка коэффициентов местных сопротивлений (к.м.с.) и подсчитана их сумма $\Sigma\zeta$, необходимая для последующего расчета. Правильный выбор и подсчет суммы единиц к.м.с. для определения потерь давления Z на расчетном участке оказывает существенное влияние на точность гидравлического расчета трубопроводов независимо от принятого метода.

Сумму единиц к.м.с. $\Sigma\zeta$ подсчитывают по элементам значений к.м.с. на расчетном участке трубопровода — фасонных частей, арматуры и оборудования или по отдельным узлам расчетной схемы сети. В табл. III.65 даны общепринятые приближенные значения к.м.с. для отдельных элементов водяного и парового отопления (для тройников и крестовин они несколько завышены). Расчет трубопроводов при пользовании этими данными значительно упрощается, хотя и не может считаться достаточно точным. В табл. III.66 и III.70 приведены значения к.м.с. и гидравлических характеристик для конвекторов типа «Комфорт».

Наиболее точные значения к.м.с. для тройников и крестовин по данным испытаний ЦНИИПС принимаются в зависимости от соотношения диаметров отрезков и расходов теплоносителя, что весьма осложняет расчет. Материалы ЦНИИПС не дают данных для чугунных и стальных фасонных частей трубопроводов всех размеров и всех возможных соотношений расходов в отрезках и не учитывают установку переходов у тройников и крестовин*. Поэтому при обычных расчетах пользуются значениями к.м.с. по упрощенным таблицам.

В табл. III.67 и III.68 приведены усредненные значения к.м.с. для тройников при слиянии и делении потоков теплоносителя, а также при ответвлении стояков от магистральных трубопроводов. Уточненные значения к.м.с. для тройников и крестовин разнообразных конструкций и относительных расходов теплоносителя приведены в специальной литературе**.

* Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений (ЦНИИПС). Сб. «Вопросы отопления и вентиляции». Вып. 2. М., Госстройиздат, 1952; вып. 3, 1956.

** И. С. Идельчик. Гидравлические сопротивления (справочник). М., Госэнергоиздат, 1975.

Т а б л и ц а III. 65. Коэффициенты местных сопротивлений ζ для элементов систем водяного и парового отопления

Элементы систем отопления	Диаметр условного прохода, мм	ζ
Котлы чугунные	—	2,5
Проточные воздухоохладители и расширительные баки	—	1,5
Радиаторы двухколонные при диаметре подводки 15 мм	—	1,6
То же, 20 мм	—	1,2
Краны пробочные	15	3,5
	≥ 20	1,5
Вентили с вертикальным шпинделем	15	16
	20	10
	25, 32	9
	40	8
	≥ 50	7
Вентили прямооточные с косым шпинделем типа «Косва»	15, 20, 25	3
	32, 40	2,5
	≥ 50	2
Задвижки параллельные	—	0,5
Краны двойной регулировки с цилиндрической пробкой	15	4
	20	2
Краны трехходовые треста Сантехдеталь на прямой проход	15	2
	20	1,5
	25	2
То же, на проход с поворотом	15, 20	3
	25	4,5
Краны трехходовые треста Главмосстрой на прямой проход	15	3,2
	≥ 20	6,6
То же, на проход с поворотом	15	5,5
	≥ 20	10,5
Внезапное расширение	(относятся к бóльшей скорости)	1
» сужение		0,6
Отступы	—	0,5
Компенсаторы П- и лирообразные	—	2
» сальниковые	—	0,5
Тройники на прямой проход	—	1
» на проход с поворотом	—	1,5
» на противотоке	—	3
Крестовины на прямой проход	—	2
» на проход с поворотом	—	3
Отводы гнутые под углом 90°	15	1,5
	20	1
	25	0,5
	≥ 32	0,3
Утки гнутые	15	0,8
	20	0,7
	25, 32	0,6
	40	0,5
Скобы гнутые	20	1,5
	25	0,8
	32	0,6
Грязевик	—	10

Примечания. 1. Значения ζ для радиаторов, котлов, грязевиков и других сопротивлений отнесены к скорости теплоносителя в подводящем трубопроводе.

2. При расчете панельного отопления значение ζ находят как сумму к. м. с. змеевика (бетонных панелей и листотрубных радиаторов).

Весьма удобны для расчетов приведенные к. м. с. для радиаторных и конвекторных узлов (табл. III.69 — III.71).

Т а б л и ц а III.66. Коэффициенты местных сопротивлений ζ и гидравлических характеристик S конвекторов типа «Комфорт» (по данным ВНИИГС)

Тип конвекторов	Марка конвектора	Значение ζ при диаметре стояка d_y , мм		$S \cdot 10^4$, кгс/м ² (кг/ч) ²
		15	20	
Концевые	Нн-1, Н-4, Н-5, Н-6	5,2	17,1	5,56
	Нн-2, Н-7, Н-8, Н-9	6,9	22,7	7,38
	Нн-3, Н-10, Н-11, Н-12	8,6	28,3	9,2
	Н-13	—	9,5	3,09
	Н-14	—	12	3,9
	Н-15	—	14,5	4,71
Проходные: с односторонним присоединением	Нн-1А, Н-4А, Н-5А, Н-6А	3	9,9	3,21
	Нн-2А, Н-7А, Н-8А, Н-9А	4,7	15,5	5,03
	Нн-3А, Н-10А, Н-11А, Н-12А	6,4	21,1	6,85
	Н-13А	—	11,5	3,74
	Н-14А	—	14	4,55
	Н-15А	—	16,5	5,36
	Нн-1А, Н-4А, Н-5А, Н-6А	0,4	1,3	0,43
	Нн-2А, Н-7А, Н-8А, Н-9А	0,6	1,9	0,64
	Нн-3А, Н-10А, Н-11А, Н-12А	0,8	2,5	0,85
	Н-13А	—	1,5	0,48
	Н-14А	—	1,8	0,58
	Н-15А	—	2,1	0,68
	Нн-1А, Н-4А, Н-5А, Н-6А	0,4	1,3	0,43
	Нн-2А, Н-7А, Н-8А, Н-9А	0,6	1,9	0,64
	Нн-3А, Н-10А, Н-11А, Н-12А	0,8	2,5	0,85
	Н-13А	—	1,5	0,48
	Н-14А	—	1,8	0,58
	Н-15А	—	2,1	0,68

Т а б л и ц а III.67. Коэффициенты местных сопротивлений ζ для тройников (по данным ВНИИГС)

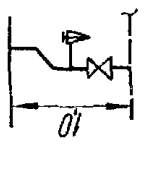
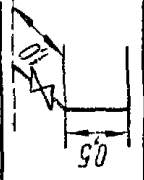
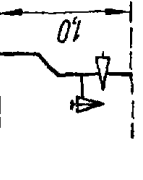
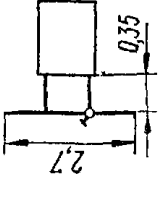
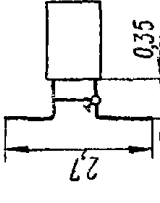
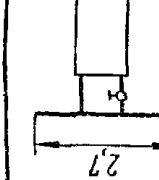
Размещение тройника	Значение к. м. с. при $G_0/G_{сб}$ и $G_{пр}/G_{сб}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
При слиянии потоков										
В ответвлении	—46,4	—3,9	1,8	2,9	3	2,8	2,6	2,3	2	2
В проходе	73	20	8,8	5,2	3,2	2,1	1,4	0,6	0,5	0,2
При делении потоков										
В ответвлении	100	25,3	11,4	6,6	4,3	3,1	2,3	1,9	1,5	1,5
В проходе	28	5,8	2,1	1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2

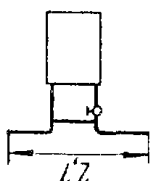
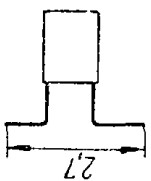
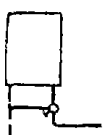
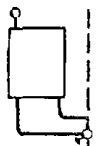
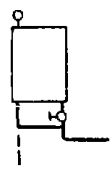
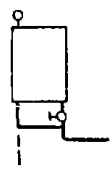
П р и м е ч а н и е. Приняты следующие обозначения расходов теплоносителя: G_0 — в ответвлении, $G_{пр}$ — в проходе, $G_{сб}$ — в сборном трубопроводе.

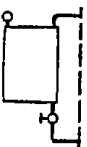
Т а б л и ц а III.68. Усредненные значения коэффициентов местных сопротивлений для тройников при ответвлениях стояков от магистральных трубопроводов (СН 419—70)

Размещение тройника	Место присоединения	Значения ζ при $G_0/G_{сб}$				
		0,1	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	0,4—0,5
		и при $G_{пр}/G_{сб}$				
В ответвлении	Подающий трубопровод	5				
	Обратный трубопровод	0	1	1,5		
В проходе	Подающий трубопровод	0,2	0,3		0,5	
	Обратный трубопровод	0,5	0,7	1,2	1,5	3

Т а б л и ц а III.69. Приведенные коэффициенты местных сопротивлений $\zeta_{\text{пр}}$ и гидравлические характеристики S для радиаторных однотрубных систем водяного отопления с насосной циркуляцией (по материалам СН 419—70, ВНИИГС и других источников)

Узел стояка	Эскиз	Диаметры труб, мм			$\zeta_{\text{пр}}$	$S \cdot 10^4, \frac{\text{кзс/м}^2}{(\text{кг/ч})^2}$
		стояка	замыкающего участка	подводки		
Присоединение к подающей магистрали при нижней разводке		15	—	—	24,5/12	26,22/12,84
		20	—	—	17,5/9	5,69/2,92
		25	—	—	16/8,5	2/1,06
То же, при верхней разводке		15	—	—	23,05/9,45	24,89/9,12
		20	—	—	15,2/6,7	4,94/2,17
		25	—	—	13,1/5,6	1,63/0,7
Присоединение к обратной магистрали при установке пробкового крана		15	—	—	8	8,56
		20	—	—	5	1,62
		25	—	—	4	0,56
Этажестояк с осевым замыкающим участком и трехходовым краном		15	15	15	13,93/15,53	15,04/16,77
		20	20	20	10,92/12,32	3,58/4,04
		25	20	20	10,04/11,44	2,5/4,12
То же, со смещенным замыкающим участком		15	15	15	12,5/14,8	13,38/15,04
		20	20	20	9,7/11,6	3,15/3,77
		25	20	25/20	12,1/15,1	1,51/1,89
		25	25	25	8,4/10	1,05/1,25
Этажестояк с осевым замыкающим участком и краном двойной регулировки		15	15	15	16,43/18,03	17,74/19,47
		20	15	20	11,42/12,82	3,71/4,16
		25	20	20	10,54/11,94	2,8/3,26

То же, со смещенным замыкающим участком		15	15	15	9,7/11,8	10,38/12,63
		20	15	20	9,8/11,6	3,18/3,77
		25	20	25	7,6/9,1	0,95/1,14
Этажестояк проточный		15	—	15	12,43/14,03	13,42/15,15
		20	—	20	8,42/9,82	2,75/3,19
		25	—	25	6,26/7,66	0,78/0,95
Узел верхнего этажа при нижней разводке с трехходовым краном		15	15	15	4,7/7	5,03/7,49
		20	20	20	4,5/6,4	1,46/2,08
		25	20	25/20	8,7/11,3	1,09/1,41
		25	25	25	4,6/6,2	0,58/0,78
		15	15	15	10,5	11,03
		20	20	20	9,5	3,08
То же, с краном двойной регулировки		25	20	25/20	20,2	2,52
		25	25	25	10,5	1,31
		15	15	15	2,2/4,1	2,35/4,39
		20	20	20	4,7/6,3	1,53/2,05
		25	20	25	3,8/5,1	0,48/0,64
		25	20	25		

Узел стояка	Эскиз	Диаметр труб, мм			$\xi_{пр}$	$S \cdot 10^4, \frac{\text{кгс/м}^2}{(\text{кгс/ч})^2}$
		стояка	замыкающего участка	подводки		
Узел верхнего этажа при нижней разводке с краном двойной регулировки		15	15	15	2,6	2,78
		20	20	20	1,9	0,62
		25	25	20	1,5	0,19

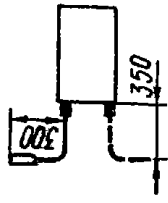
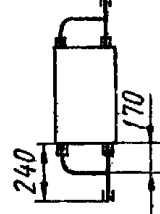
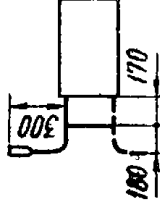
П р и м е ч а н и я 1 Для узлов присоединения к горячей магистрали в числителе даны величины при установке вентиля, в знаменателе — при установке пробкового крана для вертикальных радиаторных узлов в числителе — при прямой подводке от прибора к стояку, в знаменателе — при подводке с углками

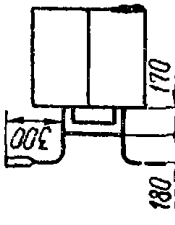
2 В радиаторных узлах к м с. для трехходовых кранов приняты применительно к конструкции кранов треста Сантехдеталь (см. табл III.65). При других кранах в расчетные величины вводятся поправки

3. Для отступов, отводов и скоб принимаются значения $\xi_{пр}$ и S , приведенные ниже в таблице При длинах стояков, отличающихся от указанных в эскизах узлов, в значения расчетных величин вносятся добавки на 1 м стояка:

Элементы системы	$d, \text{мм}$	$\xi_{пр}$	$S \cdot 10^4, \frac{\text{кгс/м}^2}{(\text{кгс/ч})^2}$
Стояк	15	2,7	2,89
	20	1,8	0,59
	25	1,4	0,18
Отступ (утка)	15	0,8	0,86
	20	0,7	0,28
Отвод под углом 90°	15	1,5	1,6
	20	1	0,32
Скоба	15	2	2,15
	20	1,2	0,39

Т а б л и ц а III.70. Приведенные коэффициенты местных сопротивлений $\zeta_{\text{пр}}$ и гидравлические характеристики S для конвекторных одноконтурных систем водяного отопления с насосной циркуляцией (по материалам ВНИИГС)

Узел стояка	Марка конвектора «Комфорт»	Диаметры труб, мм			$\zeta_{\text{пр}}$	$S \cdot 10^4, \frac{\text{кгс/м}^2}{(\text{кг/ч})^2}$
		стояка	замыкающего участка	подводки		
Вертикальный проточный 	Нн-1, Н-4, Н-5, Н-6 Нн-2, Н-7, Н-8, Н-9 Нн-3, Н-10, Н-11, Н-12 Нн-1, Н-4, Н-5, Н-6 Нн-2, Н-7, Н-8, Н-9 Нн-3, Н-10, Н-11, Н-12 Н-13 Н-14 Н-15	15	—	—	10,1	10,81
		15	—	—	11,8	12,63
		15	—	—	13,5	14,45
		20	—	—	26,1	8,48
		20	—	—	31,7	10,3
		20	—	—	37,3	12,12
		20	—	—	13	4,22
		20	—	—	15,5	5,03
		20	—	—	18	5,84
		20	—	—	—	—
Горизонтальный проточный 	Нн-1А, Н-4А, Н-5А, Н6А Нн-2А, Н-7А, Н-8А, Н-9А Нн-3А, Н-10А, Н-11А, Н-12А Нн-1А, Н-4А, Н-5А, Н-6А Нн-2А, Н-7А, Н-8А, Н-9А Нн-3А, Н-10А, Н-11А, Н-12А Н-13А Н-14А Н-15А	15	—	—	1	1,07
		15	—	—	1,2	1,28
		15	—	—	1,4	1,49
		20	—	—	3,2	1,07
		20	—	—	3,9	1,28
		20	—	—	4,6	1,49
		20	—	—	3	0,98
		20	—	—	3,3	1,07
		20	—	—	3,6	1,16
		20	—	—	—	—
Вертикальный с замыкающими участками 	Н-1 ÷ Н-12 Н-1, Н-4, Н-5, Н-6 Н-2, Н-7, Н-8, Н-9 Н-3, Н-10, Н-11, Н-12 Н-13 Н-14 Н-15	20	15	20/15	3,5	3,74
		20	15	20/15	6	1,95
		20	15	20/15	6,2	2,02
		20	15	20/15	6,4	2,08
		20	20	15	5,5	1,79
		20	20	15	5,7	1,85
		20	20	15	5,9	1,92
		20	20	15	—	—
		20	20	15	—	—
		20	20	15	—	—

Узел стояка	Марка конвектора «Комфорт»	Диаметры труб, мм			$\zeta_{пр}$	$S \cdot 10^4, \frac{кгс/м^2}{(кг/ч)^2}$
		стояка	замыкающего участка	подводки		
Вертикальный с замыкающими участками 	N-1 ÷ N-12		15		5	5,35
	N-1, N-4, N-5, N-6	20	15	20/15	7,3	2,37
	N-2, N-7, N-8, N-9	20	15	20/15	7,8	2,54
	N-3, N-10, N-11, N-12	20	15	20/15	8,2	2,66

Примечания. 1. Значения $\zeta_{пр}$ даны для узлов с прямыми подводками от стояка к прибору и включают грубую нагрузку, указанную на эскизах сплошной линией, и отвод на стояке, указанный штриховой.

2. Для П- и Т-образных стояков значения $\zeta_{пр}$ вертикальных узлов верхних этажей надо уменьшать на величину сопротивления отвода.

3. Значения $\zeta_{пр}$ и S для стояков, отступов, отводов и скоб приведены в примечании к табл. III.69.

Таблица III.71. Коэффициенты местных сопротивлений ζ для узлов однотрубных стояков со стальными штампованными радиаторами ЗС и ЗСТ (РСН 271—74)

Конструкция узла	Марка радиатора	Диаметры условного прохода труб, мм			Значения ζ при расходе воды через стояк G , кг/ч							
		$d_{ст}$	$d_{з.у}$	$d_{подв}$	150	200	250	300	350	400	450	500
Смещенный замыкающий участок и кран двойной регулировки	ЗС-11	15	15	15	8,54	7,95	7,65	7,21	6,71	6,32	6,32	6,32
		20	15	20	14,7	13,51	12,9	12,76	12,65	12,55	12,55	12,55
		20	20	20	15	13,45	12,9	12,05	12,1	11,91	11,91	11,91
	ЗС-21	15	15	15	8,34	7,72	7,05	6,7	6,35	6,02	6,02	6,02
		20	15	20	13,22	13,1	12,37	11,63	11,82	10,86	10,86	10,86
		20	20	20	10,88	10,5	10,21	9,5	9,15	9,2	9,2	9,2

Смещенный замыкающий участок и трехходовой кран	ЗСТ-11	15 20 25 25	15 15 15 20	15 20 25 25	6,12 8,08 12,6 12,6	5,55 6,96 11,3 10,6	5,06 6,9 10,9 9,8	4,82 6,81 9,8 8,8	4,58 6,74 9,3 8,05	4,5 6,58 8,85 7,7	4,42 6,38 8,73 7,25	4,35 6,3 8,57 7
	ЗСТ-21	15 20 25 25	15 15 15 20	15 20 25 25	5,41 5,19 8,41 5,61	4,75 4,75 7,54 5,28	4,55 4,69 7,43 4,9	4,46 4,63 7,35 4,74	4,35 4,59 7,3 4,69	4,25 4,38 6,93 4,62	4,15 4,17 6,77 4,52	4,1 4 6,65 4,4
	ЗС-11	15 20	15 20	15 20	16,65 22,94	15,45 22,2	15,3 21,5	14,71 21,1	14,03 20,16	13,2 19,66	13,2 19,66	13,2 19,66
	ЗС-21	15 20	15 20	15 20	13 19,12	12,71 18,5	12,65 17,75	12,55 16,41	12,31 16,15	12,05 12,55	12,05 12,55	12,05 12,55
	ЗСТ-11	15 20	15 20	15 20	8,06 15	7,14 12,35	6,83 12,05	6,7 11,5	6,32 11,12	6 10,95	6,52 10,65	5,48 10,3
Проточный нерегулируемый	ЗСТ-21	15 20	15 20	15 20	7,7 9,23	6,93 8,85	6,58 8,78	6,25 8,4	5,81 8,17	5,65 8	5,5 7,9	5,32 7,8
	ЗС-11	15 20	— —	— —	8,38 18,55	7,5 17,65	7,35 17,2	6,69 16,41	6,15 15,6	5,97 15,05	5,97 15,05	5,97 15,05
	ЗС-21	15 20	— —	— —	5,9 11,75	5,22 11,35	5,15 11,19	4,95 10,41	4,7 10,21	4,36 9,95	4,36 9,95	4,36 9,95
	ЗСТ-11	15 20	— —	— —	4,37 10,4	4,16 9,8	3,97 9,6	3,89 9,4	3,8 9	3,77 8,45	3,72 7,95	3,7 7,75
	ЗСТ-21	15 20	— —	— —	3,5 5,75	3,46 5,7	3,23 5,35	3,13 5,03	2,97 4,6	2,86 4,55	2,75 4,28	2,68 4,25

Особенности расчета однотрубных систем водяного отопления

Для однотрубных вертикальных систем водяного отопления с насосной или естественной циркуляцией задача гидравлического расчета заключается в у в я з к е р а с х о д у е м ы х д а в л е н и й в стояках и магистральных трубопроводах, которая производится последовательно для всех стояков главного и второстепенного циркуляционных колец расчетной схемы. Таким образом, гидравлический расчет больших колец циркуляции ведут параллельно с расчетом стояков. Поскольку современные требования унификации радиаторных узлов определены нормами СН 419—70, выбор типа стояков позволяет по готовым данным иметь их гидравлическую характеристику. Приведенные в табл. III.33 ориентировочные данные для предварительного выбора диаметров однотрубных стояков уточняют последующим гидравлическим расчетом рассматриваемой ветви трубопровода. В этой таблице диаметры стояков указаны при средних расходах воды с учетом требований к бесшумности работы системы отопления с насосной циркуляцией.

В однотрубных системах отопления с нижней разводкой магистралей для восстановления циркуляции воды после отключения нагревательных приборов на восходящей части П-образных стояков со смещенными замыкающими участками и кранами двойной регулировки необходимо обеспечить минимальные расходы воды $G_{\text{мин}}$ согласно данным табл. III.72.

Таблица III.72. Минимальные расходы и требуемые тепловые нагрузки для
однотрубных стояков с замыкающими участками и кранами двойной регулировки
(СН 419—70)

Диаметр условного прохода труб, мм			Температурный перепад, °С	$G_{\text{мин}}$, кг/ч	Требуемая тепловая на- грузка стоя- ка, ккал/ч
стояка	замыкающего участка	подводки			
15	15	15	95—70 100—70 105—70	200 210 220	5000 6300 7700
20	15	20	95—70 100—70 105—70	150 160 170	3750 4800 5950
25	20	25	95—70 100—70 105—70	330 340 360	8250 10 200 12 600

При выборе типа однотрубных стояков и их гидравлическом расчете необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

Для обеспечения индустриализации заготовительно-монтажных работ при использовании унифицированных радиаторных узлов конструкцию стояков необходимо принимать лишь с односторонним присоединением к ним нагревательных приборов.

Для компенсации тепловых удлинений и повышения коэффициента затекания воды в нагревательные приборы необходимо предусматривать смещенные замыкающие участки радиаторных узлов. В радиаторных узлах проточно-регулируемых стояков устанавливают трехходовые краны, а в узлах с замыкающими участками — краны двойной регулировки. Во всех случаях краны монтируют на обратной подводке к приборам.

В проточно-регулируемых системах малые циркуляционные кольца не рассчитывают. Однотрубный стояк рассматривают как один общий расчетный участок.

При установке конвекторов с регулировкой их теплоотдачи по воздуху, а также в кухнях, санитарных узлах и других нежилых комнатах можно применять одно-

трубные проточные нерегулируемые стояки с односторонним и двусторонним присоединением к ним приборов (см. лист III.3, рис. 2).

В многоэтажных зданиях из-за перегрузки иногда приходится устраивать П-образные стояки с подъемно-холостым участком или решать прокладку Т-образных стояков, состоящих из подъемно-холостого и двух опускных участков с нагревательными приборами (например, при близком расположении кухни, ванной и жилой комнаты). Для уменьшения расчетной поверхности приборов подъемно-холостые участки следует прокладывать в помещениях с меньшей тепловой нагрузкой.

Составные стояки из труб различного диаметра допускается применять лишь на подъемном и опускном участках при нижней разводке и на опускном участке непосредственно у магистральных трубопроводов при верхней разводке. Эти стояки проектируют, как правило, при невозможности увязки расходуемых давлений в циркуляционных кольцах расчетной схемы.

При устройстве для П-образного стояка промежуточных перемычек с целью уменьшения общего сопротивления, на высоте не менее $2/3$ его высоты гидравлическую увязку внутренних циркуляционных колец выполняют без учета естественного давления по формулам (III.51) и (III.52).

Сопротивления стояка удобно подсчитывать по заранее известным усредненным данным для различных конструкций радиаторных узлов (см. табл. III.69). После предварительного выбора диаметра стояка по ориентировочным данным табл. III.33, пользуясь графиками на листе III.27, находят приближенные значения потерь давления П-образных стояков для принятых конструкций радиаторных узлов. Эти графики составлены для проточно-регулируемых стояков и стояков с замыкающими участками радиаторных однотрубных систем водяного отопления с нижней разводкой магистралей, в зданиях от 7 до 12 этажей. Для верхней разводки магистралей потери давления в однотрубных стояках без большой ошибки можно принимать по этим графикам с уменьшением в 2 раза, имея в виду, что в зданиях одинаковой этажности П-образные стояки обычно имеют вдвое больше радиаторных узлов, чем стояки с верхней разводкой.

Пример III.16. Пользуясь данными табл. III.33 и графиками на листе III.27, найти предварительные потери давления в П-образных стояках.

В 9-этажном здании при проточно-регулируемом стояке с трехходовыми кранами (см. лист III.27, рис. 1) $G_{ст} = 500 \text{ кг/ч}$ и $d_{ст} = 20 \text{ мм}$ для радиаторного узла 2 с диаметрами труб $20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$ $p_{ст} = 1670 \text{ кгс/м}^2$; в 12-этажном здании при $G_{ст} = 800 \text{ кг/ч}$ и $d_{ст} = 25 \text{ мм}$ для радиаторного узла 4 ($25 \times 25 \times 25 \text{ мм}$) $p_{ст} = 1550 \text{ кгс/м}^2$.

В 9-этажном здании при стояке с замыкающими участками и кранами двойной регулировки (см. лист III.27, рис. 2) $G_{ст} = 470 \text{ кг/ч}$ и $d_{ст} = 20 \text{ мм}$ для радиаторного узла 2 ($20 \times 15 \times 20 \text{ мм}$) $p_{ст} = 1500 \text{ кгс/м}^2$; в 12-этажном здании при $G_{ст} = 800 \text{ кг/ч}$ и $d_{ст} = 25 \text{ мм}$ для радиаторного узла 3 ($25 \times 20 \times 25 \text{ мм}$) $p_{ст} = 1600 \text{ кгс/м}^2$.

Ход решения показан на графиках листа III.27.

Пример III.17. Рассчитать потери давления в проточно-регулируемом П-образном стояке для 9-этажного здания (лист III.28, рис. 1), если суммарная тепловая нагрузка стояка $Q_{ст} = 17\,440 \text{ ккал/ч}$, а расход воды при температурном перепаде $\Delta t = 105 - 70 = 35^\circ \text{C}$ $G_{ст} = 498 \text{ кг/ч}$. Диаметры труб стояка и радиаторных узлов, выполненных без уток, приняты 20 мм.

Суммарные характеристики сопротивления будут следующие:

согласно табл. III.69 для шестнадцати этажестояков высотой $h_3 = 2,7 \text{ м}$

$$S_1 = 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot 16 = 50,4 \cdot 10^{-4};$$

для двух радиаторных узлов верхнего этажа

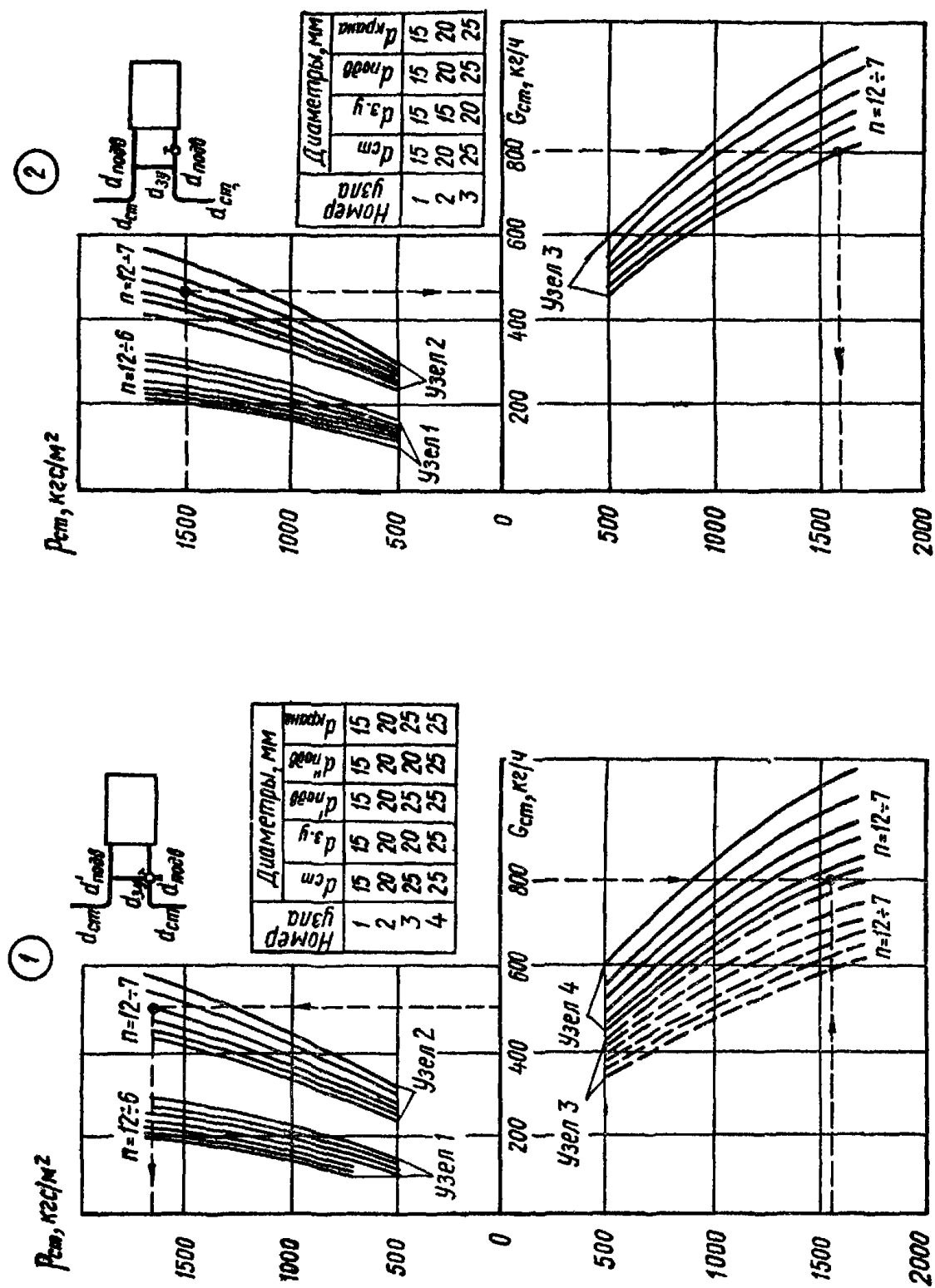
$$S_2 = 1,46 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 2,92 \cdot 10^{-4};$$

для узлов присоединения стояка к магистрали горячей воды с установкой вентиля

$$S_3 = 5,69 \cdot 10^{-4};$$

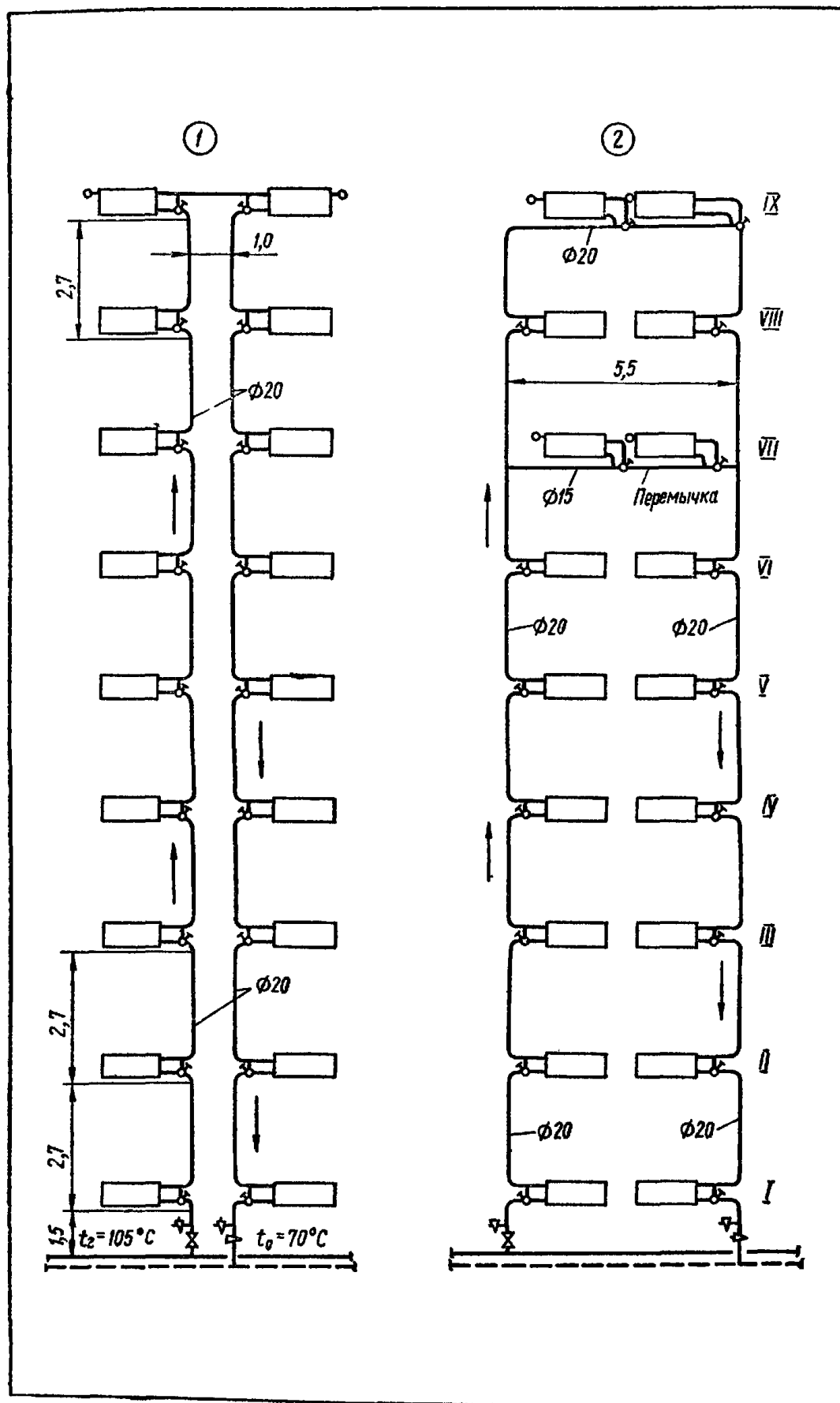
для узлов присоединения стояка к обратной магистрали с установкой пробкового крана

$$S_4 = 1,62 \cdot 10^{-4};$$



Лист III.27. Графики для предварительного расчета потерь давления в одноконтурных стояках радиаторных систем водяного отопления с нижней разводкой магистралей:

1 — проточно регулируемых, 2 — со смещенными замыкающими участками.



Лист III.28. К расчету гидравлического сопротивления П-образных однетрубных стояков:

1 — к примеру III 17; 2 — к примеру III.18.

для прямых участков стояка общей длиной труб 2 м (два участка по 0,5 м на 1-м этаже и 1 м на 9-м этаже)

$$S_5 = 0,59 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 1,18 \cdot 10^{-4}.$$

Полная характеристика сопротивления стояка

$$S_{\text{ст}} = (50,4 + 2,92 + 5,69 + 1,62 + 1,18) \cdot 10^{-4} = 61,82 \frac{\text{кгс/м}^2}{(\text{кг/ч})^2}.$$

Гидравлическое сопротивление стояка по формуле (III.68)

$$p_{\text{ст}} = S_{\text{ст}} G_{\text{ст}}^2 = 61,81 \cdot 10^{-4} \cdot 498^2 = 1520 \text{ кгс/м}^2.$$

Пример III.18. Рассчитать потери давления проточно-регулируемого стояка из предыдущего примера при устройстве в нем перемычки диаметром 15 мм и длиной 5,5 м между 7-м и 8-м этажами для уменьшения общего сопротивления стояка (лист III.28, рис. 2).

Суммарные характеристики сопротивлений будут следующие:
согласно табл. III.69 для двенадцати этажестояков высотой $h_9 = 2,7 \text{ м}$

$$S_1 = 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot 12 = 37,8 \cdot 10^{-4};$$

для узлов присоединения к разводящим магистралям

$$S_2 = (5,69 + 1,62) \cdot 10^{-4} = 7,31 \cdot 10^{-4};$$

для двух этажестояков, расположенных выше перемычки,

$$S_3 = 3,15 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 6,3 \cdot 10^{-4};$$

для двух горизонтальных радиаторных узлов верхнего этажа

$$S_4 = 3,08 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 6,16 \cdot 10^{-4};$$

для прямых участков труб, расположенных выше перемычки, — горизонтального участка верхнего этажа длиной 5,5 м и двух вертикальных участков между 7-м и 8-м этажами длиной $2,7 \cdot 2 = 5,4 \text{ м}$

$$S_5 = 0,59 \cdot 10^{-4} (5,5 + 5,4) = 6,43 \cdot 10^{-4};$$

для двух тройников на проход в месте присоединения перемычки (по усредненным данным табл. III.68) и для отводов на верхнем этаже (по табл. III.65)

$$S_6 = 0,325 \cdot 10^{-4} (0,5 + 3 + 2 \cdot 1) = 1,79 \cdot 10^{-4};$$

для двух горизонтальных радиаторных узлов, присоединенных к перемычке,

$$S_7 = 11,03 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 22,06 \cdot 10^{-4};$$

для тройников на ответвлениях в местах присоединения перемычки к стояку

$$S_8 = 1,08 \cdot 10^{-4} (5 + 1,5) = 7,02 \cdot 10^{-4};$$

для прямых участков труб при длине перемычки 5,5 м и $d = 15 \text{ мм}$

$$S_9 = 2,89 \cdot 10^{-4} \cdot 5,5 = 15,88 \cdot 10^{-4}.$$

Полная характеристика сопротивления участков стояка до перемычки

$$S_a = S_1 + S_2 = (37,8 + 7,31) \cdot 10^{-4} = 45,11 \cdot 10^{-4},$$

а выше перемычки —

$$S_6 = S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = (6,3 + 6,16 + 6,43 + 1,79) \cdot 10^{-4} = 20,68 \cdot 10^{-4}.$$

Полная характеристика сопротивления перемычки

$$S_b = S_7 + S_8 + S_9 = (22,06 + 7,02 + 15,88) \cdot 10^{-4} = 44,96 \cdot 10^{-4}.$$

Суммарная характеристика сопротивления двух параллельных участков стояка по формуле (III.72)

$$S' = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{20,68 \cdot 10^{-4}}} + \frac{1}{\sqrt{44,96 \cdot 10^{-4}}} \right)^2} = 6,7 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кгс/м}^2}{(\text{кг/ч})^2}.$$

Отсюда на основании формулы (III.68) гидравлическое сопротивление параллельных участков стояка

$$p = 6,7 \cdot 10^{-4} \cdot 498^2 = 168 \text{ кгс/м}^2.$$

Расход воды через перемычку по формуле (III.69)

$$G_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{168}{44,96 \cdot 10^{-4}}} = 194 \text{ кг/ч.}$$

Расход воды через участок стояка, расположенный выше перемычки,

$$G' = 498 - 194 = 304 \text{ кг/ч.}$$

Общее гидравлическое сопротивление стояка

$$p_{\text{ст}} = 168 + 45,11 \cdot 10^{-4} \cdot 498^2 = 1187 \text{ кгс/м}^2.$$

Ввиду расположения перемычки на высоте более 2/3 высоты стояка естественное давление расчетом не учитывается.

Расчет больших колец циркуляции систем водяного отопления

После обоснованного решения принципиальной схемы разводки магистральных трубопроводов (тупиковой или с попутным движением воды — для всего здания, секционной — для отдельных его частей) и выявления для принятой конструкции стояков величины располагаемого перепада давлений выполняют гидравлический расчет главного и второстепенных колец циркуляции.

Главное циркуляционное кольцо (наиболее протяженное и нагруженное) включает в себя узел управления ввода тепловой сети в здание или коммуникацию встроенной в это здание отопительной котельной, магистральные подающие и обратные трубопроводы, а также рассматриваемый расчетный стояк.

С целью повышения гидравлической устойчивости вертикальных однетрубных систем водяного отопления, уменьшения возможности нарушения регулировки и лучшей увязки потерь давления в расчетных кольцах гидравлический расчет трубопроводов больших колец циркуляции ведут, придерживаясь таких основных правил:

во всех случаях следует проектировать, как более простую, экономичную и гидравлически устойчивую, тупиковую схему разводки магистральных трубопроводов. Схему разводки с попутным движением воды можно применять, как исключение, лишь при соответствующем обосновании, если нет перерасхода труб на магистральных участках сети. Тупиковую схему можно применять в системах отопления с насосной и естественной циркуляцией, а попутную — только при насосной циркуляции;

части здания различной этажности, лестничные клетки и помещения магазинов должны обслуживаться отдельными от основной системы ветвями;

для повышения гидравлической устойчивости потери давления в стояках должны составлять не менее 80% общих потерь давления в циркуляционных кольцах без учета потерь давления в общих участках для групп стояков или ветвей;

гидравлический расчет трубопроводов вертикальных однетрубных систем водяного отопления выполняют с постоянным или переменным перепадами температур воды в стояках. Расчет с переменными перепадами температур допускается выполнять без учета естественных давлений при увязке колец, что практически мало влияет на точность получаемых результатов.

Двухтрубные системы водяного отопления рассчитывают только при постоянном перепаде температур воды во всех частях системы. При переменной величине

естественного давления на разных этажах здания двухтрубные системы отопления имеют неравномерный прогрев приборов вследствие плохой регулировки системы по вертикали. Эти системы, но с нижней разводкой магистралей, гидравлически более устойчивы, чем системы с верхней разводкой.

Задача гидравлического расчета трубопроводов двухтрубных систем заключается в том, чтобы максимально использовать перепады располагаемых давлений для приборов верхних этажей, всемерно уменьшая диаметры обратных стояков. На практике это сделать не удастся ввиду ограниченного сортамента труб, поэтому избытки давлений приходится дросселировать кранами у нагревательных приборов, чтобы устранить перегрев приборов на верхних и недогрев на нижних этажах. Такой существенный недостаток двухтрубных систем водяного отопления ограничивает их применение в зданиях высотой до 2 этажей.

Гидравлический расчет главных колец циркуляции двухтрубных систем с верхней или нижней разводкой магистральных трубопроводов производят через нагревательный прибор 1-го этажа рассматриваемой ветви с наименьшей величиной естественного давления. Определяемые по ходу расчета свободные давления на промежуточных стояках увязывают с расходуемыми давлениями в магистральных трубопроводах.

Гидравлический расчет трубопроводов насосных систем отопления рекомендуется выполнять наиболее простым, удобным и достаточно точным методом при помощи характеристик сопротивления в соответствии с нормами СН 419—70 или методом динамических давлений. Для определения потерь давления в циркуляционных кольцах могут быть использованы следующие уравнения:

по методу характеристик сопротивления

$$\sum_1^n SG^2 = p_n + 0,4\varepsilon \frac{\Sigma qh}{cG_{ст}}; \quad (III.78)$$

по методу динамических давлений

$$\sum_1^n \xi_{пр} p_d = p_n + 0,4\varepsilon \frac{\Sigma qh}{cG_{ст}}. \quad (III.79)$$

Уравнения (III.78) и (III.79) действительны для вертикальных однетрубных систем с нижней разводкой магистралей. При верхней разводке поправку 0,4 не учитывают. Для двухтрубных систем в этих уравнениях величину естественного давления принимают по формулам (III.56) и (III.58) с поправкой $B = 0,5 \div 0,7$. Левая часть уравнений обозначает суммарную потерю давления в расчетных циркуляционных кольцах или в данном стояке, а правая часть — действующий в них располагаемый перепад давлений, создаваемый насосом и гравитационными силами. При гидравлическом расчете располагаемым перепадом давлений для главного циркуляционного кольца или данной ветви (тупиковой или с попутным движением воды — лист III.29, рис. 1) будет разность давлений, заданная для всей системы и ее расчетной схемы или для отдельной ветви, а для любого из участков — разность давлений, полученная из предыдущего расчета. Это положение можно пояснить следующим образом (лист III.29, рис. 1, а).

Располагаемый перепад давлений p_p для участка сети между двумя точками (например, для стояка 4—4') можно найти по формуле

$$p_{p_{4-4'}} = p_n - \sum_1^n p_o, \quad (III.80)$$

где p_n — давление, создаваемое насосом после элеватора тепловой сети или насосом в местной котельной, $кгс/м^2$;

$\sum_1^n p_o$ — потери давления на общих участках сети между задвижками узла ввода и стояком 4—4', $кгс/м^2$.

Аналогично распределяются давления и в системах с естественной циркуляцией теплоносителя.

Изложенные соображения позволяют заключить, что основной задачей гидравлического расчета трубопроводов водяного отопления является хорошая увязка

Таблица III. 73. Расходы и скорости теплоносителя в

$d_y, \text{ мм}$	$v_{\text{макс}}, \text{ м/с}$	$G_{\text{макс}}, \text{ кг/ч}$	Расходы теплоносителя $G, \text{ кг/ч}$					
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
10	0,3	130	43	87	—	—	—	—
15	0,5	350	70	140	210	280	—	—
20	0,65	810	125	250	375	500	625	750
25	0,8	1600	200	400	600	800	1000	1200
32	1	3500	350	700	1050	1400	1750	2100
40	1,5	6970	465	930	1395	1860	2325	2790
50	1,5	11 700	780	1560	2340	3120	3900	4680
70	1,5	20 100	1340	2680	4020	5360	6700	8040
80	1,5	27 600	1840	3680	5520	7360	9200	11 040
100	1,5	41 400	2760	5520	8280	11 040	13 800	16 560
125	1,5	64 500	4300	8600	12 900	17 200	21 500	25 800
150	1,5	91 500	6100	12 200	18 300	24 400	30 500	36 400

расходуемых давлений во всех циркуляционных кольцах, обеспечивающая гидравлическую устойчивость и подачу расчетных расходов теплоносителя во все части системы при заданных диаметрах труб.

При постоянном перепаде температуры воды в стояках расходы теплоносителя G в кг/ч во всех участках расчетной схемы определяют путем деления тепловой нагрузки Q в ккал/ч на принятый для системы отопления постоянный перепад температуры воды $\Delta t = t_r - t_o$ в $^{\circ}\text{C}$.

Очевидный недостаток этого способа расчета заключается в том, что при существующем, весьма ограниченном сортаменте труб трудно увязать расходуемые давления в отдельных циркуляционных кольцах системы отопления. Поэтому для заданных расходов теплоносителя, с целью увязки потерь давления в расчетных кольцах, зачастую приходится конструировать составные стояки и радиаторные узлы из труб различного диаметра.

При несовпадении расчетных расходов теплоносителя с фактическими регулировка системы отопления неизбежно нарушится, а поверхность нагревательных приборов будет подобрана неточно.

На практике избыточные давления дросселируют обычно арматурой, что приводит к необходимости в монтажной регулировке системы отопления и к перерасходу металла на трубы. Применение различных конструкций стояков и радиаторных узлов снижает степень индустриализации трубозаготовительных операций.

При переменных перепадах температур воды в стояках перечисленные недостатки отсутствуют. Расходы воды по стоякам заранее неизвестны; они зависят от принятых диаметров труб, сконструированных из стандартных заготовок радиаторных узлов. Поэтому при заданных тепловых нагрузках стояков в них получаются различные температурные перепады циркулирующей воды: в наиболее удаленных от теплового центра стояках — большие, а в ближних — меньшие. Перепады температур в отдельных стояках могут отличаться от расчетного, принятого для системы отопления в целом, не больше чем на $\pm 15\%$.

Этот способ гидравлического расчета трубопроводов водяного отопления с нижним или верхним питанием теплоносителя однетрубных стояков позволяет шире применять наиболее экономичную и простую тупиковую схему разводящих магистралей (с большим радиусом действия при насосной и естественной циркуляции) за счет увеличения располагаемых перепадов давлений. Результаты гидравлического расчета трубопроводов и теплового расчета нагревательных приборов при этом более точны, так как расчетные расходы теплоносителя соответствуют фактическим. Такой способ не требует монтажной регулировки системы отопления и всемерно повышает индустриализацию заготовительных операций радиаторных узлов.

Для ориентации при предварительном назначении диаметров магистральных трубопроводов в зависимости от расходов и скоростей теплоносителей служит табл. III.73. Диаметры магистральных участков уточняются последующим расчетом.

Пример III.19. Рассчитать трубопроводы двух веток симметричной радиаторной

магистральных трубопроводах систем водяного отопления

при скоростях v , м/с

0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
1400	—	—	—	—	—	—	—
2450	2800	3150	—	—	—	—	—
3255	3720	4185	4650	5115	5580	6045	6510
5460	6240	7020	7800	8580	9360	10 140	10 920
9380	10 720	12 060	13 400	14 740	16 080	17 420	18 760
12 880	14 720	16 560	18 400	20 240	22 080	23 920	25 760
19 320	22 080	24 840	27 600	30 360	33 120	35 880	38 640
30 100	34 400	38 700	43 000	47 300	52 600	55 900	60 200
42 700	48 800	54 900	61 000	67 100	73 200	79 300	85 400

схемы водяного отопления с нижней разводкой, однетрубными П-образными стояками и насосной циркуляцией для 9-этажного здания при таких исходных данных: источник теплоснабжения — наружная тепловая сеть с параметрами теплоносителя $\Delta t = 150-70^\circ \text{C}$; температурный перепад в системе отопления принят $\Delta t = 105 - 70 = 35^\circ \text{C}$.

Гидравлический расчет следует выполнять по методу характеристик сопротивления с переменными перепадами температур воды в стояках в соответствии с нормами СН 419—70. Расчетная схема магистральных трубопроводов с тепловыми нагрузками по стоякам показана на листе III.29, рис. 2, а конструкция характерного стояка IX — на листе III.28, рис. 1.

Стояк IX. Находим гидравлическое сопротивление наиболее характерного стояка IX в правой ветви схемы при расходе теплоносителя $G_{\text{ст}} = 17\,400 : 35 = 498 \text{ кг/ч}$. На основании данных табл. III.32 и III.33 принимаем конструкцию радиаторных узлов стояка с диаметром труб $20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$. Гидравлическое сопротивление стояка IX согласно расчету в примере III.17 $p_{\text{ст}} = 1520 \text{ кгс/м}^2$.

Поскольку нормами рекомендуется иметь сопротивление стояков не менее 80% общей величины потерь давления в системе отопления, то сопротивление главного циркуляционного кольца должно быть $p_{\text{сист}} = 1520 : 0,8 = 1900 \text{ кгс/м}^2$, что соответствует рекомендациям ВНИИГС, где $p_p = 2000 \text{ кгс/м}^2$ при заданных параметрах теплоносителя $\Delta t = 105-70^\circ \text{C}$ (см. стр. 191). Величина $p_{\text{сист}} = p_p$ должна обеспечить преодоление потерь давления в главном циркуляционном кольце трубопроводов расчетной схемы от задвижек узла теплового ввода через наиболее удаленный стояк IX.

Переменные перепады температур воды в стояках могут отличаться не более чем на 15% от принятого в системе отопления $\Delta t = 35^\circ \text{C}$ ($35 \cdot 0,15 = \pm 5,25^\circ \text{C}$). Задаваясь для наиболее удаленного от теплового центра стояка IX $\Delta t = 38^\circ \text{C}$, получаем фактический расход воды в этом стояке $G_{IX} = 17\,400 : 38 = 458 \text{ кг/ч}$. При неизменности конструкции стояка IX его суммарная характеристика сопротивления (см. пример III.17) $S = 61,81 \cdot 10^{-4}$. Тогда потери давления в нем $p_{IX} = SG^2 = 61,81 \cdot 10^{-4} \cdot 458^2 = 1296 \text{ кгс/м}^2$.

В расчетный бланк (табл. III.74) заносим известные величины тепловых нагрузок, предварительных расходов и длин, а на основании табл. III.32, III.33 и III.73 назначаем диаметры стояков и участков магистралей. Затем проставляем готовые значения $\frac{\lambda}{d}$ и $A \cdot 10^4$ для труб соответствующих диаметров (согласно табл. III.63).

Сначала по данным табл. III.65—III.68 на расчетных участках подсчитываем $\Sigma \xi$ и полученные результаты заносим в бланк (табл. III.74):

на участках 9—8 и 9'—8' для тройника на проход и для отвода диаметром 20 мм $\xi = 1$; $\Sigma \xi = 2$;

Т а б л и ц а III.74. Гидравлический расчет трубопроводов водяного температур

Расчетный участок или стояк	Нагрузки		<i>l</i> , м	<i>d</i> , мм	$\frac{\lambda}{d}$ на 1 м	$\frac{\lambda}{d} l$	$\Sigma \zeta$	$\zeta_{\text{пр}}$	<i>A</i> · 10 ⁴
	<i>Q</i> , ккал/ч	<i>G</i> , кг/ч							
Правая ветвь от стояка									
<i>IX</i>	17 400	498	—	20	—	—	—	—	—
<i>9—8</i>	17 400	498	5	20	1,8	9	2	11	0,325
<i>9'—8'</i>	17 400	498	5	20	1,8	9	2	11	0,325
<i>VIII</i>	17 400	498	—	20	—	—	—	—	—
<i>8—7</i>	34 800	996	5	25	1,4	7	1	8	0,125
<i>8'—7'</i>	34 800	996	5	25	1,4	7	1	8	0,125
<i>VII</i>	15 400	440	—	20	—	—	—	—	—
<i>7—6</i>	50 200	1436	6	32	1	6	1	7	0,04
<i>7'—6'</i>	50 200	1436	6	32	1	6	1	7	0,04
<i>VI</i>	8500	242	—	15	—	—	—	—	—
<i>6—5</i>	58 700	1678	6	40	0,8	4,8	1	5,8	0,02
<i>6'—5'</i>	58 700	1678	6	40	0,8	4,8	1	5,8	0,02
<i>V</i>	8500	242	—	15	—	—	—	—	—
<i>5—A</i>	67 200	1920	3	40	0,8	2,4	1,5	3,9	0,02
<i>5'—Б</i>	67 200	1920	3	40	0,8	2,4	1,5	3,9	0,02
Левая ветвь от стояка I									
<i>I</i>	17 400	498	—	20	—	—	—	—	—
<i>1—2</i>	17 400	498	5	20	1,8	9	2	11	0,325
<i>1'—2'</i>	17 400	498	5	20	1,8	9	2	11	0,325
<i>II</i>	17 400	498	—	20	—	—	—	—	—
<i>2—3</i>	34 800	996	5	25	1,4	7	1	8	0,125
<i>2'—3'</i>	34 800	996	5	25	1,4	7	1	8	0,125
<i>III</i>	15 400	440	—	20	—	—	—	—	—
<i>3—4</i>	50 200	1436	6	32	1	6	1	7	0,04
<i>3'—4'</i>	50 200	1436	6	32	1	6	1	7	0,04
<i>IV</i>	8500	242	—	15	—	—	—	—	—
<i>4—A</i>	58 700	1678	3	40	0,8	2,4	1,5	3,9	0,02
<i>4'—Б</i>	58 700	1678	3	40	0,8	2,4	1,5	3,9	0,02
Ответвления от точек									
<i>A—ПЗ</i>	125 900	3590	8	50	0,55	4,4	1,1	5,5	0,008
<i>Б—ОЗ</i>	125 900	3590	8	50	0,55	4,4	1,1	5,5	0,008

на участках от 8—7 до 6—5 и от 8'—7' до 6'—5' для тройника на проход $\zeta = 1$;
на участках 5—A и 5'—Б для тройника на поворот $\zeta = 1,5$;
на участках A—ПЗ и Б—ОЗ для отводов диаметром 50 мм $\zeta = 0,3 \cdot 2 = 0,6$;
для задвижек диаметром 50 мм — 0,5; $\Sigma \zeta = 1,1$.

Далее, предварительно проставив в бланк значения $S = A \zeta_{\text{пр}}$, вычисляем остальные расчетные величины.

На участках 9—8 и 9'—8' $p = SG^2 = 3,56 \left(\frac{458}{100} \right)^2 = 74,65$ кгс/м². Суммарное сопротивление стояка IX и магистрали $p = 1296 + 74,65 \cdot 2 = 1445,3$ кгс/м².

Стояк VIII. Уточняем расход по стояку: $G_{VIII} = \sqrt{\frac{1445,3}{61,81 \cdot 10^{-4}}} = 4,8 \times$
 $\times 100 = 480$ кг/ч. Тогда $\Delta t = \frac{Q_{\text{ст}}}{G_{\text{ст}}} = \frac{17\,400}{480} = 36^\circ \text{C}$. На участках 8—7 и 8'—7'

отопления методом характеристик сопротивления при переменных перепадах
воды в стояках

$S \cdot 10^{-4}$	Предварительный расчет			Окончательный расчет			
	$G, \text{кг/ч}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кгс/м}^2$	a	$G, \text{кг/ч}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кгс/м}^2$
IX до точек А и Б							
61,81	458	38	1296	0,96	440	39,6	
3,56	458	—	74,65	—	—	—	
3,56	458	—	74,65	—	—	—	
61,81	480	36	1445,3	0,96	461	37,8	
1	938	—	87,98	—	—	—	
1	938	—	87,98	—	—	—	
61,81	510	30,2	1621,26	0,96	490	31,4	
0,28	1448	—	58,7	—	—	—	
0,28	1448	—	58,7	—	—	—	
264,7	258	33	1738,66	0,96	248	34,3	
0,11	1706	—	32	—	—	—	
0,11	1706	—	32	—	—	—	
264,7	262	32,5	1802,66	0,96	251	33,9	
0,08	1968	—	30,98	—	—	—	
0,08	1968	—	30,98	—	—	—	
			1864,62				1716
до точек А и Б							
61,81	458	38	1296	0,98	449	38,8	
3,56	458	—	74,65	—	—	—	
3,56	458	—	74,65	—	—	—	
61,81	480	36	1445,3	0,98	470	37	
1	938	—	87,98	—	—	—	
1	938	—	87,98	—	—	—	
61,81	510	31,2	1621,26	0,98	500	30,8	
0,28	1448	—	58,7	—	—	—	
0,28	1448	—	58,7	—	—	—	
264,7	258	33	1738,66	0,98	242	35	
0,08	1706	—	23,2	—	—	—	
0,08	1706	—	23,2	—	—	—	
			1785,06				1716
А и Б к узлу управления							
0,044	3674	—	55	—	—	—	
0,044	3674	—	55	—	—	—	
							110

$p = 1 \left(\frac{938}{100} \right)^2 = 87,98 \text{ кгс/м}^2$. Суммарное сопротивление магистрали $p = 1445,3 + 87,98 \cdot 2 = 1621,66 \text{ кгс/м}^2$.

Стояк VII. Уточняем расход по стояку: $G_{VII} = \sqrt{\frac{1621,26}{16,81 \cdot 10^{-4}}} = 5,1 \times 100 = 510 \text{ кг/ч}$. Тогда $\Delta t = 15400 : 510 = 30,2^\circ\text{C}$. На участках 7—6 и 7'—6' $p = 0,28 \left(\frac{1448}{100} \right)^2 = 58,7 \text{ кгс/м}^2$. Суммарное сопротивление магистрали $p = 1621,66 + 58,7 \cdot 2 = 1738,66 \text{ кгс/м}^2$.

Стояк VI. Поскольку стояки VI и V по предварительным данным имеют расход $G_{ст} = 8500 : 35 = 242 \text{ кг/ч}$, то на основании табл. III.33 конструкцию узлов этих стояков принимаем при диаметрах труб $15 \times 15 \times 15 \text{ мм}$. Пользуясь табл. III.63

в III.69, подсчитываем его суммарную характеристику сопротивления:

$$\begin{aligned} S_1 &= 13,38 \cdot 10^{-4} \cdot 16 = 214,08 \cdot 10^{-4}; \\ S_2 &= 5,03 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 10,06 \cdot 10^{-4}; \\ S_3 &= 26,22 \cdot 10^{-4}; \\ S_4 &= 8,56 \cdot 10^{-4}; \\ S_5 &= 2,89 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 5,78 \cdot 10^{-4}; \\ \Sigma S &= 264,7 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Уточняем расход по стояку VI: $G_{VI} = \sqrt{\frac{1738,66}{264,7 \cdot 10^{-4}}} = 2,58 \cdot 100 = 258 \text{ кг/ч}$. Тогда $\Delta t = 8500 : 258 = 33^\circ \text{C}$. На участках 6—5 и 6'—5' $p = 0,11 \left(\frac{1706}{100} \right)^2 = 32 \text{ кгс/м}^2$. Суммарное сопротивление магистрали $p = 1738,66 + 32 \cdot 2 = 1802,66 \text{ кгс/м}^2$.

Стояк V. Уточняем расход по стояку: $G_V = \sqrt{\frac{1802,66}{264,7 \cdot 10^{-4}}} = 2,62 \times 100 = 262 \text{ кг/ч}$. Тогда $\Delta t = 8500 : 262 = 32,5^\circ \text{C}$. На участках 5—А и 5'—Б $p = 0,08 \left(\frac{1968}{100} \right)^2 = 30,98 \text{ кгс/м}^2$. Суммарное сопротивление магистрали $p = 1802,66 + 30,98 \cdot 2 = 1864,62 \text{ кгс/м}^2$.

Аналогично выполняем подсчет величин для левой смежной ветви трубопровода от стояка I до точек А и Б, а результаты записываем в табл. III.74.

Общее сопротивление и расходы в каждой смежной ветви трубопровода составляют следующие величины:

для правой ветви $p_{\text{п}} = 1864 \text{ кгс/м}^2$, $G_{\text{п}} = 1968 \text{ кг/ч}$;

для левой ветви $p_{\text{л}} = 1785 \text{ кгс/м}^2$, $G_{\text{л}} = 1706 \text{ кг/ч}$.

Новый расход в левой ветви при равенстве давлений в обеих смежных ветвях трубопровода расчетной схемы по формуле (III.73)

$$G'_{\text{л}} = G_{\text{л}} \sqrt{\frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{л}}}} = 1706 \sqrt{\frac{1864}{1785}} = 1748 \text{ кг/ч}.$$

Тогда суммарный расчетный расход в обеих смежных ветвях

$$G_{\text{р}} = 1968 + 1748 = 3716 \text{ кг/ч}.$$

По условиям соблюдения расчетного перепада температур в системе отопления $\Delta t = 35^\circ \text{C}$ суммарный расход воды в ветвях должен быть

$$G_{\text{об}} = (67\,200 + 58\,700) : 35 = 3590 \text{ кг/ч}.$$

Отсюда общий коэффициент пропорциональности по формуле (III.74)

$$a = 3590 : 3716 = 0,96.$$

Действительные расходы в правой и левой ветвях трубопровода будут следующие:

$$G_{\text{п}} = 1968 \cdot 0,96 = 1889 \text{ кг/ч}; \quad G_{\text{л}} = 1748 \cdot 0,96 = 1678 \text{ кг/ч}.$$

Коэффициенты пропорциональности при действительных расходах для каждой смежной ветви трубопровода равны:

$$a_{\text{п}} = 1889 : 1968 = 0,96; \quad a_{\text{л}} = 1678 : 1703 = 0,98.$$

Определив действительные расходы воды в стояках по их тепловым нагрузкам, находим действительные температурные перепады (см. окончательный расчет в табл. III.74). Поверхность нагрева приборов рассчитываем по найденным действительным значениям температурных перепадов и расходов теплоносителя в стояках.

Действительные потери давления в любой ветви при новых расходах пересчитываем пропорционально квадрату расхода. Их можно найти по формуле (III.75) при равенстве давлений в смежных ветвях трубопровода:

$$p'_{\text{п}} = p_{\text{п}} a_{\text{п}}^2 = 1864 \cdot 0,96^2 = 1716 \text{ кгс/м}^2.$$

Потери давления в ответвлениях к узлу управления $p_{\text{у}} = 110 \text{ кгс/м}^2$. Полная потеря давления в системе отопления $p_{\text{сист}} = 1716 + 110 = 1826 \text{ кгс/м}^2$.

Особенности расчета трубопроводов с попутной схемой движения воды

При схеме трубопроводов с попутным движением воды все циркуляционные кольца примерно одинаковой длины. Если пренебречь незначительными колебаниями дополнительного естественного давления за счет охлаждения воды в трубах, то можно считать, что величины располагаемого перепада давлений p_p для всех колец практически одинаковы.

По известным значениям тепловой нагрузки Q , длины расчетных участков l , суммы к. м. с. на участке $\Sigma \zeta$ и величине располагаемого перепада давлений p_p гидравлический расчет трубопроводов производят в таком порядке: рассчитывают кольцо первого стояка по ходу движения горячей воды с определением всех диаметров обратной магистрали, кольцо последнего стояка по ходу движения горячей воды с определением всех диаметров подающей магистрали, затем все остальные кольца и промежуточные стояки с предварительным определением свободных давлений на каждый стояк.

Неувязка в расходуемых давлениях по отдельным кольцам допускается не более 5%. Для удобства увязки давлений по кольцам расчет рекомендуется производить одновременно через ближний и дальний стояки по обратной и подающей магистралям с выявлением свободных давлений на промежуточных стояках.

Если в обратной линии в месте присоединения стояка давление больше, чем в подающей, то возникает обратная циркуляция воды в стояке, т. е. происходит подъем воды снизу вверх, что нарушает нормальную работу системы. Поэтому давление, создаваемое насосом в точке присоединения стояка к подающей линии, должно быть большим, чем в точке присоединения его к обратной линии. Перепад давлений в этих точках является расчетным для данного стояка.

Расчет систем с попутным движением воды можно начинать также через средний стояк по кольцу с наиболее загруженными участками и максимальными потерями давления. При этом сначала находят диаметры участков половины подающего и половины обратного трубопроводов, затем рассчитывают малые кольца через каждый стояк. Проверять давления в обратной линии не требуется. Сложность этого способа расчета состоит в том, что не всегда правильно можно выбрать расчетный средний стояк, поэтому часто приходится дополнительно такую проверку делать.

Пример III.20. Проверить величины давлений в обратной линии и найти свободные расчетные давления промежуточных стояков схемы трубопроводов с попутным движением воды, показанной на листе III.29, рис. 3.

Располагаемый перепад давлений в системе $p_p = 600 \text{ кгс/м}^2$. Потери давления определены по циркуляционным кольцам и указаны на расчетных участках схемы.

С т о я к ВЖ. Давление в точке В $p_B = 600 - (170 + 60 + 50) = 320 \text{ кгс/м}^2$. Давление в точке Ж $p_{Ж} = 600 - (170 + 60 + 40) = 330 \text{ кгс/м}^2$. Поскольку $p_{Ж} > p_B$, то имеем отрицательное давление, что вызовет обратную циркуляцию в стояке.

С т о я к ГЗ. Давление в точке Г $p_G = 600 - (170 + 60 + 50 + 40) = 280 \text{ кгс/м}^2$. Давление в точке З $p_З = 600 - (170 + 60 + 40 + 50) = 280 \text{ кгс/м}^2$. Поскольку $p_G = p_З$, то свободное давление стояка $p_{ГЗ} = 0$, что недопустимо.

С т о я к ДИ. Давление в точке Д $p_D = 600 - (170 + 60 + 50 + 40 + 30) = 250 \text{ кгс/м}^2$. Давление в точке И $p_{И} = 600 - (170 + 60 + 40 + 50 + 40) = 240 \text{ кгс/м}^2$. Поскольку $p_D > p_{И}$, то свободное давление стояка $p_{ДИ} = 10 \text{ кгс/м}^2$.

С т о я к ЕК. Давление в точке Е $p_E = 600 - (170 + 60 + 50 + 40 + 30 + 30) = 220 \text{ кгс/м}^2$. Давление в точке К $p_K = 600 - (170 + 60 + 40 + 50 + 40 + 40) = 200 \text{ кгс/м}^2$. Свободное давление стояка $p_{ЕК} = 20 \text{ кгс/м}^2$.

Из приведенных подсчетов видно, что для устранения обратной циркуляции в стояке ВЖ и нулевого давления в стояке ГЗ необходимо увеличить потери давления в стояке ВЖ и обратном трубопроводе ЖЗ, соответственно уменьшив диаметры труб этих участков.

Диаметр общей обратной магистрали от точки Л до котла увеличивают для уменьшения потерь в циркуляционном кольце и получения требуемого перепада давлений.

Устройство и расчет квартирного водяного отопления

Для квартирных поэтажных систем водяного отопления используют малометражные котлы, котелки или змеевики в кухонных плитах, а в качестве нагревательных приборов — чугунные или стальные штампованные радиаторы.

С целью уменьшения длины и диаметра разводящих трубопроводов нагревательные приборы часто располагают у внутренних стен, что позволяет устанавливать их выше обычного на 0,3—0,4 м от пола. Такое расположение приборов увеличивает естественное давление в системе, но приводит к неравномерному прогреву воздуха в помещении. Подающий трубопровод прокладывают открыто под потолком помещений, обратный — у пола или в подпольном канале. Главный стояк обычно прокладывают в борозде стены, тщательно изолируют и соединяют в верхней точке с расширительным баком, снабженным муфтами для укрепления водомерного стекла и переливной трубой (лист III.30, рис. 1 и лист III.18, рис. 4).

Действительное располагаемое естественное давление в системе p_p в кгс/м^2 с учетом влияния охлаждения воды в трубах ориентировочно можно определить по формуле

$$p_p = bh(l + h) \pm h_1(\gamma_o - \gamma_r), \quad (\text{III.81})$$

где b — безразмерный коэффициент;

h — высота расположения подающей магистрали над центром нагрева воды в котле, м;

l — горизонтальное расстояние от главного стояка до наиболее удаленного от котла, м;

h_1 — вертикальное расстояние от середины нагревательного прибора до центра нагрева воды в котле, м;

$\gamma_o - \gamma_r$ — разность плотностей воды обратного и подающего трубопроводов (см. табл. III.4).

Коэффициент b при неизолированных трубах принимают равным 0,4, при изолированном главном стояке и обратных магистралях — 0,36, при всех изолированных трубах — 0,16. Расстояние h_1 принимают со знаком плюс, если середина прибора выше центра нагрева воды в котле, и со знаком минус, если середина прибора ниже его.

Ввиду незначительной величины располагаемого естественного давления γ_p гидравлический расчет трубопроводов системы выполняют весьма тщательно с учетом всех особенностей прокладки труб.

При расчете квартирных систем водяного отопления рекомендуется:

для определения естественного давления принимать, что центр нагрева воды в котле расположен не по середине высоты котла, а на 150 мм выше колосниковой решетки, т. е. плоскости наиболее интенсивного нагрева воды;

расчетную теплоотдачу нагревательных приборов уменьшать за счет полезного тепла, отдаваемого неизолированными трубами, проложенными открыто в отапливаемых помещениях;

поверхность нагрева отопительных приборов определять с учетом полезной теплоотдачи трубы по фактической средней температуре воды, проходящей через приборы, т. е. с учетом охлаждения воды в трубах;

параметры теплоносителя принимать $\Delta t = 95 - 70 = 25^\circ \text{C}$. В этом случае формула (III.81) приобретает более простой вид:

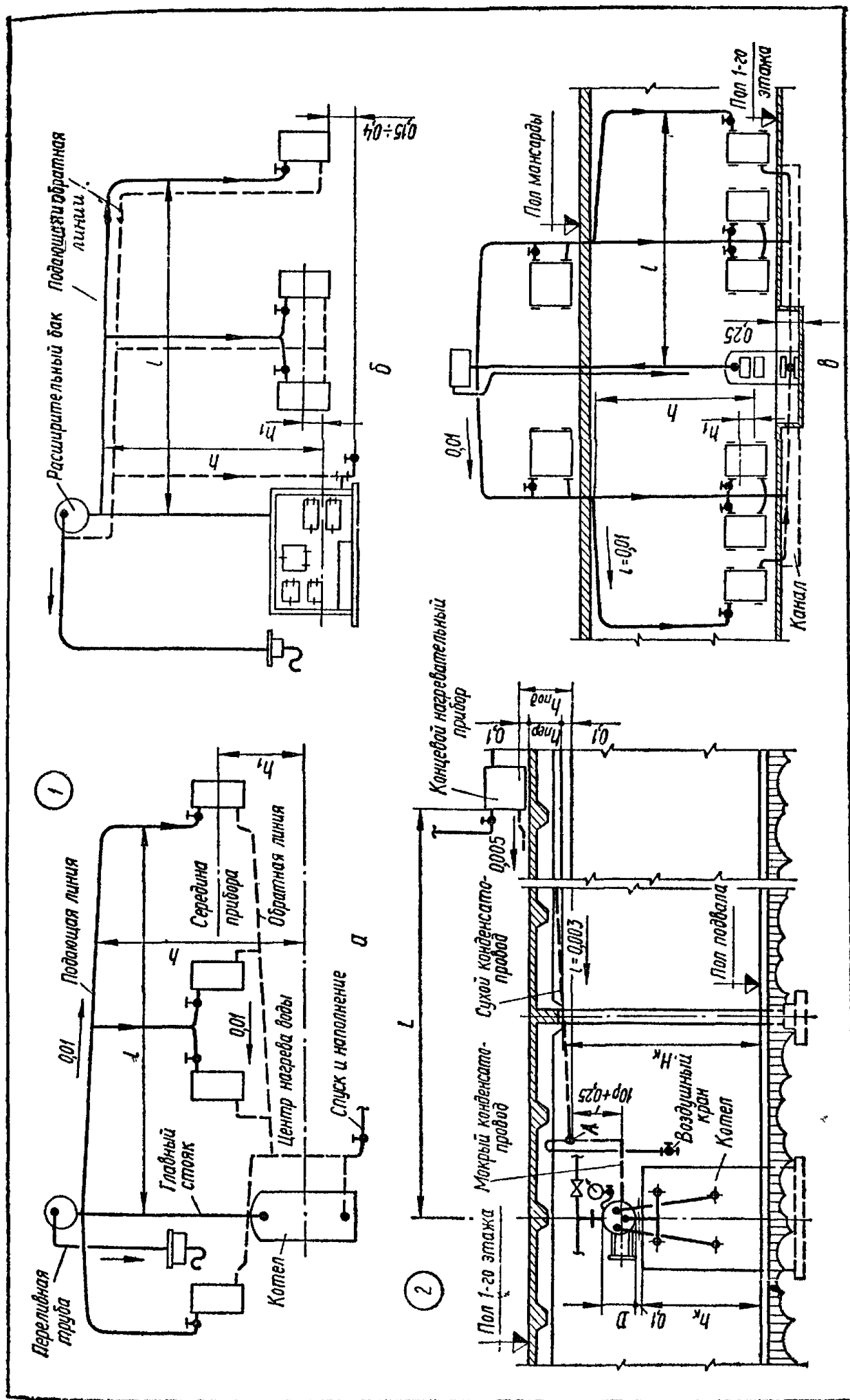
$$p_p = bh(l + h) \pm 0,64h_1\Delta t. \quad (\text{III.82})$$

Для квартирных систем водяного отопления с естественной циркуляцией, обычно проектируемых как одноэтажные, а иногда как двухэтажные, можно дать такие общие рекомендации по гидравлическому расчету трубопроводов*:

горизонтальные участки трубопроводов, в которых охлаждается вода, следует прокладывать в помещениях возможно выше, чтобы увеличить располагаемый перепад давлений p_p ;

поскольку трубопровод с горячей водой охлаждается интенсивнее, чем трубопровод с обратной водой, прокладываемый ниже его, увеличение диаметров труб

* И. Ф. Л и в ч а к. Квартирное водяное отопление. М., изд. МҚХ РСФСР, 1950.



Лист III.30. Расчетные схемы:

1 — квартирный водяного отопления в обычном одноэтажном доме (а — с водягрейным котлом; б — со змеевиком в плите) и в одноэтажном доме с мансардой (в); 2 — замкнутого пароснабжения.

при увязке расходуемых давлений следует принимать на горизонтальных участках горячей линии;

гидравлический расчет трубопроводов квартирных систем водяного отопления производят с особой тщательностью; при этом выявляют действительные располагаемые давления p_p во всех частях системы.

Расчет выполняют в два этапа: предварительный и окончательный. Предварительный расчет заключается в определении ориентировочных диаметров труб и сопоставлении полученных суммарных потерь давления в циркуляционных кольцах с величиной p_p , найденной по приближенной формуле (III.81). При окончательном расчете выявляют полезные тепловыделения от открыто проложенных труб (см. табл. III.36), затем определяют действительные температуры циркулирующей воды во всех участках расчетной схемы. Удельные тепловыделения открыто проложенных труб принимают в зависимости от температуры воды в начале расчетного участка и внутренней температуры помещения.

По значениям $Q_{тр}$ и расходу G вычисляют возможное остывание воды на расчетном участке ($\Delta t' = Q_{тр} : G$), затем находят температуру в конце расчетного участка, при известной температуре в его начале ($t_k = t_n - \Delta t'$).

Следует иметь в виду, что температура воды в конце данного расчетного участка будет одновременно температурой в начале следующего за ним по ходу воды другого расчетного участка. По найденным температурам воды на участках главного циркуляционного кольца по формуле (III.81) уточняют действительное располагаемое естественное давление p_p и сравнивают его с полученными потерями давления по предварительному расчету.

Расчет главного и промежуточных циркуляционных колец выполняют последовательно через все нагревательные приборы. Диаметры стояков, питающих по два прибора с горячими подводками примерно одинаковой длины, обычно назначают одинаковыми по прибору с большей нагрузкой. При расхождении величин потерь давлений по предварительному и окончательному расчетам в пределах 5—15% полученные результаты можно считать удовлетворительными.

В квартирных системах водяного отопления следует устанавливать нагревательные приборы и арматуру на трубопроводах с минимальным гидравлическим сопротивлением.

Расчет паропроводов низкого давления

Выбор параметров парового отопления низкого давления обусловливается принятым к установке оборудованием, радиусом действия системы и схемой возврата конденсата от нагревательных приборов и теплообменников на тепловой центр. В отличие от водяного для парового отопления ветви паро- и конденсатопроводов рассчитывают отдельно.

В разомкнутых (открытых) системах пароснабжения низкого давления, сообщающихся с атмосферой, рабочее давление пара в котле или на вводе паропровода в здание p в кгс/см^2 рекомендуется принимать в зависимости от радиуса действия (см. стр. 99). В таких системах пароснабжения принимают следующий располагаемый перепад давлений в кгс/м^2 .

в системах отопления без конденсатоотводчиков при самотечном возврате конденсата на тепловой центр

$$p_p = 10\,000p - 200; \quad (\text{III.83})$$

в системах отопления с напорными конденсатопроводами и при установке конденсатоотводчиков

$$p_p = 10\,000p - 350, \quad (\text{III.84})$$

где 200 кгс/м^2 — давление пара перед вентилем расчетного нагревательного прибора или теплообменника;

350 кгс/м^2 — то же, при установке конденсатоотводчика.

В замкнутых системах парового отопления низкого давления рабочее давление пара в котле p принимают в зависимости от высоты помещения котельной в подвале отапливаемого здания и радиуса действия системы. Высоту котельной назначают не менее $H_k = 3,5 \div 4 \text{ м}$, не допуская возможности подпора конденсата в приборы, расположенные на 1-м этаже здания.

При заданных высотах подвала H_k и принятого к установке парового котла h_k (лист III.30, рис. 2) имеем следующую связь высотных размеров:

$$H_k + h_{пер} + 0,1 = h_k + 0,1 + \frac{D}{2} + (10p + 0,25) + h_{под}, \quad (\text{III.85})$$

где $h_{\text{пер}}$ — толщина междуэтажного перекрытия, м;

D — диаметр паросборника котла, м;

$h_{\text{под}}$ — высота подъема конденсатопровода, проложенного с уклоном не менее 0,003 от точки перелома A до нижнего ниппеля радиатора, м, определяемая по формуле

$$h_{\text{под}} = 0,1 + h_{\text{пер}} + 0,2 \geq L \cdot 0,003, \quad (\text{III.86})$$

где 0,2 — минимальный запас высоты по монтажным требованиям, м.

Подставив в формулу (III.85) величину $h_{\text{под}}$, находим искомые значения H_k и p :

$$H_k = h_k + \frac{D}{2} + 10p + 0,55; \quad (\text{III.87})$$

$$p = \left[H_k - \left(h_k + \frac{D}{2} + 0,55 \right) \right] 0,1, \quad (\text{III.88})$$

где 0,1 — коэффициент перевода *м вод. ст.* в *кгс/м²*.

Рабочее давление пара в котле p зависит также от радиуса действия системы пароснабжения и принятых сечений паропроводов, т. е. от величины гидравлических потерь. Необходимое рабочее давление пара в котле замкнутых систем пароснабжения при заданном радиусе действия L в м можно найти по формуле

$$p = \left(\frac{R_{\text{ср}}}{\beta} + 200 \right) 0,0001, \quad (\text{III.89})$$

где $R_{\text{ср}}$ — средняя удельная потеря давления на трение, *кгс/м²* на 1 м;

0,0001 — множитель перевода *кгс/м²* в *кгс/см²*.

При известных значениях радиуса действия системы пароснабжения и доли гидравлических потерь, приходящихся на трение, $\beta = 0,65$ и $R_{\text{ср}} = 6,5$ *кгс/м²* на 1 м рабочее давление пара в котле

$$p = (10L + 200) 0,0001. \quad (\text{III.90})$$

Отсюда максимальный радиус действия системы пароснабжения при замкнутой схеме и заданном рабочем давлении пара в котле

$$L = \frac{0,65 (10\,000p - 200)}{6,5} = 0,1 (10\,000p - 200). \quad (\text{III.91})$$

Паропроводы низкого давления можно рассчитать методом удельной потери на трение при помощи вспомогательных таблиц III.60 и III.61 в следующем порядке.

Сначала находят наименьшее значение $R_{\text{ср}}$ для наиболее протяженной и нагруженной ветви паропровода по формуле

$$R_{\text{ср}} = \frac{\beta p_p}{\Sigma l} = \frac{0,65 (10\,000p - 200)}{\Sigma l}, \quad (\text{III.92})$$

где p — начальное избыточное давление пара, *кгс/см²*;

Σl — суммарная длина участков паропровода, м.

По значениям $R_{\text{ср}}$ и тепловым нагрузкам Q , пользуясь табл. III.60, находят искомые диаметры труб и скорости пара на расчетных участках. Затем, подсчитав сумму к.м.с. по табл. III.65, по найденным ранее скоростям пара (см. табл. III.61) определяют потери давления в местных сопротивлениях Z .

Гидравлический расчет паропроводов выполняют с запасом давления не менее 10%. Для уравнивания потерь давления в отдельных частях системы пароснабжения устанавливают дроссельные шайбы (см. лист III.22, рис. 3): на подводках к приборам, если разность давлений в стояках превышает 50 *кгс/м²*, и на стояках — по одной шайбе на все приборы, присоединенные к стояку.

В системах пароснабжения низкого давления при $p > 0,2$ *кгс/м²* паропроводы следует рассчитывать по табл. III.76 для пара высокого давления.

Пример III.21. Рассчитать ветвь паропроводов замкнутой системы парового отопления низкого давления, найти оптимальное давление пара в котле и высоту помещения котельной в подвале здания. К установке намечен паровой котел модели «Универсал-5». Тепловые нагрузки и высотные размеры указаны на расчетной схеме (см. лист III.31, рис. 1).

Протяженность ветви паропровода $\Sigma l = 0,5 + 6,5 + 12 + 8 + 6 = 33$ м.
Тогда минимальное рабочее давление пара в котле по формуле (III.90) должно быть
 $p = (10 \cdot 33 + 200) 0,0001 = 0,053$ кгс/м².

На основании формулы (III.87) высота котельной должна быть не менее

$$H_k = 1,85 + \frac{0,6}{2} + 10 \cdot 0,053 + 0,55 = 3,23 \text{ м.}$$

Принимаем $H_k = 3,3$ м.

Величина располагаемого перепада давлений в системе должна быть

$$p_p = 530 - 200 = 330 \text{ кгс/м}^2.$$

Удельная потеря давления по формуле (III.59)

$$R_{cp} = 0,65 \frac{330}{33} = 6,5 \text{ кгс/м}^2 \text{ на } 1 \text{ м.}$$

Высота гидравлического затвора парового котла $H = 10 \cdot 0,053 + 1 = 1,53$ м, а высота от центра паросборника котла до точки перелома конденсатопровода А, для обеспечения самотечного возврата конденсата в котел, должна быть $h = 10 \times 0,053 + 0,25 = 0,78$ м.

Пользуясь вспомогательными таблицами III.60 и III.61, ориентируясь на значение R_{cp} и не допуская резких скачков скоростей пара, рассчитываем паропровод и подбираем диаметры конденсатопровода по табл. III.78.

Результаты гидравлического расчета записываем в бланк по форме, указанной в табл. III.75.

Зная предварительные диаметры расчетных участков паропровода, по табл. III.65 подсчитываем для них сумму к. м. с.:

на участке 1 для половины радиатора $\zeta = 0,8$, для вентиля диаметром 15 мм — 16, для тройника на противотоке — 3; $\Sigma \zeta = 19,8$;

Таблица III.75. Расчет паропроводов низкого давления

Номер участка	$Q, \text{ ккал/ч}$	$l, \text{ м}$	$d_{np}, \text{ мм}$	$v, \text{ м/с}$	$R, \text{ кгс/м}^2$	$Rl, \text{ кгс/м}^2$	$\Sigma \zeta$	$Z, \text{ кгс/м}^2$	$Z(Rl + Z), \text{ кгс/м}^2$	$d_k, \text{ мм}$
1	1200	0,5	15	5,3	2,8	1,4	19,8	18,2	19,6	15
2	2400	6,5	15	10,3	9,5	61,75	2,5	8,5	20,25	15
3	4400	12	20	10,25	6,5	78	1	3,4	81,4	20
4	6000	8	25	8,65	3,8	30,4	1,5	3,5	33,9	20
5	12 000	6	32	9,85	3,2	19,2	10,5	34,5	53,7	20
$\Sigma Rl = 190,75$							$\Sigma Z = 67,9$			

на участке 2 для отвода диаметром 15 мм $\zeta = 1,5$, для тройника на проход — 1; $\Sigma \zeta = 2,5$;

на участке 3 для тройника на прямой проход $\zeta = 1$;

на участке 4 для тройника на проход с поворотом $\zeta = 1,5$;

на участке 5 для вентиля диаметром 32 мм $\zeta = 9$, для паросборника котла — 0,5, для тройника на прямой проход — 1; $\Sigma \zeta = 10,5$.

Общие потери давления в паропровode $\Sigma (Rl + Z) = 190,75 + 67,9 = 258,65$ кгс/м².

По формуле (III.45) вычисляем запас давления

$$A = \frac{330 - 258,65}{330} \cdot 100 = 21,5\%.$$

Расчет паропроводов высокого давления

В паровых системах отопления высокого давления избыточное давление пара на вводе паропроводов в здание назначают в пределах $p = 6$ кгс/см². Это давление обуславливается прочностью нагревательных приборов и предельной температурой на их наружных поверхностях, допускаемой санитарными и противопожарными нормами. В необходимых случаях давление пара на вводе в здание снижают

Таблица III.76. Расчет стальных трубопроводов

Потери от трения, кгс/м ² на 1 м	Количество пара, проходящего по трубам, кг/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
1	1,39	2,2	4,6	8,1	17,25	26,4	52,23	99,85
	2,85	3,2	3,55	3,95	4,8	5,55	6,64	7,65
1,1	1,42	2,25	4,85	8,6	17,7	27,9	55,04	105,2
	2,93	3,25	3,75	4,2	4,9	5,85	6,95	8,05
1,2	1,46	2,3	5,1	8,95	18,65	29,4	57,55	109,55
	3,03	3,35	3,95	4,4	5,2	6,2	7,27	8,4
1,3	1,5	2,35	5,3	9,35	19,4	30,75	60,06	113,85
	3,1	3,45	4,1	4,55	5,4	6,5	7,59	8,7
1,4	1,57	2,4	5,5	9,7	20,15	31,85	62,53	118,2
	3,2	3,55	4,25	4,75	5,6	6,7	7,9	9,05
1,5	1,59	2,5	5,7	10,1	21	32,95	65,08	122,35
	3,27	3,6	4,4	4,95	5,85	6,95	8,22	9,35
1,6	1,62	2,55	5,9	10,5	21,7	34	67,55	126,7
	3,37	3,75	4,55	5,1	6,05	7,15	8,53	9,7
1,7	1,65	2,6	6,15	10,8	22,5	35,1	69,7	131
	3,46	3,85	4,75	5,3	6,25	7,4	8,8	10
1,8	1,68	2,65	6,35	11,15	23,2	36,25	71,77	135,3
	3,55	3,95	4,9	5,45	6,45	7,65	9,06	10,35
1,9	1,71	2,7	6,5	11,5	24	37,35	73,88	139,6
	3,63	4	5,05	5,6	6,65	7,85	9,33	10,7
2	1,75	2,75	6,7	12	24,7	38,45	75,98	143,8
	3,7	4,05	5,15	5,85	6,9	8,1	9,6	11
2,2	1,87	2,95	7	12,5	27,05	40,6	80,13	150,6
	3,87	4,3	5,45	6,1	7,5	8,55	10,12	11,5
2,4	1,96	3,1	7,4	13	28,15	42,4	83,29	157,4
	4,05	4,5	5,7	6,35	7,8	8,9	10,52	12
2,6	2,02	3,2	7,7	13,55	29,25	44,1	86,45	164,2
	4,22	4,7	5,95	6,6	8,1	9,3	10,93	12,6
2,8	2,08	3,3	8	14,1	30,4	45,9	89,61	166,3
	4,42	4,9	6,2	6,9	8,4	9,65	11,32	12,7
3	2,15	3,4	8,35	14,55	31,5	47,6	92,78	178
	4,55	5	6,4	7,1	8,8	10	11,74	13,6
3,2	2,27	3,6	8,6	15,05	32,65	49,35	95,98	183,5
	4,75	5,3	6,65	7,3	9,1	10,35	12,12	14
3,4	2,34	3,7	8,9	15,5	33,8	51,1	99,14	189,1
	4,95	5,5	6,9	7,6	9,4	10,75	12,53	14,45
3,6	2,43	3,85	9,2	15,95	34,9	52,5	102,3	194,7
	5,08	5,65	7,1	7,8	9,7	11	12,92	14,9
3,8	2,5	3,95	9,4	16,4	36	53,95	105,43	200,2
	5,23	5,8	7,3	8	10	11,35	13,32	15,3
4	2,59	4,1	9,7	16,9	37,1	55,4	108,08	205,85
	5,4	6	7,5	8,2	10,3	11,7	13,65	15,7
4,5	2,71	4,3	10,3	18	39,3	59	114,7	218,9
	5,75	6,4	8	8,8	10,95	12,4	14,49	16,7
5	2,9	4,6	10,8	19,1	41,6	62,7	121,28	230,7
	6,12	6,8	8,35	9,3	11,55	13,1	15,32	17,6
5,5	3,03	4,8	11,3	20,3	43,75	65	127,86	242,6
	6,38	7,1	8,7	9,9	12,1	13,7	16,15	18,5
6	3,22	5,1	11,8	21,4	46	67,9	134,48	253,75
	6,7	7,45	9,1	10,5	12,8	14,3	16,45	19,4
6,5	3,35	5,3	12,3	22,9	47,75	70,7	139,75	263,95
	7,02	7,8	9,5	11,2	13,3	14,9	17,65	20,2
7	3,47	5,5	12,75	23,5	49,5	73,5	144,99	274,2
	7,28	8,1	9,85	11,5	13,8	15,5	18,32	20,95

парового отопления высокого давления при $k = 0,2$ мм

движения пара в трубе, м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

57/3,5	76/3	89,3,5	102/4	108/4	133/4	152/4,5	168,5
45,25	111,95	142,7	170,9	298,8	526,6	603,9	893,6
6,4	8,1	8,6	9	10,35	11,9	12,35	13,65
46,75	117,35	150,95	179,65	313,5	554,45	640,45	935,95
6,6	8,45	9,1	9,45	10,9	12,55	13	14,25
49	122,75	157,1	187,85	327,95	578,3	665,1	955,7
6,95	8,85	9,45	9,9	11,4	13,1	13,5	14,55
51,25	128,3	163,4	196,2	342,35	602,6	689,2	1019,95
7,25	9,25	9,85	10,3	11,85	13,65	14	15,45
53,5	133,7	169,9	204,55	355,65	626,45	713,35	1061,6
7,55	9,65	10,25	10,75	12,35	14,2	14,5	16,05
55,7	139,25	176,2	211,8	368,3	645,45	733	1103,95
7,9	10,05	10,6	11,15	12,75	14,6	15	16,65
57,9	145,55	182,5	218,65	380,7	664,4	762,1	1146,3
8,2	10,35	11	11,5	13,2	15	15,5	17,2
60,2	147,95	188,8	226,05	393,4	683	786,7	1181,6
8,5	10,7	11,4	11,9	13,65	15,5	16	17,75
62	152,4	194,1	233,1	404,1	702	810,9	1214,75
8,75	11,7	11	12,25	14	15,9	16,45	18,2
63,9	156,85	199,49	240,1	414,75	721	835,05	1247,9
9,05	11,3	12	12,65	14,4	16,3	16,95	18,7
65,75	161,1	204,9	246,6	425,4	740	859	1280,4
9,3	11,65	12,35	12,95	14,75	16,75	17,45	19,1
66,75	170	215,5	258,6	447,1	777,5	908,45	1346,7
10,1	12,3	13	13,6	15,5	17,6	18,4	20,1
74,2	177,3	226,1	270,7	468,1	815,5	956,7	1412,4
10,5	12,8	13,6	14,2	16,2	18,5	19,4	21
77	184,7	232,8	282,9	488,9	853	991,2	1473,1
10,9	13,3	14	14,9	16,9	19,3	20,1	21,9
79,85	191,29	244,35	293,2	506,8	891,1	1025,7	1527,4
11,3	13,8	14,7	15,4	17,6	20,2	20,8	22,6
82,6	199,35	253,3	304,4	521,8	929,1	1060,2	1581,8
11,7	14,4	15,25	16	18,1	21	21,5	23,4
85,4	206,85	265,45	313,7	537	956,5	1089,7	1636,1
12,1	14,9	15,8	16,5	18,6	21,65	22,2	24,2
88,25	212,5	270,25	324,15	552,3	983,9	1129,2	1690,5
12,5	15,35	16,3	17	19,1	22,3	22,9	24,95
91,1	218,2	278,1	333,1	567,6	1010,8	1163,6	1745,5
12,9	15,75	17	17,5	19,7	22,9	23,6	25,7
93,9	232,9	285,7	342,4	582,6	1038,2	1198,1	1788,6
13,3	16,2	17,2	18	20,2	23,5	25,8	26,3
96,25	239,7	293,5	351,5	597	1065,6	1232,6	1831,7
13,6	16,6	17,7	18,5	20,7	25,1	26,3	26,95
102,1	244	311,6	373,4	636	1134,1	1318,8	1940,35
14,4	17,6	18,8	19,6	22	25,7	26,8	28,5
108	258,2	328,8	393,7	674	1202,5	1386,3	2048,35
15,3	18,6	19,8	20,7	23,4	27,2	28,1	30
113,9	272,5	345,4	412,2	712,1	1262,2	1453,8	2157
16,1	19,7	20,8	21,5	24,7	28,6	29,5	31,5
119,7	284,6	360,7	427,8	749,9	1316,1	1521,3	2265
16,9	20,5	21,7	22,5	26	29,8	30,9	33,1
124,4	296,8	376,1	443,5	777,6	1370	1588,8	2361
17,6	21,4	22,7	23,3	27	31	32,25	35,45
129,1	308,8	388	459,1	805	1423,9	1650,4	2444,3
18,25	22,3	23,4	24,15	27,9	32,2	33,5	36,6

Потери от трения, кгс/м ² на 1 м	Количество пара, проходящего по трубам, кг/ч (первая строка) и скорость водогазопроводных (ГОСТ 3262—62)							
	10	15	20	25	32	40	50	70
7,5	3,6	5,7	13,25	24,6	51,6	76,3	150,19	284,4
	7,7	8,7	10,2	12	14	16,1	18,98	21,7
8	3,73	5,9	13,7	25,5	53,1	79,2	155,46	293,5
	8,06	9	10,6	12,5	14,8	16,7	19,64	22,4
8,5	3,85	6,1	14,2	26,5	54,9	81,75	160,7	302,7
	8,28	9,2	11	12,9	15,25	17,2	20,3	23,1
9	3,98	6,29	14,7	27,45	56,2	84	165,17	312,1
	8,45	9,4	11,3	13,1	15,6	17,7	20,87	23,85
9,5	4,1	6,56	15,2	27,7	57,7	86,2	169,6	320,9
	8,6	9,5	11,7	13,25	16	18,1	21,43	24,5
10	4,17	6,6	15,65	28,5	59	88,4	174,07	328,7
	8,8	9,8	12,1	13,4	16,4	18,6	21,99	25,1
11	4,42	7	16,35	29	61,8	92,8	182,98	344,6
	9,25	10,25	12,6	14,1	17,2	19,5	23,12	26,3
12	4,61	7,3	17	30,2	64,6	97,2	190,87	360,3
	9,8	10,75	13,2	14,75	18	20,45	24,12	27,5
13	4,8	7,6	17,75	31,4	67,4	101,7	198,8	372,7
	10,15	11,2	13,7	15,35	18,75	21,4	25,13	28,5
14	4,96	7,85	18,45	32,7	70,15	105,3	206,72	385,1
	10,45	11,5	14,25	15,95	19,5	22,15	26,12	29,4
15	5,11	8,1	19,15	33,9	72,95	108,9	214,61	397,6
	10,75	11,9	14,8	16,55	20,3	22,9	27,12	30,4
16	5,27	8,35	19,85	35,15	75,2	112,5	221,52	410,1
	11,1	12,3	15,3	17,1	20,9	23,7	27,99	31,3
17	5,43	8,6	20,55	36,1	77,4	116,1	228,43	422,6
	11,4	12,6	15,9	17,6	21,5	24,4	28,86	32,3
18	5,59	8,85	21,25	37,2	79,6	119,8	235,37	435
	11,7	13	16,4	18,1	22,15	25,2	29,73	33,2
19	5,75	9,1	21,8	38,2	81,9	124,6	241,91	447,4
	12	13,35	16,8	18,6	22,8	26,2	30,67	34,2
20	5,87	9,8	22,3	39,2	84,1	128,2	248	459,9
	12,35	13,7	17,2	19,1	23,4	27	31,34	35,1
22	6,19	9,8	23,4	41,2	88,55	133,9	260,27	484,9
	13	14,4	18	20,1	24,6	28,2	32,89	37
24	6,5	10,3	24,5	43,3	93	138,45	271,8	509,7
	13,65	15,15	18,9	21,1	25,9	29,1	33,34	38,95
26	6,82	10,8	25,5	44,85	96,6	144,15	282,9	534,7
	14,3	15,9	19,7	21,9	26,9	30,3	35,75	40,9
28	7,13	11,3	26,6	45,7	100,2	147,8	293,61	553,7
	14,9	16,6	20,5	22,3	27,9	31,1	37,1	42,3
30	7,32	11,6	27,5	48	103,8	154,9	303,9	573,1
	15,35	17,1	21,2	23,4	28,9	32,6	38,4	43,8
32	7,58	12	28,35	40,6	107,35	160,3	313,9	591,9
	15,85	17,6	21,9	24,2	29,9	33,7	39,66	45,2
34	7,76	12,3	29,2	51,2	110,95	165,3	322,35	610,2
	16,3	18,1	22,6	25	30,9	34,8	40,7	46,6
36	8,02	12,7	30,1	52,7	114	170,3	331,8	627,9
	17	18,6	23,25	25,7	31,7	35,8	41,8	48
38	8,21	13	31	54,3	117,2	175,3	340,79	645
	17,25	19,15	23,9	26,5	32,6	36,9	43	49,3
40	8,46	13,4	31,9	55,9	120,25	180,3	349,63	661,8
	17,7	19,7	24,6	27,2	33,4	37,9	44,2	50,6
45	8,96	14,2	33,6	58,5	128	192	370,86	701,8
	18,9	21	26	29,4	35,6	40,3	46,8	53,6
50	9,53	15,1	35,3	61,1	135	202	390,91	739,9
	20	22,25	27,3	30,7	37,1	42,4	49,4	56,5

движения пара в трубе, м/с (вторая строка) при диаметре условного прохода труб, мм

бесшовных (ГОСТ 8732—70)

57/3,5	76/3	89/3,5	102/4	108/4	133/4	152/4,5	168/5
133,7	319,2	399,8	474,9	832,7	1477,3	1705,6	2528,3
18,8	23	24,1	25	28,9	33,4	34,6	37,8
138,4	329,7	405	490,5	860,1	1531,2	1760,7	2611,6
19,6	23,8	24,45	25,8	29,8	34,7	35,7	38
143,1	340,1	423,5	506,3	887,5	1547,5	1815,4	2695
20,2	24,55	25,5	26,6	30,8	35,6	36,85	40,2
147,1	349,1	435,5	521,9	915,2	1617,8	1870,6	2778,9
20,8	25,2	26,25	27,45	31,7	36,6	38	41,3
151	357,3	447,3	537,65	982,6	1660,7	1925,8	2862,2
21,35	25,8	26,95	28,3	32,7	37,6	39,1	42,55
155	365,2	459,2	553,25	975,2	1704	1973,1	2937
21,85	26,4	27,7	29,1	33,8	38,6	40	43,6
162,9	381,3	482,9	584,6	1022,8	1790,1	2069,6	3071,8
23	27,5	29,1	30,75	35,5	40,5	42	45,5
170	397,35	506,7	616,2	1068,3	1869,2	2161,8	3206,65
24	28,7	30,5	32,4	37	42,3	43,9	47,4
177	413,4	530,4	641,6	1111,9	1945,6	2250	3341,45
25	29,8	32	33,75	38,55	44	45,7	49,3
184	429,5	556,9	665,4	1153,7	2010	2334,2	3480,5
26	31	33,6	35	40	45,7	47,4	51,2
191,1	445,4	576,5	689,2	1194,4	2089,6	2416,5	3595,55
27	32,15	34,75	36,25	41,4	47,3	49,05	52,9
197,2	461,5	595,4	712	1223,6	2158,6	2496,3	3710,6
27,9	33,3	35,9	37,45	42,8	48,9	50,7	54,6
203,4	477,6	613,7	733,5	1271,1	2224,8	2574,1	3825,65
28,8	34,4	37	38,6	44,1	50,4	52,2	57,2
209,5	493,5	631,4	754,8	1308,3	2289,3	2647,5	3941,4
29,6	35,6	38	39,7	45,4	51,8	53,7	58,8
215,4	509,7	648,7	775,7	1342,3	2352	2720	4056,5
30,5	36,8	39,1	40,8	46,5	53,2	55,2	60,5
220,85	524,1	665,6	795,6	1379,25	2413	2855,4	4163
31,2	37,8	40,1	41,85	47,8	54,6	58	62
231,7	549,7	698,1	834,4	1446,45	2531	2926,85	4363,5
32,8	39,7	42,1	43,9	50,15	57,3	59,4	64,8
242,1	574,1	729,1	871,5	1510,8	2643,6	3056,9	4556,2
34,2	41,4	43,95	45,8	52,4	59,8	62	67,55
251,9	597,5	759	907	1572,5	2751,4	3182	4776,4
35,6	43,1	45,75	47,7	54,5	62,3	64	70,7
261,45	620,1	787,5	941,3	1631,9	2855,2	3302,25	4957,1
37	44,8	47,5	49,5	56,6	64,6	67	73,2
270,6	641,9	815,2	974,3	1689	2955,5	3418,5	5131,5
38,2	46,3	49,1	51,25	58,6	66,9	69,4	75,1
279,5	662,9	842	1006,3	1744,7	3052,3	3529,85	5229,45
39,5	47,85	50,75	52,9	60,5	69,1	71,65	78,1
288,1	683,3	856	1037,3	1798,3	3146,4	3688,75	5351,8
40,7	49,3	51,5	54,6	62,35	71,2	73,9	80,4
296,45	703,25	893	1067,5	1850,25	3237,4	3744,15	5510,65
41,9	50,8	53,8	56,15	64,15	73,3	76	82,6
304,6	722,5	917,4	1095,6	1901	3326,2	3846,6	5774,5
43	52,15	55,3	57,7	65,9	75,3	78,1	84,8
312,4	741,2	941,5	1125,1	1950,6	3412,8	3946,6	5924,8
44,2	53,5	56,75	59,2	67,6	77,25	80,1	87,6
331,5	786,2	998,4	1193,4	2068,9	3620	4186,6	6284,1
46,9	56,75	60,2	62,8	71,7	81,9	85	93
349,35	828,8	1052,5	1258	2180,8	3815,7	4412,7	6624,3
49,4	59,8	63,4	66,2	75,6	86,4	89,6	97,85

дресселированием. Перед расчетным теплообменником давление пара в системах высокого давления принимают

$$p_1 = \frac{p_2}{0,7}, \quad (\text{III.93})$$

где p_2 — давление пара в конденсатопроводе после конденсатоотводчика, кгс/см^2 .

Величину располагаемого перепада давлений в паропроводах высокого давления, прокладываемых внутри зданий, обычно назначают в пределах $p_p = 1 \div 1,5 \text{ кгс/см}^2$, сообразуясь с радиусом действия и режимом работы потребителей пара.

Гидравлический расчет паропроводов высокого давления выполняют по условным величинам потерь давления на трение и предельным скоростям пара на расчетных участках (см. табл. III.58), пользуясь таблицами и номограммами, составленными при плотности пара $\gamma' = 1 \text{ кг/м}^3$. Истинные потери давления и скорости пара равны условным — табличным значениям, поделенным на среднюю плотность пара в рассматриваемой ветви паропровода.

Упрощенный расчет коротких паропроводов высокого давления (длиной до 100—200 м) удобно выполнять методом удельной потери давления на трение по предельным скоростям пара, допуская, что значения R постоянны по длине расчетного участка при некотором среднем давлении пара в рассматриваемой ветви паропровода:

$$p_{\text{ср}} = \frac{p_{\text{н}} + p_{\text{к}}}{2}, \quad (\text{III.94})$$

где $p_{\text{н}}$ и $p_{\text{к}}$ — начальное и конечное давление в паропроводе, кгс/см^2 .

Средняя потеря давления на 1 м паропровода в кгс/м^2

$$R_{\text{ср}} = \frac{p_{\text{н}} - p_{\text{к}}}{\Sigma l} \cdot 10\,000. \quad (\text{III.95})$$

Руководствуясь значением $p_{\text{ср}}$, по табл. III.5 определяют теплоту испарения пара $r_{\text{ср}}$, затем по тепловой нагрузке Q находят расходы пара на расчетных участках в кг/ч :

$$G = \frac{Q}{r_{\text{ср}}}. \quad (\text{III.96})$$

Гидравлический расчет паропроводов производят по табл. III.76, ориентируясь на предельные скорости пара $v_{\text{т}}$ по табл. III.58 и принимая значение удельных потерь на трение $R_{\text{т}}$. Далее сравнивают их с истинными величинами скорости пара $v_{\text{ф}}$ и потерь на трение $R_{\text{ф}}$, полученными путем деления табличных значений на среднюю плотность пара $\gamma_{\text{ср}}$. Результаты расчета записывают в бланк по форме, приведенной в табл. III.77, предусматривая запас на неучтенные потери в местных сопротивлениях не менее 20%.

Т а б л и ц а III.77. Расчет коротких паропроводов высокого давления по предельным скоростям пара

Номер участка	Расход		$l, \text{ м}$	$d, \text{ мм}$	Потери от трения, кгс/м^2			Скорость пара, м/с	
	тепла $Q, \text{ ккал/ч}$	пара $G, \text{ кг/ч}$			$R_{\text{табл}}$	$R_{\text{ф}}$	$lR_{\text{ф}}$	$v_{\text{табл}}$	$v_{\text{ф}}$

Расчет конденсатопроводов

Самотечные сухие и мокрые конденсатопроводы можно рассчитывать по упрощенной табл. III.78 с подбором диаметров по величине тепловой нагрузки участка и способу прокладки труб.

Сухие конденсатопроводы частично заполнены конденсатом, а бóльшее свободное сечение трубы служит для отвода воздуха из системы. Мокрые напорные конденсатопроводы работают полным сечением труб, меньше подвергаются коррозии; их можно рассчитывать как водопроводы по табл. IV.20.

Напорные конденсатопроводы рекомендуется рассчитывать* по располагаемому перепаду давлений, найденному по формуле

$$p_p = h\gamma\eta, \quad (\text{III.97})$$

где h — вертикальное расстояние между начальной и конечной точками магистрального трубопровода, м, или $h = li$, т. е. произведение длины магистрали l и ее уклона i ;

γ — плотность воды, кг/м³, принимаемая по табл. III.4;

η — коэффициент, учитывающий наличие смеси воздуха или эмульсии.

Для горизонтальных трубопроводов и стояков внутренних сетей парового отопления с давлением $p \leq 0,7$ кгс/см² $\eta = 0,5$, с давлением $p > 0,7$ кгс/см² $\eta = 0,65$; для горизонтальных трубопроводов наружных сетей $\eta = 0,75$; для напорных конденсатопроводов, работающих под давлением от бака за счет разностей уровней, $\eta = 1$.

Если давление создается насосом, то диаметр напорного конденсатопровода определяют по расчетному перепаду давлений, необходимому для перекачки конденсата по магистральному трубопроводу. Расчетное количество конденсата при перекачке насосом принимают по производительности насоса, а при передавливании напорным баком — по расчетному расходу пара с коэффициентом 1,5. Во всех остальных случаях расчетное количество конденсата принимают по массе пара.

Таблица III.78. Количество тепла, выделяемого паром при конденсации, тыс. ккал/ч

Диаметр труб конденсатопровода, мм	Сухой конденсатопровод при паре			Мокрый горизонтальный или вертикальный конденсатопровод при длине расчетного участка, м		
	низкого давления		высокого давления	до 50	50—100	более 100
	горизонтальный участок	вертикальный участок				
15	4	6	7	28	18	8
20	15	22	25	70	45	25
25	28	42	38	125	80	40
32	68	100	80	270	175	85
40	104	155	110	375	250	115
50	215	320	200	650	440	215
76×3	500	750	475	1500	1050	500
89×3,5	750	1120	700	2250	1500	750
102×4	1100	1650	1050	3100	2000	1100
114×4	1400	2100	1350	3900	2600	1400

Примечание. Длина мокрого конденсатопровода считается от наиболее удаленного прибора до котла.

Для напорных конденсатопроводов величину p_p определяют высотой установки промежуточного бака-сепаратора при $p_p \leq 5$ м (лист III.31, рис. 2). Бак может находиться под избыточным давлением $p_6 < 0,5$ кгс/см². Если конденсат перекачивается насосом, то p_p принимают по напору насоса.

Необходимый перепад давлений, создаваемый в напорном конденсатопроводе баком-сепаратором, можно подсчитать по формуле

$$p_p = p_1 \pm 0,1\Delta h + \Delta p \leq 0,5 \text{ кгс/см}^2, \quad (\text{III.98})$$

где $p_1 = 0,35$ кгс/см² — давление в конце конденсатопровода перед конденсатоотводчиком (при возврате конденсата в открытый бак $p_1 = 0$);

Δh — разность отметок начала и конца конденсатопровода, м (принимается со знаком плюс или минус в зависимости от соотношения отметок);

Δp — потери давления в конденсатопроводе от напорного бака-сепаратора до конденсатосборного бака на тепловом центре, кгс/см².

Если конденсат под давлением пара выжимается конденсатоотводчиком из сборного конденсатопровода в напорный бак-сепаратор, то высоту подъема конденсата рассчитывают по формуле (III.37).

*П. Ю. Гамбург. Таблицы и примеры расчетов трубопроводов отопления и горячего водоснабжения. М., Госстройиздат, 1961.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ

Область применения

Системы горячего водоснабжения могут применяться с местным или централизованным приготовлением горячей воды. В жилых зданиях разрешается устраивать только один вид горячего водоснабжения — местное или централизованное.

Местные системы горячего водоснабжения применяют в жилых зданиях любой этажности с газовыми водонагревателями, если есть возможность размещения каналов для отвода продуктов сгорания, а также в жилых зданиях высотой до пяти этажей включительно с дровяными колонками (при отсутствии газопровода).

Индивидуальные водонагреватели различных конструкций для местного приготовления горячей воды применяют в зданиях с расходом тепла на горячее водоснабжение не более 50 000 ккал/ч при количестве душевых сеток не более пяти. Установка индивидуальных газовых водонагревателей не допускается в ванных комнатах при номерах гостиниц, домов отдыха и санаториев, в школах (кроме буфетов и жилых квартир), а также в душевых при спортивных залах и котельных.

В малоэтажных жилых домах систему горячего водоснабжения часто выполняют в виде квартирной установки с приготовлением горячей воды в генераторах тепла, отдельных или совмещенных с центральным отоплением квартиры.

Для получения кипяченой воды применяют кипятильники различных систем с непосредственным или централизованным водоразбором. Применение электрических водонагревателей во всех случаях должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

Централизованные системы горячего водоснабжения применяют в зданиях, присоединяемых к тепловым сетям или имеющих собственные котельные с водонагревательными установками. Эти системы бывают трех видов:

- с непосредственным водоразбором из тепловой сети;
- с приготовлением горячей воды в тепловых пунктах, присоединяемых к тепловым сетям;
- с приготовлением горячей воды непосредственно в водогрейных котлах, контактных водонагревателях или теплообменниках.

Для нагрева воды применяют скоростные или емкие водонагреватели и открытые баки-аккумуляторы. Сети трубопроводов горячего водоснабжения, как правило, предусматривают с нижней тупиковой разводкой. Кольцевание разводки допускается при соответствующем обосновании. В зданиях с длительными постоянными расходами горячей воды (в банях, прачечных, больших общественных столовых, ресторанах и пр.) разводящий трубопровод устраивают с тупиковой сетью и короткими ответвлениями. В медицинских учреждениях, а также в многоэтажных домах и гостиницах для уменьшения остывания воды в трубах и поддержания равномерной температуры в системе в течение суток применяют разводящий трубопровод с циркуляционной сетью.

Необходимая интенсивность циркуляции теплоносителя при отсутствии водоразбора поддерживается за счет перепада давлений, как и при работе системы центрального водяного отопления с естественным и насосным побуждением циркуляции. Циркуляцию воды в системах горячего водоснабжения с непосредственным водоразбором из тепловой сети предусматривают из обратной линии (зимний режим) за счет разности давлений, создаваемой диафрагмой, между точками присоединения подающего и циркуляционного трубопроводов системы горячего водоснабжения к обратной линии тепловой сети, а также из подающей линии (летний режим) за счет разности давлений, создаваемой диафрагмой на циркуляционном трубопроводе системы горячего водоснабжения.

В жилых зданиях высотой до четырех этажей включительно, если нет полотенцесушителей в ванных комнатах, циркуляция воды обеспечивается только в магистраль-

ных трубопроводах. В зданиях большей этажности и в зданиях, где предусматриваются полотенцесушители, присоединяемые к системе горячего водоснабжения, циркуляция воды обеспечивается также и в стояках. В зданиях, присоединяемых к тепловой сети ТЭЦ, применяют двухступенчатую схему подогрева горячей воды в скоростных водонагревателях или непосредственный водоразбор из тепловой сети (подробнее см. в разделе VI «Тепловые сети»).

Горячее водоснабжение с непосредственным водоразбором из тепловой сети допускается при обязательном условии, что вода в системе теплоснабжения отвечает требованиям, предъявляемым к хозяйственно-питьевой воде по ГОСТ 2874—73. Таким образом, эти системы могут применяться при отсутствии в воде бактериальных и химических загрязнений, механических примесей и заметной цветности.

В зданиях, присоединяемых к паровой сети низкого или высокого давления, для приготовления горячей воды применяют скоростные или емкие водонагреватели с закрытыми или открытыми баками-аккумуляторами. В емких водонагревателях воду нагревают паром при помощи змеевиков, перфорированных труб или пароструйных аппаратов. В качестве теплоносителей для водонагревателей-теплообменников рекомендуется применять высокотемпературную воду или пар с давлением 2—3 кгс/см². В жилых и общественных зданиях с котельными в подвале для нагрева воды используют пар низкого давления (до 0,7 кгс/см²).

Для бесперебойной работы системы горячего водоснабжения летом и зимой источник тепла для нагрева воды в теплообменниках не должен зависеть от работы центрального отопления. В отопительных котельных жилых и общественных зданий обычно устанавливают котлы, работающие постоянно, специально для горячего водоснабжения.

Если теплосеть обеспечивает круглогодичную подачу тепла, ее использование в качестве первичного теплоносителя для водонагрева обязательно. Возможность использования для горячего водоснабжения теплосети, действующей только в течение отопительного периода, решается технико-экономическим расчетом.

Во всех случаях, когда необходим постоянный запас горячей и холодной воды (например, в банях, прачечных, медицинских учреждениях и больших жилых домах), обычно осуществляется открытая система горячего водоснабжения с установкой емких напорных баков горячей и холодной воды на чердаке в специальных утепленных будках.

Пополнение воды в системе во время водоразбора происходит автоматически через шаровой кран из сети городского водопровода. При недостаточном давлении в городском водопроводе или при больших колебаниях давления на протяжении суток для бесперебойного пополнения системы горячего водоснабжения дополнительно предусматривается установка насоса.

Открытая система горячего водоснабжения находится под постоянным давлением, равным высоте расположения напорных баков над данной точкой водоразбора.

При наличии в городской сети водопровода постоянного давления, достаточного для бесперебойной подачи воды в систему горячего водоснабжения при максимальном водоразборе, устраивают закрытые системы горячего водоснабжения. В закрытых системах устанавливают теплообменники различных конструкций, работающие на продавливании напором от городского водопровода или насосного агрегата.

Горячая вода к потребителям подается, как правило, по тупиковой схеме по самостоятельному трубопроводу с нижней разводкой. В душевых при количестве сеток более трех подающий трубопровод должен быть закольцован. В банях и прачечных разводящие трубопроводы можно прокладывать открыто под потолком помещений. Генераторы тепла, водонагреватели, главные стояки и разводящие магистрали, независимо от их расположения, должны иметь хорошую тепловую изоляцию.

Трубопроводы систем горячего водоснабжения монтируют из стальных водогазопроводных и тонкостенных оцинкованных труб (см. табл. III.40). Для наблюдения за работой системы и возможности быстрой замены труб при ремонте прокладку трубопроводов горячего водоснабжения обычно выполняют открытой. Скрытая прокладка допускается в зданиях с высокими требованиями к внутренней отделке помещений, однако при условии свободного доступа к трубам и арматуре.

Полотенцесушители ванных комнат присоединяют к циркуляционным стоякам системы горячего водоснабжения, а при их отсутствии — к системе центрального отопления.

С целью повышения долговечности и эффективности установок горячего водоснабжения, подверженных сильной коррозии и зарастающих накипью, в больших

системах рекомендуется предусматривать периодическую промывку змеевиков и межтрубного пространства водонагревателей ингибированным 5—8%-ным раствором соляной кислоты с последующей нейтрализацией 10%-ным раствором углекислой соды. Во избежание разрушения металла такую промывку следует применять не более 4—5 раз за весь период эксплуатации *. Практика длительной эксплуатации систем горячего водоснабжения показывает, что долговечность труб во многом зависит от качества стали.

С целью уменьшения коррозионного поражения труб в системах горячего водоснабжения можно применять фильтры из обожженного доломита (магномассы), которые устанавливаются на трубопроводе холодной воды до водонагревателей. Для обработки воды в установке производительностью 1 м³/ч требуется емкость фильтра 0,2 м³ с расходом 250—300 кг магномассы в год. Для нужд горячего водоснабжения используют также магнитную обработку воды.

Устройство систем горячего водоснабжения в жилых и общественных зданиях регламентируется СНиП II—Г. 8-62 «Горячее водоснабжение. Нормы проектирования», СНиП II—36-73 «Тепловые сети. Нормы проектирования» и СНиП II—Г. 1—70 «Внутренний водопровод зданий. Нормы проектирования».

Требования к качеству воды

В системах горячего водоснабжения качество воды должно соответствовать нормам для хозяйственно-питьевого водоснабжения по ГОСТ 2874-73.

Вода должна быть бесцветной, без привкуса и запаха (цветность — не более 20 град, мутность — не более 1,5 мг/л, а общая жесткость — не более 7 мг · экв/л). Общее количество бактерий в 1 мл неразбавленной воды должно составлять не более 100, количество кишечных палочек в 1 л воды — не более 3. После обеззараживания воды хлором концентрация остаточного свободного хлора в воде должна быть не менее 0,3 и не более 0,5 мг/л.

В централизованных системах горячего водоснабжения в зависимости от свойств исходной воды (жесткости, наличия агрессивной углекислоты, значения водородного показателя рН) предусматривают мероприятия по предотвращению образования накипи и защите от коррозии металла труб, арматуры и оборудования.

Жесткость воды, предназначенной для мытья в банях, должна быть не более 7 и не менее 2 мг · экв/л (см. СНиП II-Л. 13-62*), для стирки белья в прачечных — не более 1,8 мг · экв/л, что обуславливает экономный расход стирочных материалов (см. СНиП II-Л. 14-62). В банях и прачечных с высокой жесткостью воды предусматривается умягчение ее в централизованных установках. В банях вместимостью 50 мест и менее умягчение не обязательно.

Жесткость воды характеризуется содержанием ионов кальция и магния. Общая жесткость сырой воды равна сумме карбонатной и некарбонатной жесткостей. Карбонатная жесткость вызывается содержанием бикарбонатов кальция и магния и почти полностью исчезает после кипячения воды, причем бикарбонаты подвергаются распаду с образованием углекислоты и выпадением бикарбонатов в осадок. Некарбонатная жесткость после кипячения остается.

Степень кислотности или щелочности исходной воды характеризуется величиной рН. Сочетание показателя рН с содержанием углекислоты определяет степень агрессивности воды. При рН=7 вода нейтральна, чем ближе рН к нулю, тем выше кислотность воды, а чем ближе к 14, тем сильнее ее щелочность. По ГОСТ 2784-73 водородный показатель рН должен находиться в пределах 6,5—8,5.

Допустимое содержание в воде кислорода — 0,05 мг/л (см. СНиП II-36-73).

Горячее водоснабжение квартиры

В населенных пунктах, где нет централизованного теплоснабжения, для современных многоэтажных зданий горячее водоснабжение квартир можно устраивать от газовых индивидуальных водонагревателей различных типов при конструктивной возможности устройства в капитальных стенах вентиляционных и дымовых каналов

* А. В. Х л у д о в. Горячее водоснабжение. М., Госстройиздат, 1957. Подробнее см. «Руководство по эксплуатации магномассовых фильтров для стабилизации воды внутренних систем водоснабжения. М., Стройиздат, 1967.

и соблюдении других требований безопасности установки и эксплуатации газового оборудования.

Ниже приведены конструкции систем горячего водоснабжения зданий при отсутствии газоснабжения.

На листе IV.1, рис. 1 дана упрощенная схема горячего водоснабжения и отопления ванной комнаты от водогрейной колонки в кухонной плите, предложенная К. А. Дмитриевым. Горячая вода во время приготовления ее в колонке начинает циркулировать через радиатор, отапливая помещение ванной комнаты. Для создания необходимого циркуляционного давления радиатор устанавливают на высоте не менее 1 м от пола. Такую схему удобно применять в жилых домах с печным отоплением, когда установка отдельной печи в ванной комнате невозможна по условиям планировки квартиры. Радиус действия системы не более 3 м. Поверхность нагрева радиатора в м^2 определяют из выражения

$$F_{\text{пр}} = 0,005Q_{\text{т}}, \quad (\text{IV.1})$$

где $Q_{\text{т}}$ — теплопотери ванной комнаты, ккал/ч .

В начале топки воду в колонке нагревают при закрытом кране I на обратной подводке у прибора. После нагрева всей колонки кран I открывают, в результате чего создается циркуляция через радиатор. Водоразборный кран III на протяжении всего периода топки колонки открыт для спуска воды при ее температурном расширении. Для ускорения прогрева прибора кран IV открывают; холодная вода из водопровода вытесняет наиболее горячую воду из колонки в радиатор. При водоразборе кран I закрывают; в отопительном приборе остается достаточное количество горячей воды. При пользовании душем кран III закрывают, а температуру воды регулируют кранами II и IV.

В случае размещения водогрейной колонки у стены, смежной с ванной комнатой, отопление обеспечивается теплоотдачей поверхности обмуровки, обращенной в помещение; нагревательный прибор при этом не устанавливается.

На листе IV.1, рис. 2 показана схема горячего водоснабжения ванной комнаты от металлической колонки для твердого топлива заводского изготовления. При отсутствии такой колонки применяют водогрейные колонки из листовой стали в кирпичной обмуровке.

На листе IV.1, рис. 3 приведена конструкция водогрейной колонки в блоке с кухонным очагом конструкции С. Н. Васильева. Наличие обособленной топки обеспечивает быстрый нагрев воды в колонке независимо от работы плиты. Корпус колонки емкостью 110 л сварной из 2—3-миллиметровой листовой стали. В нижней части корпуса для периодической промывки колонки предусмотрен патрубок со спускным краном.

Общий недостаток водогрейных колонок — значительный расход листовой стали для их изготовления. Кроме того, при работе колонок без бачков-аккумуляторов через душевую сетку может поступать чрезмерно горячая вода.

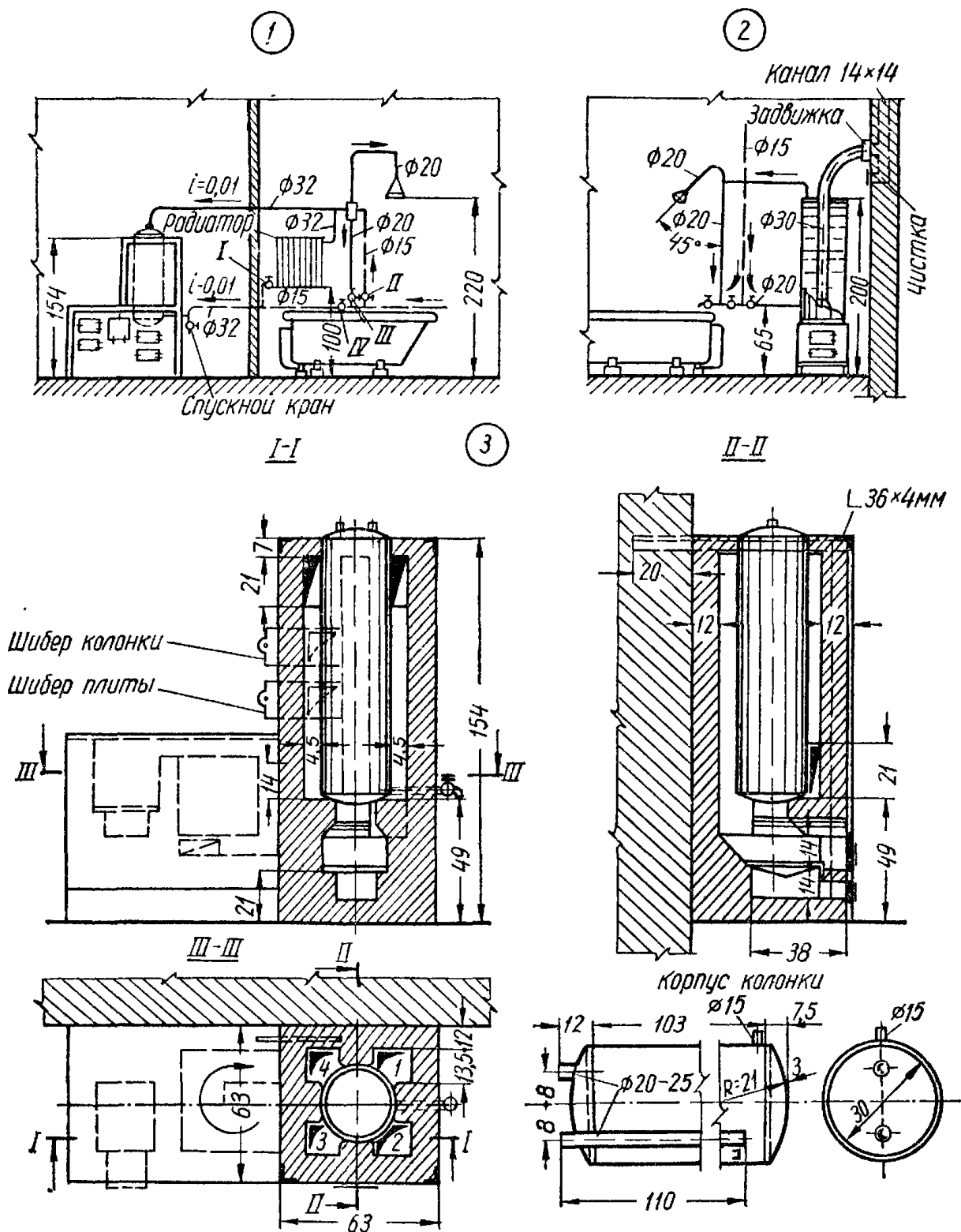
Вместо водогрейных колонок иногда применяют змеевики из труб, располагаемые под чугунным настилом кухонной плиты. Поскольку такие змеевики усложняют процесс приготовления пищи, устраивать их в небольших квартирных установках не рекомендуется. Более удачна конструкция выносного змеевика с отдельной топкой К. А. Дмитриева (лист IV.2). Теплопроизводительность змеевика 8000 ккал/ч ; поверхность нагрева $F_{\text{зм}} = 1,2 \text{ м}^2$.

Устройство водогрейной металлической колонки для ванной комнаты заводского изготовления показано на листе IV.3, рис. 1.

Характеристика водогрейной колонки для ванн (ГОСТ 8870—58)

Время нагрева воды до 70°C , мин	45—60
Емкость водяного бака, л	92 ± 2
Максимальное избыточное давление в водяном баке при пользовании душем, кгс/см^2	1
Диаметр трубопровода, подводящего холодную воду, мм . . .	15
Диаметр дымоотводящего патрубка, мм	118
Масса без воды, кг	90

Топка предназначена для сжигания твердого топлива, но колонку можно переделать на газовое топливо.



Лист IV.1. Горячее водоснабжение ванной комнаты:

В кухне индивидуальной квартиры, оборудованной газовой плитой или таганом, можно получить горячую воду для мойки посуды с помощью простейшего водонагревателя конструкции Б. М. Лушевского * (лист IV.3, рис. 2). Вода нагревается в змеевике из латунной трубки, согнутой в форме конуса, укрытого кожухом из кровельной стали. Водонагреватель устанавливается на одну из конфорок газовой плиты или тагана с отводом продуктов сгорания через патрубок, присоединенный к дымовому каналу. Холодная вода из водопровода движется по трубкам змеевика и свободно изливается через открытый конец в раковину или мойку. Расход горячей воды и ее температура регулируются поворотом вентиля на подводке водопровода. Такой водонагреватель, работающий на природном газе с низшей теплотой сгорания 8500 ккал/м^3 , может обеспечить подачу горячей воды с температурой 65°C в количестве до $0,5 \text{ л/мин}$ при минимальном давлении в сети городского водопровода $1\text{--}1,5 \text{ кгс/см}^2$.

Горячее водоснабжение, совмещенное с квартирным отоплением

Квартирная система центрального водяного отопления обычно работает с перерывами, во время которых можно приготовить горячую воду для ванны от генератора тепла отопительной установки. Такие совмещенные системы наиболее экономичны.

Установки горячего водоснабжения, совмещенные с квартирным отоплением, могут быть с непосредственным водоразбором из системы отопления или с устройством поверхностного теплообменника. На листе IV.3, рис. 3 представлена принципиальная схема горячего водоснабжения с отбором воды из системы отопления, применяемая при небольшой жесткости воды (до $3 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$). При такой схеме конструкция генератора тепла должна позволять периодическую очистку его от накипи.

Холодная вода из водопровода подается к уравнительному бачку с шаровым краном, автоматически поддерживающему постоянный уровень в баке горячей воды при водоразборе. Баки холодной и горячей воды имеют соединительную трубу, включаемую в обратную линию отопления. Такое устройство делает невозможной обратную циркуляцию горячей воды через уравнительный бачок, а при водоразборе обеспечивает поступление холодной воды по соединительной трубе в генератор тепла, минуя систему отопления. Для лучшей регулировки температуры воды у смесителя ванной холодную воду подают к нему от уравнительного бачка. Уровни воды в обоих бачках, а следовательно, давления холодной и горячей воды у смесителя ванной будут одинаковыми, поэтому смешивание воды происходит без забива струи холодной водой из водопровода.

В летнее время горячее водоснабжение работает обычным порядком, но с отключенной системой отопления, для чего на общей подающей и обратной линиях у генераторов тепла установлены проходные краны.

Бак горячей воды служит аккумулятором тепла, обеспечивающим расход горячей воды для ванны, и одновременно расширительным баком увеличенной емкости для водяного отопления (табл. IV.1).

Таблица IV.1. Расширительный бак увеличенной емкости (лист IV.4, рис. 1)

Номер бака	Полезная емкость, л	Размеры, мм			Масса без воды, кг
		A	B	B	
1	60	600	400	350	23
2	80	600	500	350	30
3	100	700	500	350	38
4	120	700	550	400	46
5	140	800	550	400	54

На листе IV.3, рис. 4 показан способ включения теплообменника горячего водоснабжения в квартирную систему водяного отопления. Установка теплообменника

* Р. В. Щ е к и н, Г. Е. Б е м. Водяное отопление. Киев, Госстройиздат УССР, 1960.

вызвана большой жесткостью воды. Водоразбор горячей воды происходит независимо от системы отопления. В теплообменнике монтируется съемный змеевик из стальных труб диаметром 25—40 мм с поверхностью нагрева $F_{зм} = 0,7 \text{ м}^2$, по которому циркулирует теплоноситель системы отопления.

В летнее время систему отопления выключают; работает лишь теплообменник горячего водоснабжения. Теплообменник с уравнительным бачком располагают ниже расширительного бака. Система отопления подпитывается непосредственно из водопровода.

Баки-аккумуляторы, уравнительные бачки и теплообменники изготавливают из листовой 3-миллиметровой стали сварными с покраской с обеих сторон масляной краской. Расположение патрубков для подводящих труб принимают по местным условиям, за исключением размеров, указанных на листе IV.4, рис. 2. Водомерное стекло бака-аккумулятора должно хорошо освещаться и просматриваться с высоты человеческого роста.

В качестве генератора тепла для водяного отопления, совмещенного с горячим водоснабжением квартиры, при наличии природного газа с успехом может быть применен газовый автоматический водонагреватель, например, типа АГВ.

Централизованные системы горячего водоснабжения

Водонагреватели с открытыми или закрытыми баками-аккумуляторами обычно применяются в зданиях с периодическим кратковременным расходом значительного количества горячей воды (в часы массового пользования ванными в больших жилых домах и гостиницах) и с постоянным продолжительным расходом ее (во время работы коммунальных бань и прачечных). Такие системы позволяют приготовить горячую воду заранее, до начала максимальных расходов и иметь необходимый запас воды на случай аварийного режима (на коммунальных предприятиях и в лечебных учреждениях). Баки-аккумуляторы не только обеспечивают резерв горячей воды, но и выравнивают суточный график теплопотребления.

Ниже изложены способы снабжения различных потребителей горячей водой, приготовляемой в местных — домовых или небольших отдельно стоящих котельных.

На листе IV.5, рис. 1 показана тупиковая схема горячего водоснабжения с водонагревом при помощи жаротрубных стальных котлов. Эта схема возможна при жесткости воды не более $4 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$ и достаточном и постоянном давлении в сети городского водопровода. К точкам водоразбора горячую воду подают под давлением холодной. Котлы служат не только водонагревателями, но и аккумуляторами больших объемов горячей воды (например, в банях). Однако непосредственный водонагрев в жаротрубных котлах нецелесообразен ввиду отложения накипи на их стенках и усиленной коррозии металла.

На листе IV.5, рис. 2 дана простейшая схема горячего водоснабжения, оборудованная малометражным паровым котлом и емким водоподогревателем со съемным змеевиком из стальных труб. Питание холодной водой предусмотрено из сети городского водопровода. Эта схема может работать и с открытым баком-аккумулятором на чердаке, автоматически пополняемым холодной водой из водопровода через уравнительный бачок с шаровым краном.

Для горячего водоснабжения бань и прачечных воду часто нагревают в баке горячей воды, являющемся одновременно и необходимой емкостью для хранения аварийного запаса. Воду в баках нагревают паром, пропускаемым по съемным змеевикам из стальных труб. Иногда для нагрева воды пар впускают через инжектор или дырчатую трубу. Эта установка достаточно компактна и обладает большой теплопроизводительностью. К недостаткам ее можно отнести сильный шум при работе нагревателя и питание котлов сырой водой, что снижает к. п. д. установки.

Если водонагреватель расположен в пределах жилого здания, приготовление горячей воды непосредственным впуском в нее пара не допускается. Установка баков горячей воды с непосредственным впуском пара разрешается при расходе тепла до $200\,000 \text{ ккал/ч}$ и общей жесткости питательной воды для котлов не более $4 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$ (паровые котлы следует механически очищать от накипи), а также при отсутствии в паре масла и допустимости шума.

При наличии в котельной водоподготовки непосредственный нагрев воды паром в баках можно применять независимо от величины расхода тепла.

Для уменьшения шума рекомендуется применять инжекторы со специальными конусами (лист IV.5, рис. 3, 5). Давление пара должно быть не менее чем на 1 кгс/см^2 больше давления столба воды на уровне нагревателя.

Теплопроизводительность пароструйных нагревателей (инжекторов) при давлении пара 4 кгс/см^2 и противодавлении $0,1 \text{ кгс/см}^2$ следующая:

Номер нагревателя	1	2	3	4	5
Теплопроизводительность, тыс. ккал/ч	50	100	200	300	500

При впуске пара через дырчатые трубы с целью уменьшения шума диаметр отверстий следует принимать не более 2—3 мм при общей площади отверстий, в 2—3 раза большей сечения трубы.

В зданиях с котельными, обслуживающими центральное отопление и горячее водоснабжение, для уменьшения поверхности устанавливаемых котлов и снижения стоимости строительства и эксплуатации целесообразно применять схему А. В. Мазо (лист IV.5, рис. 4). Для нужд горячего водоснабжения используют отопительные котлы, бездействующие летом и работающие зимой с неполной нагрузкой, за исключением дней отопительного сезона при расчетной температуре наружного воздуха*.

На листе IV.6 представлены циркуляционные системы горячего водоснабжения, применяемые для разных случаев практики. Для прачечных и бань воду удобно нагревать при помощи съемных змеевиков, установленных в емких пароводяных водонагревателях, напорных баках-аккумуляторах или в специальном барабане, смонтированном на паровом водотрубном котле. В банях на 100 мест и более рекомендуется устанавливать теплоуловители. При наличии больших жарочных плит (например, в кухнях-столовых и ресторанах) по контуру плиты устанавливают водогрейные змеевики с циркуляцией воды через съемный бак.

Установка напорных баков и емких водонагревателей

В банях, прачечных и больницах хранение аварийного запаса холодной и горячей воды обычно предусматривается в емких напорных баках, расположенных на чердаке. Баки устанавливают в утепленном освещенном помещении с хорошей вентиляцией и температурой воздуха зимой не ниже $+5^\circ \text{C}$.

Для удобства свободного прохода, текущего обслуживания и выполнения ремонта расстояние между баками рекомендуется принимать не менее 0,7 м, от верха баков до потолка при высоте помещения 2,2 м — 0,6, между стенками прямоугольных баков и строительными конструкциями, расположенными со стороны поплавкового клапана, — 1, а для круглых баков — 0,8, при отсутствии поплавкового клапана эти расстояния принимаются соответственно 0,7 и 0,5 м.

При расчете на прочность строительных конструкций чердачного перекрытия учитывают вес баков, заполненных водой.

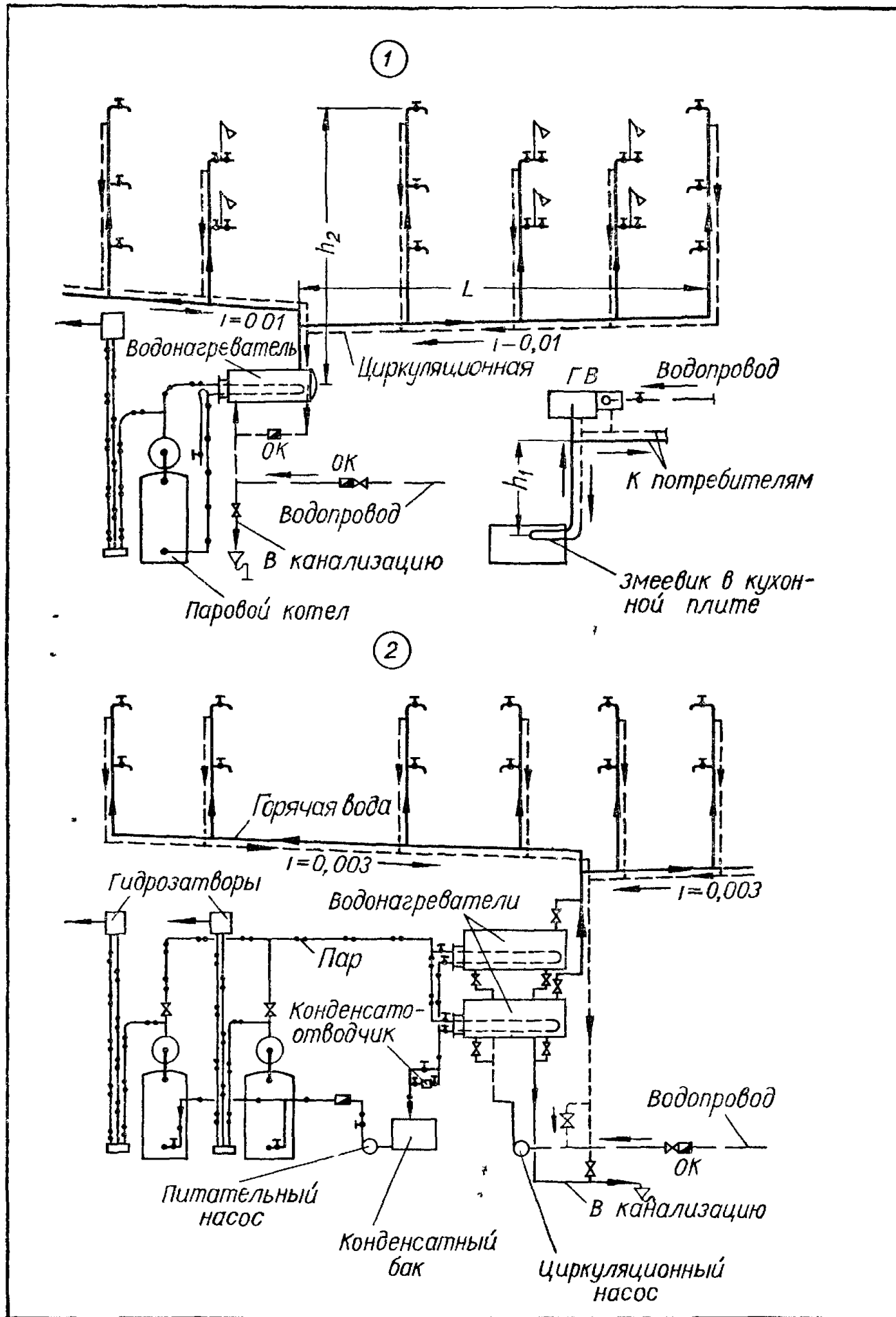
Баки устанавливают на одном уровне на поддоны из досок, покрытых оцинкованной или черной, окрашенной масляной краской, кровельной сталью с пропайкой швов. Поддон выступает за габариты бака не менее чем на 0,1 м и имеет сливную трубу для отвода воды. Баки опираются на деревянные подкладки из брусев так, чтобы между днищем бака и поддоном было не менее 0,2 м.

Баки изготавливают деревянными или сварными из листовой стали и окрашивают с обеих сторон суриком.

Наиболее удобные прямоугольные металлические баки, применяемые в больших установках холодного и горячего водоснабжения. Все баки оборудуют съемными крышками с лазом. Корпус бака горячей воды тщательно теплоизолируется, снабжается паропроводной трубой, выведенной наружу, и циркуляционными трубами, присоединенными к генератору тепла.

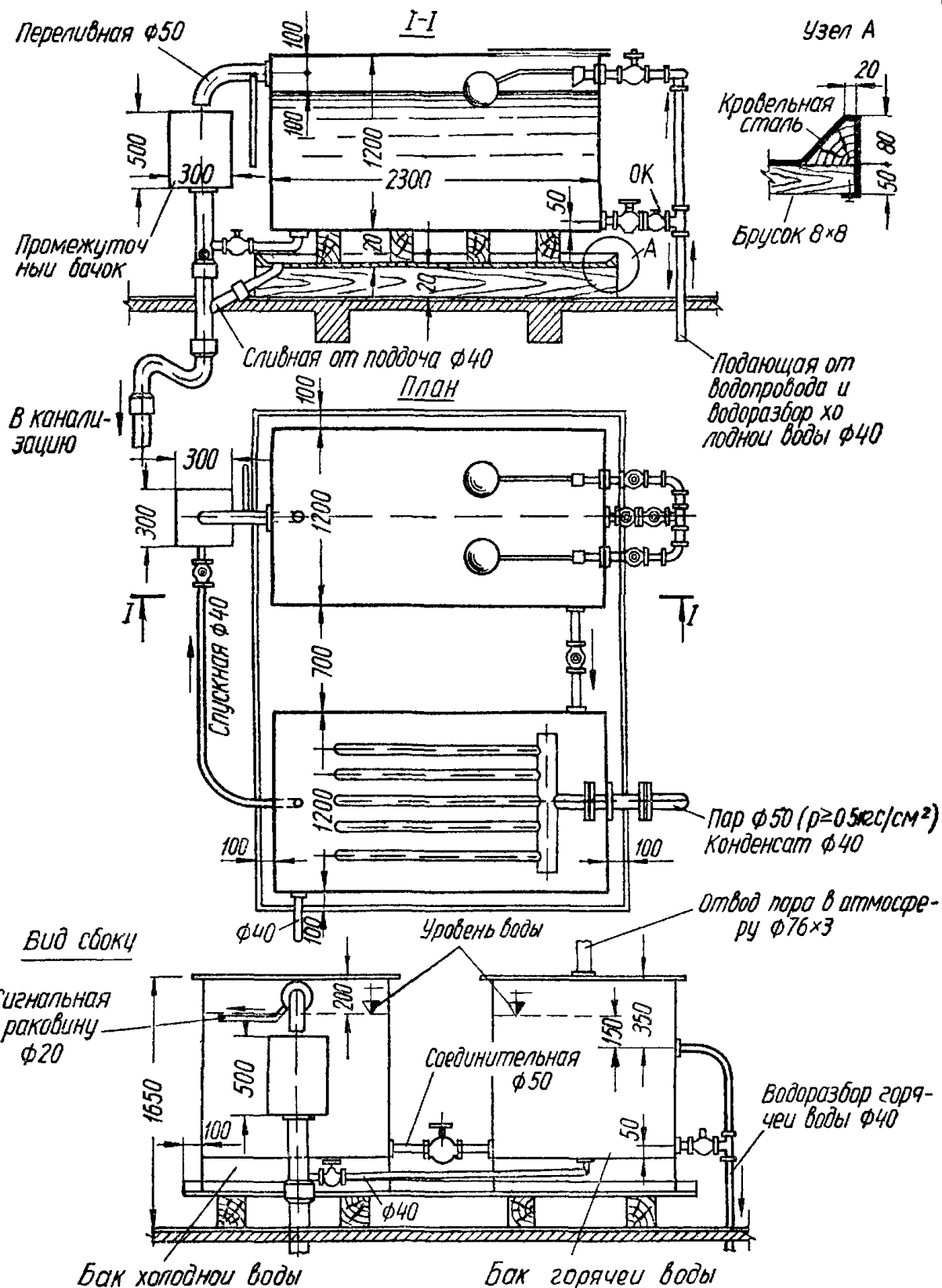
Бак холодной воды на подающей трубе от водопровода имеет не менее двух шаровых кранов для автоматического пополнения системы водой во время водоразбора, сигнальную и переливную трубы. Перелив избытка воды в канализацию осуществляется через промежуточный бачок с разрывом струи. Установка запорной арматуры на сигнальной и переливной трубах не допускается.

* И. Ф. Л и в ч а к. Изобретения и технические усовершенствования в области центрального отопления. М., Госстройиздат, 1952.



Лист IV.6. Циркуляционные системы горячего водоснабжения

1 — с естественным побуждением 2 — с насосным побуждением (условные обозначения — см лист IV 5)



Лист IV 7. Установка напорных баков холодной и горячей воды.

Оба бака соединяются расходными (они же и наполнительные) трубами с разводящей сетью холодного и горячего водоснабжения. Баки сообщаются между собой при помощи соединительной трубы с запорным краном на случай отключения бака при ремонте. Каждый бак имеет спускную линию в канализацию. При подаче холодной воды под змеевик бака-аккумулятора забор горячей воды следует устраивать на 0,15 м ниже уровня воды в баке. Для контроля уровня воды в баках больших емкостей целесообразно дополнительно устраивать в помещении узла управления или

котельной электрическую сигнализацию при помощи поплавкового реле и сигнальных ламп разных цветов.

Примерная установка и коммуникация напорных баков системы холодного и горячего водоснабжения показана на листе IV.7.

Емкие водонагреватели (лист IV.8, рис. 1 и табл. IV.2) устанавливают на полу на кирпичных фундаментах, столбах или на опорных металлоконструкциях. Они предназначены в основном для систем горячего водоснабжения с периодическим разбором горячей воды и с нагревом рабочего объема воды от 5 до 75° С в течение часа при давлении пара в змеевике 5 кгс/см².

Таблица IV.2. Горизонтальные емкие пароводяные водонагреватели (лист IV.8, рис. 1)

Мо- дель	Емкость, л		Габариты, мм				Змеевик				Масса (без воды), кг
	общая	рабочая	D	L	H	h	F, м ²	L, мм	d _{тр} , мм	число трубок	
3068	1180	1000	916	2280	1130	260	1,3	1558	48/41	3	427
3069	1880	1600	916	3380	1130	260	2,06	2386	48/41	3	569
3070	2890	2500	1216	3032	1430	260	3,16	2845	48/41	4	706
3071	4460	4000	1216	4432	1430	260	4,78	4160	48/41	4	1030
3073	440	400	712	1517	1250	200	0,47	900	33,5/27	2	210
3074	690	640	712	2157	1250	200	0,76	1567	33,5/27	2	260
3075	1125	1000	916	2157	1454	260	1,22	1727	48/41	3	408
3076	1760	1600	916	3157	1454	260	1,93	1906	48/41	3	529
3077	2680	2500	1216	2813	1754	260	2,88	2193	48/41	4	678
3078	4400	4000	1216	4813	1754	260	4,7	3693	48/41	4	950

Примечание. Водонагреватели моделей 3068÷3071 даны по нормам треста Сантехдеталь Минмонтажспецстроя СССР, моделей 3073÷3078 — по нормам треста Проммонтажконструкция (г. Харьков)

Корпус и змеевик водонагревателя подвергаются гидравлическому испытанию давлением 8 кгс/см². Максимальное рабочее давление пара и нагреваемой воды 5 кгс/см².

На корпусе каждого закрытого водонагревателя монтируют термометр, манометр и грузовой предохранительный клапан, диаметр которого зависит от параметров теплоносителя, но составляет не менее 40 мм. Корпус водонагревателя устанавливают с уклоном 0,01 в сторону спускного патрубка, теплоизолируют по металлической сетке, затем оборачивают мешковиной и окрашивают масляной краской. При расположении водонагревателя в помещении необходимо учитывать возможность свободного извлечения змеевика во время ремонта.

Таблица IV.3. Прямоугольные металлические бачки со змеевиками для нагрева воды (лист IV.8, рис. 2 и 3)

Номер бачка	Емкость, м ³	Размеры, мм			Масса без воды и змеевика, кг
		K	M	H	
1	1	1400	800	1000	175
2	1,25	1180	1200	1000	204
3	1,5	1400	1200	1000	227
4	2	1520	1200	1200	273
5	3	2300	1200	1200	363

На листе IV.8, рис. 2 и 3 и в табл. IV.3—IV.5 приведены конструкции и показатели прямоугольных металлических бачков со съемными змеевиками для небольших систем горячего водоснабжения. Бачки изготовляют сварными из 3-миллиметровой листовой стали с диаметрами патрубков, принимаемыми по проекту, и съемной крышкой для установки змеевика. Корпус бачка теплоизолируют. Такие бачки удобно устанавливать на опорных кронштейнах (лист IV.8, рис. 4 и табл. IV.6).

Таблица IV.4. Змеевики прямоугольных бачков для горячей воды с температурой 35° С (лист IV.8, рис. 2)

Номер бачка	Пар высокого давления			Пар низкого давления		
	Поверхность нагрева $F_{зм}$, м²	Размеры, мм		Поверхность нагрева $F_{зм}$, м²	Размеры, мм	
		А	Б		А	Б
1	0,29	800	—	0,304	800	100
2	0,29	750	100	0,334	750	400
3	0,304	800	100	0,41	1000	400
4	0,395	1000	300	0,53	1250	700
5	0,62	1750	300	—	—	—

Примечание Поверхность нагрева змеевиков определена из условия двухчасового подогрева воды в емкости бачка

Таблица IV.5. Змеевики прямоугольных бачков для горячей воды с температурой 70° С (лист IV.8, рис. 3)

Номер бачка	Поверхность нагрева $F_{зм}$, м²	Число витков змеевика	Пар высокого давления				Пар низкого давления					
			Размеры, мм				Поверхность нагрева $F_{зм}$, м²	Число витков змеевика	Размеры, мм			
			А	Б	Г	Е			А	Б	Г	Е
1	0,516	2	700	120	470	250	0,775	3	700	120	470	400
2	0,637	3	550	100	370	400	0,972	4	650	30	440	550
3	0,775	3	700	120	470	400	1,15	4	800	70	530	550
4	1,03	4	700	180	470	550	1,52	5	850	100	570	700
5	1,52	4	1100	360	730	550	2,27	5	1350	240	900	700

Таблица IV.6. Кронштейны для металлических бачков со змеевиками (лист IV. 8, рис. 4)

Номер бачка	Масса бачков с водой, кг	Размеры, мм				Масса металла кронштейнов, кг
		А	Б	В	Г	
1	1175	1020	810	100	275	68
2	1454	1420	1210	100	165	86
3	1727	1420	1210	100	275	86
4	2273	1420	1210	100	335	86

Горячую и кипяченую воду для хозяйственно-питьевых нужд часто готовят в огневых водонагревателях и кипятильниках, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе. Широкое применение находят также электрические кипячильники и водонагреватели.

Водоразборная арматура

Туалетные краны и смесители для умывальников и ванн изготавливают из цветных металлов с хромированной поверхностью, а водоразборные краны для моек и кухонных раковин — из цветных металлов или ковкого чугуна. Краны банного типа с деревянной ручкой применяются для разбора горячей воды в банях, прачечных, из кипятильников и т. д.. Водоразборные краны с неразбрызгивающей насадкой удобно устанавливать над мойками и раковинами в кухне.

На листе IV.9 приведены современные образцы водоразборной смесительной арматуры для ванных комнат.

В системах горячего водоснабжения необходимо предусматривать установку запорной арматуры на всех ответвлениях от магистральных трубопроводов, у оснований подающих и циркуляционных стояков в зданиях выше трех этажей, на ответвлениях, питающих пять и более водоразборных точек. На кольцевых участках магистралей устанавливают арматуру, обеспечивающую движение воды в противоположных направлениях (задвижки и краны).

Для предотвращения поступления горячей воды в водопроводную сеть обязательна установка обратных клапанов на подводке холодной воды к водонагревателям, на циркуляционном трубопроводе перед водонагревателем и на подводках к групповым смесителям.

Для удобства пользования водоразборную арматуру над раковинами и умывальниками устанавливают обычно на высоте 0,2—0,25 м над бортом, банные краны — 0,8, душевые сетки — 2,1; смесители ванных — 1, а смесители душевых кабин — 1,2 м от пола. Для предотвращения ожогов во время регулировки температуры воды при пользовании индивидуальным душем арматуру смесителя рекомендуется выносить на боковую стенку, непосредственно у входа в душевую кабину.

РАСЧЕТ УСТАНОВОК ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Нормы расхода и температура горячей воды

Среднесуточные нормы потребления горячей воды в период наибольшего водозабора при $t_r = 65^\circ \text{C}$ принимают с учетом степени благоустройства зданий, климатических и других местных условий*.

Среднесуточные нормы потребления горячей воды, л (СНиП II-Г. 8—62)

Жилые дома квартирного типа, оборудованные умывальниками, мойками и душами (на 1 жителя)	80—100
То же, с сидячими ваннами, оборудованными душем	100—110
То же, с ваннами длиной 1500—1700 мм, оборудованными душем	110—130
Жилые дома для одиноких и малосемейных (на 1 жителя)	80—120
Общежития с общими душевыми (на 1 жителя)	40—50
То же, с общими душевыми, столовыми и прачечными	50—60
Гостиницы и пансионаты с общими ваннами и душами (на 1 жителя)	50—60
То же, с ваннами в отдельных номерах с общим количеством номеров:	
до 25%	80—100
до 75%	120—160
То же, с ваннами при всех номерах	160—200
Больницы, санатории общего типа и дома отдыха с общими ваннами и душевыми (на 1 койку)	150—180

* В зданиях, предусмотренных СНиП II-Г.1-70, нормы расхода горячей воды учтены в общих расходах холодной воды.

Санатории и дома отдыха с ваннами во всех комнатах (на 1 койку) *	180—200
Больницы и санатории с грязелечением (на 1 койку) *	200—250
Поликлиники и амбулатории (на 1 посетителя)	5
Душевые в клубах, домах культуры и театрах (на 1 душевую сетку в 1 ч):	
с общими раздевальными	160—180
с индивидуальными душевыми кабинами	90—110
Душевые в бытовых помещениях промышленных предприятий и при спортивных сооружениях (на 1 душевую сетку в 1 ч)	270
Бани русского типа без плавательных бассейнов (на 1 посетителя)	90—110
Бани комбинированного типа без плавательных бассейнов (на 1 посетителя)	140—170
Ванно-душевые блоки (на 1 посетителя):	
душевые кабины	240
ванные кабины	300
Прачечные механизированные (на 1 кг сухого белья)	20—25
То же, немеханизированные	15
Школы-интернаты (на 1 место)	80—100
Учебные заведения и общеобразовательные школы с душевыми при гимнастических залах (на 1 учащегося в смену)	7
Детские ясли-сады с дневным пребыванием детей (на 1 ребенка)	25
То же, с круглосуточным пребыванием детей	30
Предприятия общественного питания (на 1 блюдо):	
приготовление пищи, потребляемой в предприятии	4
то же, продаваемой на дом	3
Водоразборные точки у технологического оборудования или мойки в столовых, кафе, чайных, кондитерских и магазинах (на 1 точку в 1 ч)	250—300
Краны умывальников общего пользования в предприятиях общественного питания (на 1 точку в 1 ч)	55—65
Парикмахерские (на 1 место)	40—60
Гаражи при ручной мойке машин (на 1 машину):	
легковых	150—200
грузовых	200—300
автобусов	250—350

Максимальная температура воды в водонагревателях должна быть не более 75°C , минимальная в точках водоразбора — не ниже 60°C . Температуру холодной воды зимой t_x обычно принимают равной 5°C .

Температура смешивания воды на отдельные процедуры

Мойка автомашин	25
Ванны и души в детских учреждениях, ванны в лечебницах	35
Ванны и души в жилых зданиях и в душевых бытовых помещениях промышленных предприятий	37
Ванны и души в банях	40
Мойка лабораторной посуды	65
Мойка кухонной посуды	70

Определение расчетного часового расхода горячей воды и тепла

Расчетный часовой расход горячей воды определяют по суточному расходу воды. Суточный график строится в зависимости от режима водопотребления с выявлением часов максимального водоразбора в характерные дни работы системы горячего водоснабжения (например, в жилых зданиях наибольший расход воды в субботние и предпраздничные дни). На режим водопотребления влияет степень благоустроенности

* С учетом расхода воды в столовой и прачечной.

здания — насыщенность его оборудованием, потребляющим горячую воду. При расчетах ориентируются на абсолютный максимум лишь для лечебных учреждений, предприятий общественного питания, бань и гостиниц, т. е. для зданий, где перебои горячего водоснабжения совершенно недопустимы. Для жилых домов можно принять средний максимум предвыходного дня.

На листе IV.10 представлены примерные графики водо- и теплотребления в системах горячего водоснабжения для зданий различного назначения. На этих графиках величины расходов воды и тепла по часам суток выражены в процентах относительно среднечасового расхода за сутки наибольшего водопотребления. Площадь, ограниченная ломаной линией, которая соединяет вершины ординат с осью абсцисс, характеризует относительный расход тепла в течение суток наибольшего водопотребления. Для получения действительных расходов тепла на оси ординат вместо процентов проставляют пропорциональные им расходы тепла в ккал/ч . Среднечасовому расходу тепла за сутки наибольшего водопотребления $Q_{г.с}$ в ккал/ч соответствует ордината, равная 100%; любой другой ординате $x\%$ соответствует расход тепла $0,01xQ_{г.с}$ ккал/ч .

На листе IV.10, рис. 1, а ломаные линии I и II показывают расход горячей воды ($t_r = 65^\circ \text{C}$) по часам суток в жилых домах:

I — в доме с количеством жителей до 300 чел., оборудованном сидячими ваннами с душами, при норме расхода воды $a = 110 \text{ л/сут}$ на 1 чел. и коэффициенте часовой неравномерности водопотребления $k = 2,7$;

II — в доме с количеством жителей до 3000 чел., оборудованном ваннами длиной 1700 мм с душем, при $a = 130 \text{ л/сут}$ на 1 чел. и $k = 2,1$.

На листе IV. 10, рис. 1, б представлен график потребления горячей воды в большой гостинице при норме расхода воды $a = 130 \text{ л/сут}$ на 1 чел., а на листе IV. 10, рис. 1, в — в бане на 100 посадочных мест в субботний день. На листе IV.10, рис. 2 даны расходы смешанной воды в банях.

На основании графиков расхода горячей воды и тепла на ее приготовление определяют емкость баков-аккумуляторов, а также мощность водонагревателей и генераторов тепла.

При известных расходе смешанной воды $g_{см}$ в л/ч , ее температуре $t_{см}$ и температуре холодной воды t_x расход тепла в ккал/ч находят по формуле

$$Q_{гв} = g_{см} (t_{см} - t_x) \quad (\text{IV.2})$$

или

$$Q_{гв} = g_r (t_r - t_x), \quad (\text{IV.3})$$

где g_r — количество горячей воды с температурой t_r , необходимое для приготовления смешанной воды с температурой $t_{см}$.

Величину α , характеризующую долю горячей воды g_r в общем количестве смешанной воды $g_{см}$, можно найти из выражения

$$\alpha = \frac{g_r}{g_{см}} = \frac{t_{см} - t_x}{t_r - t_x}. \quad (\text{IV.4})$$

Если вычисляемые суммарные расходы воды складываются из расходов на отдельные процедуры при различной температуре по нормам, то эти расходы пересчитывают при одинаковой температуре по равенству

$$g_{см} (t_{см} - t_x) = g_r (t_r - t_x), \quad (\text{IV.5})$$

откуда расчетный расход горячей воды

$$g_r = g_{см} \frac{t_{см} - t_x}{t_r - t_x}. \quad (\text{IV.6})$$

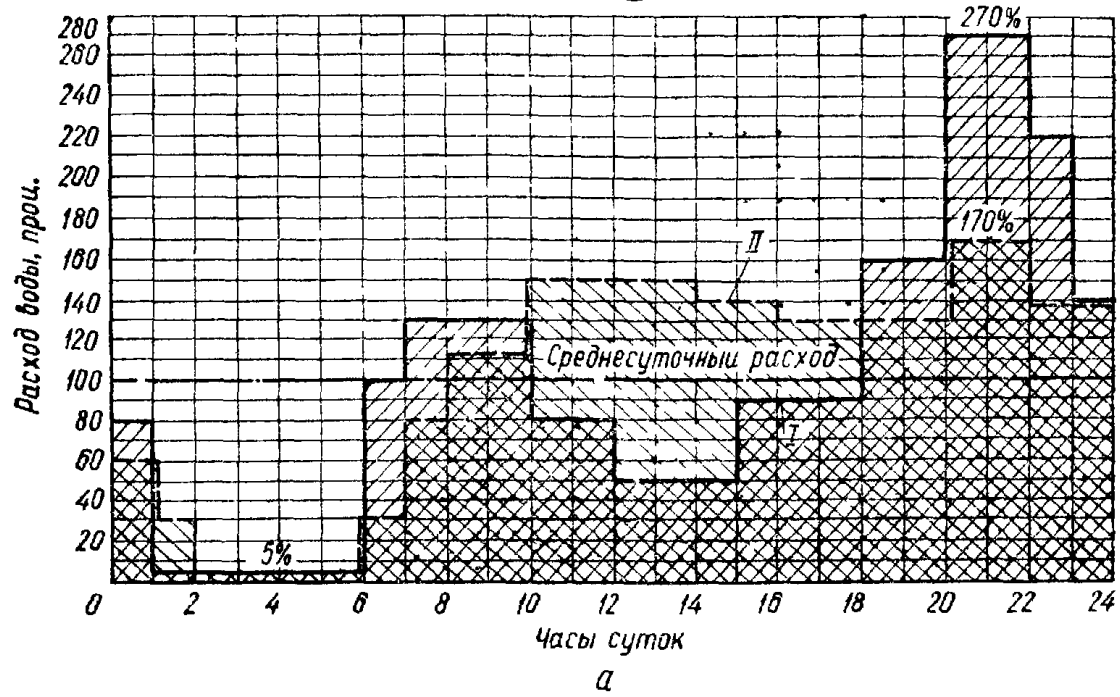
При построении графиков почасовых расходов тепла необходимо учитывать следующее:

в школах и спортивных сооружениях все души работают одновременно;

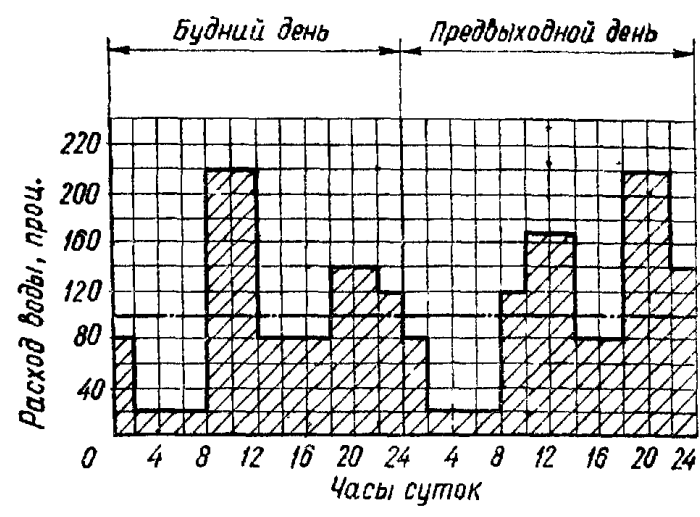
в бытовых помещениях промышленных предприятий все души работают одновременно в течение 45 мин после окончания смены;

в банях и прачечных вода расходуется постоянно, в течение всего времени работы, но неравномерно, и расход ее зависит от числа посетителей бани и загрузки прачечной;

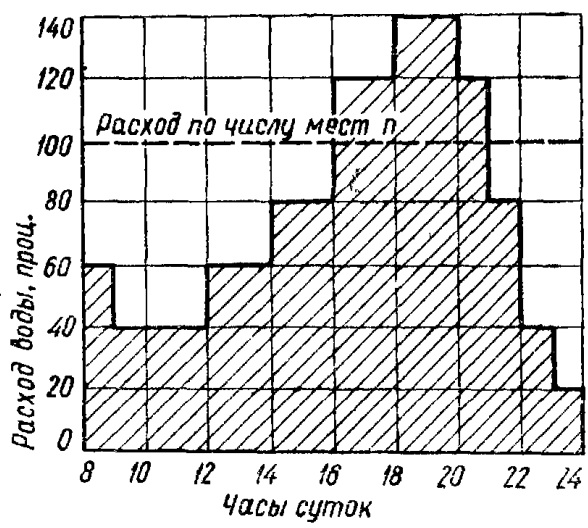
1



а

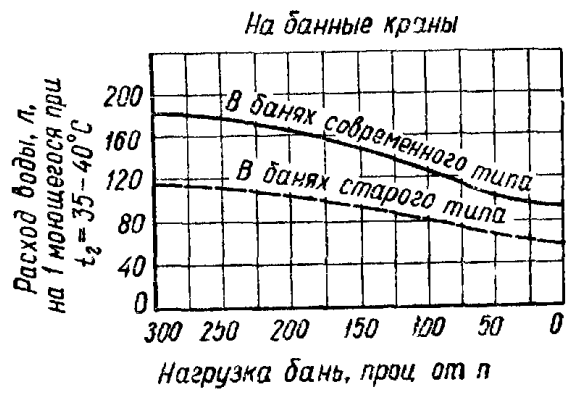
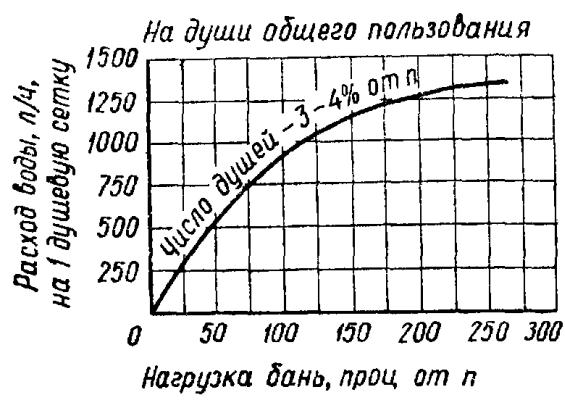


б



в

2



Лист IV.10. Графики:

1 — расхода горячей воды и тепла (а — для жилого дома, б — для гостиницы, в — для бани); 2 — расхода смешанной воды в банях

в жилых домах и общежитиях время принятия ванн не совпадает с прочими расходами горячей воды.

Нормы расхода воды, л (СНиП II-Г. 1-70)

Жилые здания (на 1 процедуру)

Ванна длиной 1200 мм с душем	250
То же, 1500—1550 мм	275
То же, 1660—1700 мм	300
Ванна без душа	200
Душ с глубоким душевым поддоном	230
То же, с мелким	100—120
Умывальник	3—5
Мойка кухонная	8—10

Общественные здания

Бани русского типа (на 1 посетителя)	125—180
Бани комбинированного типа (на 1 посетителя)	250—300
Ванные кабины (на 1 посетителя)	500
Душевые кабины (на 1 посетителя)	400
Водоразборная колонка в мыльной (на 1 ч)	1000—1500
Ванна без душа в мыльной или душевой (на 1 ч)	600
Душевая сетка в мыльной (на 1 ч)	800
Умывальник в парикмахерской (на 1 ч)	10
Умывальник в раздевальной или уборной (на 1 ч)	100
Мойка в магазине (на 1 ч)	120
Умывальник в кабинете врача (на 1 ч)	30—40
Умывальник в аптеке (на 1 сутки)	60
Ножная ванна (на 1 ч)	200
Ванна нормальная водолечебницы (на 1 ч)	900
Субквальная ванна (на 1 ч)	700
Ванна с подводным массажем (на 1 ч)	3000
Контрастная ванна (на 1 ч)	800
Душ для смыва лечебной грязи (на 1 ч)	200
Водоразборный кран или мойка в столовых, кафе, чайных, кондитерских и буфетах (на 1 ч)	250

Производственные и вспомогательные здания

Индивидуальный душ в бытовых помещениях (на 1 процедуру)	40—60
Душевая сетка в групповых душевых (на 45 мин)	500

Расчетные расходы тепла в жилых зданиях и больницах общего типа, оборудованных централизованными системами горячего водоснабжения, находят по формуле

$$Q_r = k \frac{ma(t_r - t_x)}{T}, \quad (\text{IV.7})$$

где k — коэффициент неравномерности потребления горячей воды;

m — расчетное количество потребителей горячей воды;

a — среднесуточная норма потребления горячей воды, л;

t_r — расчетная температура горячей воды, °C ($t_r = 65^\circ \text{C}$);

t_x — температура воды в сети водопровода, °C ($t_x = 5^\circ \text{C}$);

T — время расходования горячей воды, ч (в жилых домах и больницах общего типа $T = 24$ ч, в других зданиях — по числу часов работы горячего водоснабжения в сутки).

При установленных баках-аккумуляторах находят среднечасовой за сутки наибольшего водопотребления расход тепла Q_{rc} в ккал/ч (коэффициент суточной неравномерности потребления горячей воды за неделю может быть принят для жилых и общественных зданий равным 1,2, для промышленных — 1). При отсутствии баков-аккумуляторов находят часовой максимальный расход тепла Q_r в ккал/ч (коэффициент часовой неравномерности потребления горячей воды принимают по СНиП II-Г. 8-62).

При посемейном заселении жилых домов количество жителей обычно определяют при среднем числе жильцов 4—5 чел. в квартире.

Расчетные часовые расходы тепла в жилых домах, оборудованных ваннами, с посемейным заселением квартир допускается определять по формуле

$$Q_r = 10\,000n\alpha, \quad (\text{IV.8})$$

где α — коэффициент одновременности теплopotребления, зависящий от количества квартир в здании или в группе зданий n :

n	6	10	25	20	100	150	200	300	400	1000	и более
α	0,6	0,49	0,39	0,34	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	

Значения коэффициента часовой неравномерности потребления горячей воды k для жилых зданий зависят от количества жителей в зданиях или в группе зданий:

Количество жителей, чел.	50	100	150	200	250	300	500	1000	3000	6000	и более
k	4,5	3,5	3	2,9	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	2	

для гостиниц — от количества проживающих:

Количество проживаю- щих, чел.	60	150	300	450	600	900
k	4,6	3,8	3,3	3,1	3	2,9

для больниц общего типа — от числа коек:

Число коек	35	50	75	100	200	300	500	1000
k	3,2	2,9	2,6	2,4	2	1,9	1,7	1,6

Расчетные часовые расходы тепла на нужды горячего водоснабжения в банях и предприятиях общественного питания вычисляют по формуле

$$Q = ma(t_r - t_x), \quad (\text{IV.9})$$

где m — пропускная способность в час (число посетителей — в бане, количество реализованных блюд — в предприятиях общественного питания);

a — норма потребления горячей воды (см. стр. 270).

Пропускную способность бани принимают по количеству мест в раздевальной, с поправкой 1,5.

В предприятиях общественного питания количество реализованных блюд в час определяют по формуле

$$m = 2,2Nr, \quad (\text{IV.10})$$

где N — количество посадочных мест;

r — количество посадок в час (для столовых открытого типа и кафе $r = 2$, для столовых при промышленных предприятиях и студенческих столовых — 3, для ресторанов — 1,5).

Если пищу готовят в пищеварочных паровых котлах, к расходу тепла на горячее водоснабжение добавляют расход тепла на приготовление обедов. Емкость пищеварочных котлов в столовых заводского типа назначают из расчета 1,8 л на один обед (0,8—1 л для жидких и 0,8 — для вторых блюд). В общественных столовых и ресторанах с более разнообразным меню число и емкость пищеварочных котлов рекомендуется уменьшать за счет увеличения площади обжарочных плит и духовых шкафов.

Расчетное количество тепла на варку пищи в паровых пищеварочных котлах находят по формуле

$$Q_a = 1,15 \frac{60}{40} \eta \Sigma V_a (100 - t_x), \quad (\text{IV.11})$$

где 1,15 — коэффициент запаса на потери тепла;

60/40 — поправка на требование кулинарии обеспечить закипание пищи в течение 40 мин;

η — коэффициент единовременности, равный 0,6—0,9 в зависимости от числа котлов;

ΣV_a — общая емкость всех котлов, л;

$t_x = 5^\circ \text{C}$.

Таблица IV. 7. Расход тепла для паровых пищеварочных котлов, ккал

Емкость котла, л	На закипание пищи в 1 котле	Потери тепла
125	18 000	1800
250	36 000	3600
400	57 000	5700
600	85 550	8550

Расходы тепла на варку пищи в зависимости от емкости котла при условии закипания в течение 40 мин можно принимать по табл. IV.7.

Часовые расходы тепла на нужды горячего водоснабжения в механизированных прачечных определяют по формуле (IV.7) при $k = 1$, где m — производительность прачечной, кг сухого белья в смену; a — норма расхода горячей воды на 1 кг сухого белья, л; T — количество часов работы прачечной в смену.

Требуемая производительность коммунальных механических прачечных (в кг сухого белья), работающих в 2 смены в сутки и 25 дней в месяц

$$m = (d + b) \frac{n}{2 \times 25}, \quad (\text{IV.12})$$

где n — количество населения, обслуживаемого прачечной;
 d и b — количество белья, кг, на 1 человека в месяц, сдаваемого в стирку соответственно индивидуально и общественным сектором (ориентировочно можно принимать $d = 6 \div 8$ кг; $b = 1,5 \div 2$ кг).

Вручную одна прачка может выстирать 3,5—4 кг белья в час.

В прачечных расчетные величины зависят от установленного оборудования и способов стирки белья.

При определении суммарного расчетного расхода тепла на стирку белья необходимо учитывать дополнительно технологическое пароснабжение оборудования.

Расходы пара технологическим оборудованием прачечных g , кг на 1 кг сухого белья (СНиП II-Л. 14—62)

Бак для приготовления стиральных растворов	0,3
Стиральная машина емкостью 5 кг сухого белья	1
То же, 10 кг	0,95
» 25 »	0,85
» 50 »	0,8
» 100 »	0,75
Сушильный барабан емкостью 25 кг белья	1,05
Сушильно-гладильная машина производительностью 250 кг в смену	0,9
То же, 500 кг	0,8
» 1000 »	0,7
» 1500 »	0,6
Гладильный пресс	1—1,2

Давление пара принимают для стиральных машин 1,5—2, для сушильно-гладильных — 6—8 кгс/см². При отсутствии котлов высокого давления стиральное и сушильное оборудование может работать с меньшей производительностью при паре низкого давления (кроме гладильных машин и пресса, давление пара для которых должно быть не менее 5 кгс/см²).

Расчетный расход тепла на технологические нужды прачечной находят по формуле

$$Q_{\text{пр}} = \frac{m \Sigma g r}{T}, \quad (\text{IV.13})$$

где Σg — суммарный расход пара, кг;

r — теплота испарения пара при данном давлении, ккал/кг, по табл. III.5.

Расчет и подбор баков-аккумуляторов и емких водонагревателей

Тепловую мощность водонагревателей и объем баков-аккумуляторов определяют в соответствии с графиком потребления горячей воды (по часам суток) с учетом принятого режима подачи тепла генераторами на основании найденных расчетных часовых расходов тепла для нужд горячего водоснабжения. На основании почасового графика строят интегральные графики расходуемого и выработанного тепла в системе горячего водоснабжения для определения расчетной емкости аккумулятора тепла.

Если объем воды переменный, а температура ее постоянная, то

$$V_{\text{ак}} = \frac{A_{\text{макс}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{х}}}, \quad (\text{IV.14})$$

если же объем воды постоянный, а температура ее переменная, то

$$V_{\text{ак}} = \frac{A_{\text{макс}}}{t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}}}, \quad (\text{IV.15})$$

где $A_{\text{макс}}$ — разность ординат на интегральном графике, характеризующая соответственно наибольшую и наименьшую величины аккумулированного тепла, *ккал*;

$t_{\text{г}} = 65^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{х}} = 5^{\circ}\text{C}$ — температура горячей и холодной воды;
 $t_{\text{макс}} \leq 75^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{мин}} = 40^{\circ}\text{C}$ — максимальная и минимальная температура горячей воды.

Интегральные графики расходов тепла на горячее водоснабжение строят в такой последовательности. По данным безразмерных графиков (см. лист IV.10) строят суточный график расходов горячей воды или тепла. Абсцисса графика показывает часы суток T , а ордината — расходы горячей воды g в *л/ч* или расходы тепла Q в *ккал/ч*. Среднесуточный расход горячей воды за сутки наибольшего водопотребления

$$g_{\text{г.с}} = \frac{g_{\text{сут}}}{T}, \quad (\text{IV.16})$$

где $g_{\text{сут}}$ — расход горячей воды в сутки наибольшего водопотребления, *л*.

Затем на основе суточного строят интегральный график расходов тепла в виде ломаной линии, наклон отрезков которой показывает среднюю интенсивность теплоснабжения в данный промежуток времени, а ординаты, поставленные к любой точке на ней, — количество израсходованного тепла от начала отсчета (обычно от нуля часов). Далее определяют расход тепла за сутки наибольшего водопотребления:

$$Q_{\text{г.сут}} = 24Q_{\text{г.с}}. \quad (\text{IV.17})$$

Найденную величину $Q_{\text{г.сут}}$ на оси ординат разбивают на равные отрезки в произвольном масштабе и строят соответствующие ординаты по часам суток, помеченных на оси абсцисс (лист IV.11, рис. 1). При соединении вершин ординат ломаной линией получают график расходов тепла — линию Q' . При круглосуточной работе водонагревателя наклонная линия выработки тепла Q'' будет получена при соединении начала координат (от нуля) с вершиной ординаты 24 ч. Наибольшая разность ординат выработанного и израсходованного тепла показывает на интегральном графике требуемую мощность аккумулятора тепла системы горячего водоснабжения.

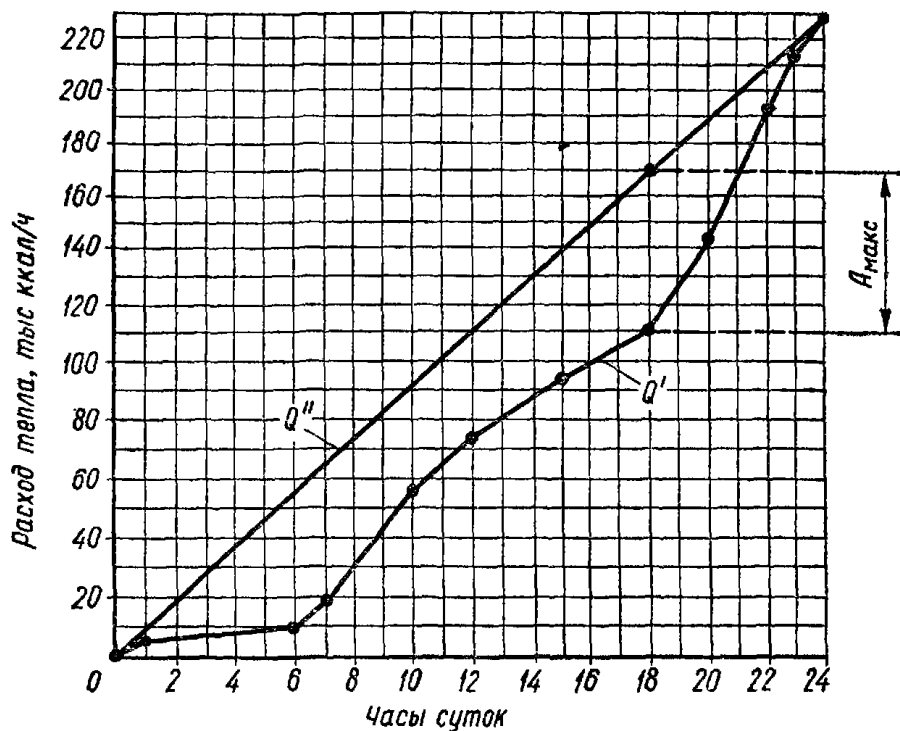
Емкость открытых баков и герметически закрытых водонагревателей со змеевиками и подачей воды снизу вверх принимают с запасом 20—25%.

При отсутствии данных для составления графиков расхода горячей воды и тепла местные аккумуляторы горячей воды как при открытых, так и при закрытых системах (в банях, прачечных, лечебных учреждениях и т. д. должны иметь следующую емкость (не менее):

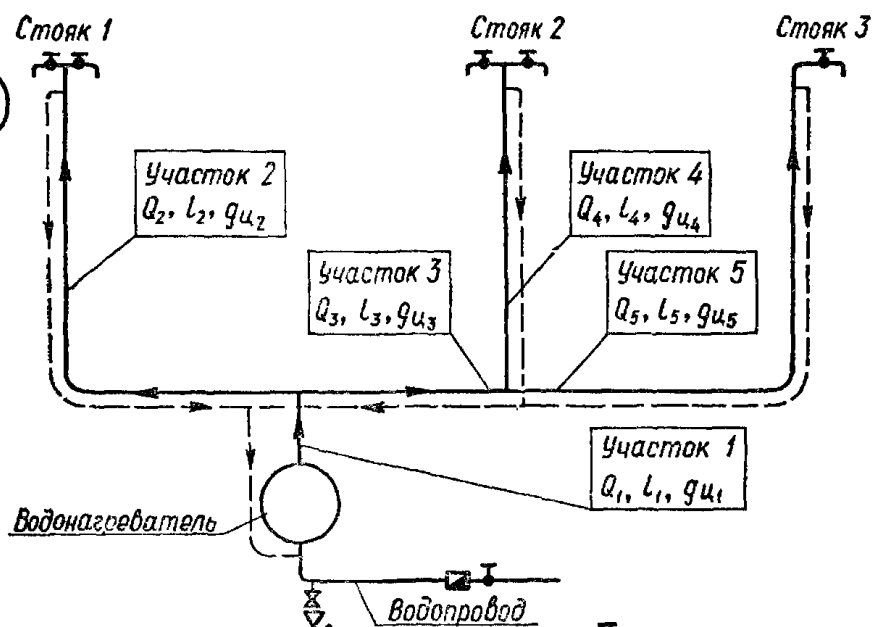
в банях с подачей воды от городского или поселкового водопровода — на часовой, а из местных источников — на полуторачасовой расход воды;

в прачечной с подачей воды от городского или поселкового водопровода производительностью до 3000 кг белья в смену — на 45-минутный, а более 3000 кг — на 30-минутный расход;

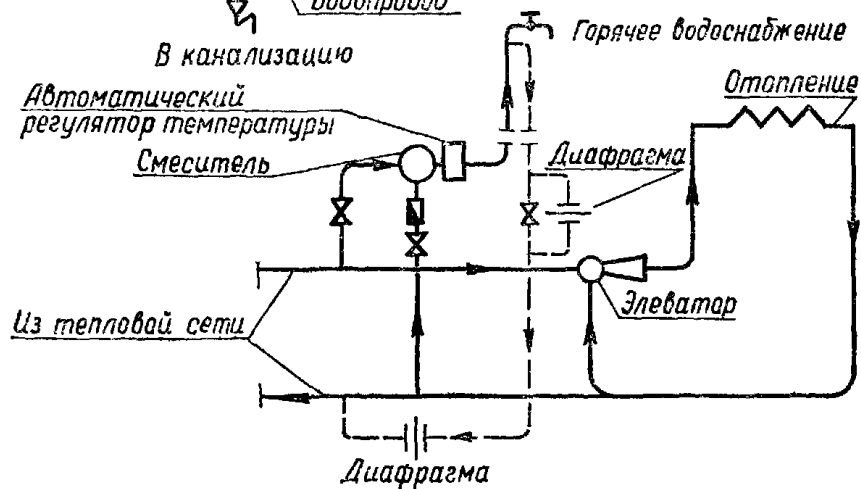
1



2



3



Лист IV.11. К расчетам систем горячего водоснабжения:

1 — интегральный график расходов тепла; 2 — к расчету циркуляционных расходов; 3 — схема установки диафрагмы.

в прачечной при водоснабжении из местных источников независимо от ее производительности, а также в лечебных учреждениях, жилых зданиях и других общественных сооружениях — на часовой расход воды.

В зданиях с максимальным расходом тепла на горячее водоснабжение до 75000 ккал/ч мощность теплового генератора или водонагревателя допускается рассчитывать на возмещение часового расхода воды. Установка аккумулятора не обязательна при наличии теплофикации или газифицированной котельной с автоматизацией системы горячего водоснабжения.

Приготовление горячей воды в больницах должно обеспечиваться не менее чем двумя тепловыми генераторами или водонагревателями, каждый из которых рассчитывается на половину часового расхода тепла. Для небольших больниц на 50—60 коек, когда необходимая поверхность нагрева тепловых генераторов невелика, каждый из двух устанавливаемых генераторов допускается принимать из расчета часового расхода тепла. Приготовление горячей воды для кафедры водолечебного отделения предусматривается в самостоятельных водонагревателях при давлении в водопроводной сети не менее 3 кгс/см².

Необходимую поверхность нагрева в м² змеевиков емких водонагревателей и баков определяют по формуле

$$F_{зм} = (1,1 \div 1,2) \frac{Q}{k\Delta t}, \quad (IV.18)$$

где Q — расчетный часовой расход тепла на горячее водоснабжение, ккал/ч;

k — коэффициент теплопередачи, равный для стального змеевика 600 ккал/(м² · ч · °С) при теплоносителе — паре и 250 ккал/(м² · ч · °С) при теплоносителе — воде, для медного или латунного змеевика — соответственно 720 и 300 ккал/(м² · ч · °С);

Δt — расчетная разность средних температур теплоносителя и нагреваемой воды, °С, вычисляемая из выражения

$$\Delta t = \frac{T_n + T_k}{2} = \frac{t_n + t_k}{2}, \quad (IV.19)$$

где T_n и T_k — начальная и конечная температуры при теплоносителе — воде, °С;

t_n и t_k — начальная и конечная температуры нагреваемой воды, °С.

При теплоносителе — паре $\frac{T_n + T_k}{2} = T_n$ — температуре насыщенного пара.

Потери напора в емких водонагревателях в м вод. ст.

$$h = 1,5 \frac{v^2}{2g}, \quad (IV.20)$$

где v — скорость движения воды в подающем трубопроводе, м/с;

$g = 9,8$ м/с².

Расчет скоростных паро- и водоводяных нагревателей приведен в разделе VI «Тепловые сети».

Пример IV.1. Определить емкость и тепловую мощность генератора квартирной установки горячего водоснабжения, оборудованной змеевиком в плите.

Если принять расход горячей воды для одного купания в ванной с душем 300 л при температуре смешанной воды 37° С, то количество тепла на нагрев воды

$$Q_{г.в} = g_{см}(t_{см} - t_x) = 300(37 - 5) = 9600 \text{ ккал.}$$

Необходимую полезную емкость бака-аккумулятора, обеспечивающую расход горячей воды при работе ванны, определяем по формуле (IV.14), допуская нагрев воды до 80° С,

$$V_{ак} = \frac{9600}{80 - 5} = 128 \text{ л.}$$

Для установки можно принять бак полезной емкостью $V_{ак} = 140$ л (см. табл. IV.1).

С целью уменьшения коррозии металла температуру подогрева воды рекомендуется ограничивать 60—65° С, однако в этом случае установка получается более громоздкой. Потребная емкость бака-аккумулятора должна быть не менее $V_{ак} = 160 \div 175$ л.

Затрата времени на водонагрев зависит от теплопроизводительности генератора тепла. При установке в плите змеевика теплопроизводительностью 8000 ккал/ч времени на нагрев воды потребуется

$$9600 \cdot 1,1 : 8000 = 1,33 \text{ ч} \approx 80 \text{ мин.}$$

Расход воды, циркулирующей между баком-аккумулятором и генератором тепла, определяем для наименее выгодного случая по формуле (IV.37)

$$g_p = \frac{8000}{95 - 80} = 533 \text{ л/ч.}$$

В случае необходимости установки теплообменника при повышенной жесткости воды поверхность нагрева его змеевика из стальных труб для конечного, наименее выгодного момента водонагрева по формуле (IV.18) будет

$$F_{\text{зм}} = \frac{1,1 \cdot 8000}{250 \left(\frac{95 + 70}{2} - \frac{80 + 5}{2} \right)} = 0,88 \text{ м}^2.$$

Емкость теплообменника рассчитываем так же, как и емкость бака-аккумулятора.

Расчет трубопроводов

Гидравлический расчет трубопроводов производят после решения принципиальной схемы и трассировки разводящих магистралей системы горячего водоснабжения. Диаметры трубопроводов систем горячего водоснабжения определяют по расчетным расходам и величине эквивалентов для различных водопотребителей, которые суммируются по отдельным расчетным участкам ответвлений и магистральям.

Расчетные расходы горячей воды. Расчетные секундные расходы воды в жилых домах и общественных зданиях различного назначения приведены в табл. IV.8 — IV.10. В зрелищных, спортивных учреждениях и на предприятиях общественного питания расчетные секундные расходы воды принимают с учетом процента одновременного действия санитарных приборов (табл. IV.11).

Таблица IV. 8. Расчетные расходы воды санитарными приборами
(СНиП II-Г.1—70)

Прибор	Эквивалент <i>N</i>	Расход воды, <i>л/с</i>	Диаметр ус- ловного про- хода труб, <i>мм</i>
Кран у раковины	1	0,2	15
Кран у умывальника	0,33	0,07	10—15
Смеситель у ванны с водонагревателем, работающим на твердом топливе	1	0,2	15
Смеситель у ванны с централизованным горячим водоснабжением	1,5	0,3	15
Кран у мойки	1—1,5	0,2—0,3	15—20
Биде и гигиенический душ	0,35	0,07	10—15
Душ в групповых установках	1	0,2	15
Душ в квартирах	0,67	0,14	15
Кран водоразборной колонки в мыль- ной	2	0,4	20
Кран лабораторной раковины	0,5	0,1	15
Кран лабораторной мойки	1	0,2	15
Ванна ножная	0,6	0,12	15
Проходной ножной душ в бассейнах	1	0,2	15

Расчетные расходы воды определяют по суммарной величине эквивалентов *N* (см. табл. IV.8) или по числу обслуживаемых людей. За единицу эквивалента принят расход воды через кран у раковины — 0,2 л/с. Эквивалентные расходы воды другими приборами выражаются в долях от единицы.

При вычислении расчетных секундных расходов горячей воды по табл. IV.9 следует учитывать степень благоустройства жилых домов, правильно установив общую норму водопотребления на 1 жителя в сутки.

Величину расчетного секундного расхода воды, найденную по табл. IV.9, принимают с коэффициентом уменьшения 0,7 для последующего определения диаметров раздельной сети трубопроводов горячей и холодной воды и с коэффициентом 1 для общих участков подводящих трубопроводов систем холодного и горячего водоснабжения.

Расчет подающих трубопроводов. При количестве эквивалентов 20 и менее диаметры труб допускается назначать в зависимости от расчетных расходов, выраженных суммой эквивалентов:

Сумма эквивалентов установленных приборов N	1	3	6	12	20
Диаметр трубопроводов, мм	10	15	20	25	23

Потери напора в системе горячего водоснабжения рассчитывают так же, как и при расчетах внутренних водопроводов. Потери на трение определяют по таблицам, составленным ВНИИ Водгео (табл. IV.12). Потери на местные сопротивления принимают в размере 30% от потерь напора на трение по длине трубопровода. Учитывая возможные отложения накипи, потери напора в трубопроводах систем горячего водоснабжения принимают с коэффициентом 1,2.

Диаметры подающих трубопроводов назначают из расчета обеспечения подачи необходимого количества горячей воды в наиболее удаленные и высокорасположенные точки водоразбора с максимальным использованием имеющегося напора. Скорость движения воды не должна превышать 1,5 м/с в магистральных и 2,5 м/с — в подводках к водоразборным точкам.

Располагаемый напор в м для расчета подающих трубопроводов при нагревании воды в открытых баках находят по формуле

$$H_p = h_1 - (h_2 + h_3), \quad (IV.21)$$

где h_1 — отметка дна бака горячей воды, м;

h_2 — отметка самой высокой точки водоразбора верхнего этажа, наиболее удаленной от бака горячей воды, м;

h_3 — потеря напора на излив воды (свободный напор), м.

При нагревании воды в закрытом водонагревателе или герметическом баке-аккумуляторе без насоса

$$H_p = H_{\text{вод}} - (h_3 + h_4 + h_5 + h), \quad (IV.22)$$

где $H_{\text{вод}}$ — напор в наружной сети водопровода, м;

h_4 — потери напора в емком водонагревателе, определяемые по формуле (IV.20), м;

h_5 — потери напора в водомере, м;

h — расстояние по вертикали от ввода до самой высокой точки водоразбора, м.

Потери напора в водомере определяют по формуле

$$h_5 = Sq^2, \quad (IV.23)$$

где q — расчетный расход воды, л/с;

S — коэффициент сопротивления водомера, принимаемый в зависимости от его калибра:

Калибр водомера, мм	15	20	30	40	50	80	100
Коэффициент S	14,4	5,18	1,3	0,32	0,0265	0,00207	0,000675

При установке насоса его напор должен быть достаточным для нормальной эксплуатации системы горячего и холодного водоснабжения ($H_p = H_n$).

Расчетный постоянный свободный напор у водоразборных кранов и смесителей санитарных приборов принимают не менее 2 м, а у смесителей регулируемых душевых сеток — не менее 4 м. Величина свободного постоянного напора обеспечивает необходимую для нормальной эксплуатации скорость истечения воды из водоразборного крана или душевой сетки. Так, скорость наполнения ведра из крана кухонной раковины составляет 60 с, шайки в бане — 6 с, стиральной машины, ванны, мойки — 3—5 мин и т. п.

Таблица IV. 9. Расчетные расходы воды, л/с, в жилых домах в зависи

N	Норма водопотребления, л, на 1 жителя в сутки						
	100	125	150	200	250	300	400
2	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
4	0,37	0,39	0,39	0,39	0,41	0,41	0,44
6	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,5	0,54
8	0,53	0,54	0,55	0,55	0,57	0,59	0,63
10	0,57	0,6	0,61	0,63	0,64	0,65	0,71
12	0,64	0,66	0,66	0,66	0,7	0,71	0,78
14	0,7	0,72	0,73	0,74	0,77	0,78	0,86
16	0,74	0,75	0,76	0,76	0,81	0,83	0,92
18	0,78	0,8	0,81	0,81	0,86	0,89	0,99
20	0,82	0,84	0,85	0,85	0,9	0,93	1,04
25	0,91	0,93	0,94	0,95	1,01	1,05	1,18
30	1	1,02	1,02	1,04	1,11	1,15	1,32
35	1,08	1,11	1,12	1,12	1,21	1,25	1,36
40	1,15	1,19	1,19	1,2	1,29	1,34	1,38
45	1,22	1,25	1,27	1,28	1,37	1,43	1,64
50	1,28	1,32	1,33	1,34	1,44	1,52	1,75
60	1,4	1,46	1,46	1,47	1,58	1,67	1,96
70	1,5	1,57	1,58	1,6	1,73	1,81	2,12
80	1,61	1,68	1,7	1,71	1,86	1,95	2,24
90	1,7	1,79	1,79	1,81	1,98	2,07	2,43
100	1,82	1,88	1,91	1,92	2,1	2,2	2,62
120	2	2,06	2,09	2,12	2,3	2,43	2,88
140	2,21	2,29	2,3	2,32	2,51	2,65	3,17
160	2,33	2,43	2,44	2,48	2,7	2,85	3,42
180	2,47	2,56	2,58	2,62	2,84	3	3,64
200	2,63	2,74	2,76	2,78	3,04	3,23	3,89
220	2,77	2,86	2,9	2,94	3,22	3,41	4,08
240	2,91	3,02	3,06	3,06	3,38	3,58	4,34
260	3,03	3,14	3,18	3,2	3,52	3,75	4,52
280	3,15	3,28	3,33	3,34	3,7	3,91	4,74
300	3,26	3,4	3,43	3,46	3,83	4,07	4,93
320	3,74	3,87	3,9	3,92	4,3	4,54	5,46

Величина гидростатического напора у санитарных приборов не должна превышать 60 м. При большем давлении необходимо зонирование системы.

Расчет циркуляционных трубопроводов. Циркуляция воды может быть непрерывной в течение всего периода снабжения потребителей горячей водой и даже круглосуточно (например, в больницах), а также кратковременной за несколько часов до начала водоразбора (например, в душевых промышленных предприятий — за 0,5—1 ч до конца смены).

Циркуляционный трубопровод устраивают с естественной или насосной циркуляцией, с верхней или нижней разводкой, с прокладкой циркуляционной сети параллельно подающим магистралям. Пределы применения естественной циркуляции можно принимать по данным табл. IV.13.

Расчетное циркуляционное кольцо состоит из двух частей: разводящей водоразборной сети и собственно циркуляционного трубопровода. Подающую водоразборную сеть рассчитывают на пропуск необходимых расходов воды к точкам водоразбора, а циркуляционную — на пропуск расходов горячей воды, восполняющих потери тепла в трубах.

Расчетный расход воды в л/ч в циркуляционной сети определяют по формуле

$$g_{ц} = \frac{\Sigma Q_{п}}{\Delta t_{т}}, \quad (IV.24)$$

N	Норма водопотребления, л, на 1 жителя в сутки						
	100	125	150	200	250	300	400
340	3,87	3,99	4,02	4,06	4,46	4,71	5,67
360	3,99	4,12	4,14	4,2	4,58	4,88	5,88
380	4,12	4,28	4,32	4,32	4,72	5,04	6,07
400	4,25	4,42	4,44	4,48	4,94	5,2	6,4
450	4,63	4,77	4,8	4,88	5,31	5,59	6,73
500	4,93	5,06	5,08	5,16	5,51	5,97	7,14
550	5,73	5,92	5,94	6,02	6,53	6,89	8,25
600	6,08	6,26	6,3	6,34	6,9	7,3	8,68
650	6,46	6,6	6,67	6,7	7,3	7,7	9,22
700	6,76	7	7,03	7,06	7,7	8,09	9,69
750	7,07	7,33	7,36	7,4	8,08	8,48	10,1
800	7,4	7,63	7,71	7,8	8,36	8,86	10,56
850	8,58	8,81	8,87	8,96	9,63	10,08	11,85
900	8,93	9,19	9,22	9,3	9,99	10,5	12,23
950	9,25	9,55	9,63	9,65	10,34	10,91	12,86
1000	9,64	9,92	9,96	10,04	10,54	11,32	13,34
1100	10,2	10,46	10,68	10,78	11,56	12,14	14,23
1200	11,02	11,16	11,41	11,48	12,34	12,93	15,15
1300	13	13,32	13,4	13,46	14,36	15,01	17,38
1400	13,8	14,12	14,2	14,32	15,26	15,83	18,2
1500	14,54	14,9	14,98	15,08	16,02	16,74	19,1
1600	15,32	15,69	15,78	15,88	16,91	17,6	20,4
1700	16,08	16,46	16,57	16,66	17,73	18,45	21,34
1800	16,84	17,23	17,34	17,44	18,54	19,29	22,3
1900	17,58	18	18,1	18,21	19,35	20,12	23,24
2000	18,33	18,75	18,86	18,97	20,15	20,94	24,17
2200	19,81	20,21	20,37	20,49	21,74	22,58	26,01
2400	21,28	21,74	21,87	22	23,31	24,2	27,83
2600	22,73	23,22	23,35	23,48	24,86	25,8	29,82
2800	24,18	24,69	24,82	24,96	26,41	27,38	31,4
3000	25,61	26,14	26,28	26,43	27,94	28,95	33,15

где Δt_T — расчетный перепад температур в подающем трубопроводе, принимаемый в пределах от 5 до 15° С в зависимости от протяженности циркуляционного кольца;

ΣQ_{II} — суммарные потери тепла трубами подающей водоразборной сети, ккал/ч, найденные по табл. IV.14, при температурном перепаде между средней температурой горячей воды и окружающей среды $\Delta t'_T$, вычисляемом по формуле

$$\Delta t'_T = \frac{t_H - t_K}{2} - t_B, \quad (IV.25)$$

где t_H и t_K — температура горячей воды в начале и в конце подающего трубопровода, °С;

t_B — температура окружающей среды, зависящая от месторасположения труб (в бороздах и каналах — 40° С, при открытой прокладке в жилых зданиях — 18—20, в неотапливаемых подвалах — 5, на чердаках — 10° С).

Теплопотери в подающих трубопроводах жилых зданий допускается определять по формуле

$$\Sigma Q_{II} = 0,05 Q_G, \quad (IV.26)$$

где Q_G — расчетный расход тепла, вычисляемый по формулам (IV.7) и (IV.8).

Т а б л и ц а IV 10 Расчетные расходы воды, л/с, на хозяйственно-питьевые нужды в зависимости от количества эквивалентных единиц для различных общественных зданий (СНиП II-Г 1—70)

N	Бани, детские ясли, сады	Поликлиники и амбулатории	Административные здания и магазины	Учебные заведения	Больницы, санатории, дома отдыха и пионерские лагеря	Гостиницы, общежития, школы интернаты и пансионаты	N	Бани, детские ясли, сады	Поликлиники и амбулатории	Административные здания и магазины	Учебные заведения	Больницы, санатории, дома отдыха и пионерские лагеря	Гостиницы, общежития, школы интернаты и пансионаты
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	55	—	2,08	2,22	2,67	2,97	3,71
2	0,35	0,39	0,4	0,4	0,4	0,4	60	—	2,17	2,32	2,79	3,1	3,88
3	0,42	0,48	0,52	0,6	0,6	0,6	65	—	2,26	2,42	2,9	3,22	4,03
4	0,48	0,56	0,6	0,72	0,8	0,8	70	—	2,34	2,51	3,02	3,35	4,18
5	0,54	0,63	0,67	0,81	0,9	1	75	—	2,42	2,6	3,12	3,46	4,33
6	0,59	0,69	0,74	0,88	0,98	1,22	80	—	2,5	2,68	3,22	3,58	4,47
7	0,64	0,74	0,8	0,96	1,06	1,32	85	—	2,58	2,77	3,32	3,69	4,61
8	0,67	0,79	0,85	1,02	1,13	1,41	90	—	2,66	2,84	3,42	3,8	4,75
9	0,72	0,84	0,9	1,08	1,2	1,5	95	—	2,73	2,83	3,51	3,9	4,88
10	0,76	0,88	0,95	1,13	1,26	1,58	100	—	2,8	3	3,6	4	5
12	0,83	0,97	1,04	1,24	1,38	1,73	120	—	—	3,29	3,94	4,38	5,48
14	0,9	1,05	1,12	1,34	1,5	1,87	140	—	—	3,66	4,26	4,73	5,91
16	0,96	1,12	1,2	1,44	1,6	2	160	—	—	3,8	4,55	5,06	6,38
18	1,02	1,19	1,27	1,52	1,69	2,12	180	—	—	4,03	4,82	5,36	6,71
20	1,07	1,25	1,34	1,61	1,79	2,23	200	—	—	4,24	5,08	5,65	7,07
25	1,2	1,4	1,5	1,8	2	2,5	220	—	—	4,45	5,34	5,93	7,42
30	1,31	1,53	1,64	1,97	2,2	2,74	240	—	—	4,64	5,57	6,2	7,74
35	1,42	1,66	1,78	2,14	2,37	2,96	260	—	—	4,84	5,81	6,45	8,06
40	1,52	1,77	1,9	2,28	2,53	3,16	280	—	—	5,02	6,02	6,69	8,36
45	1,61	1,88	2,01	2,42	2,68	3,35	300	—	—	5,2	6,24	6,93	8,66
50	1,7	1,98	2,12	2,54	2,83	3,54		—	—				

Таблица IV. 11. Процент одновременного действия санитарных приборов и оборудования в общественных зданиях (СНиП II-Г 1—70)

Приборы и оборудование	Кинотеатры, клубы и спортивные сооружения	Театры и цирки	Предприятия общественного питания
Умывальники	80	60	80
Души	100		100
Мойки в буфетах	100		—
Машины посудомоечные	—		100

Таблица IV 12 Данные ВНИИ Водгео для гидравлического расчета стальных водогазопроводных труб (H — потери напора на 1 м трубы, мм; v — скорость воды в трубе, м/с)

Расход воды, <i>л/с</i>	Диаметр труб <i>мм</i> (ГОСТ 3262—62)							
	15		20		25		32	
	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>
0,05	0,29	28	—	—	—	—	—	—
0,1	0,58	99	0,31	20,8	—	—	—	—
0,15	0,88	208	0,46	43	0,28	12,7	—	—
0,2	1,17	354	0,62	72,7	0,38	21,3	0,21	5,2
0,25	1,46	551	0,78	109	0,47	31,8	0,26	7,7
0,3	1,76	793	0,93	153	0,56	44,2	0,32	10,7
0,35	2,05	1079	1,09	204	0,66	58,6	0,37	14,1
0,4	2,34	1409	1,24	263	0,75	74,8	0,42	17,9
0,45	2,63	1784	1,4	333	0,85	93,2	0,47	22,1
0,5	2,93	2202	1,55	411	0,94	113	0,53	26,7
0,6	—	—	1,86	591	1,13	159	0,63	37,3
0,7	—	—	2,17	805	1,32	214	0,74	49,5
0,8	—	—	2,48	1051	1,51	279	0,84	63,2
0,9	—	—	2,79	1330	1,69	354	0,95	78,7
1	—	—	—	—	1,88	437	1,05	95,7
1,25	—	—	—	—	2,35	682	1,32	147
1,5	—	—	—	—	2,82	983	1,58	211
1,75	—	—	—	—	—	—	1,85	287
2	—	—	—	—	—	—	2,11	375
2,25	—	—	—	—	—	—	2,38	475
2,5	—	—	—	—	—	—	2,64	587
2,75	—	—	—	—	—	—	2,9	710

Продолжение табл IV 12

Расход воды, л/с	Диаметры труб, мм (ГОСТ 3262—62)									
	40		50		70		80		100	
	v	H	v	H	v	H	v	H	v	H
0,25	0,2	3,9	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	0,24	5,4	—	—	—	—	—	—	—	—
0,35	0,28	7,1	—	—	—	—	—	—	—	—
0,4	0,32	9	—	—	—	—	—	—	—	—

Расход воды, л/с	Диаметры труб, мм (ГОСТ 3262—62)									
	40		50		70		80		100	
	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>	<i>v</i>	<i>H</i>
0,45	0,36	11,1	0,21	3,1	—	—	—	—	—	—
0,5	0,4	13,4	0,23	3,7	—	—	—	—	—	—
0,6	0,48	18,4	0,28	5,2	—	—	—	—	—	—
0,7	0,56	24,6	0,33	6,8	0,2	2	—	—	—	—
0,8	0,64	31,4	0,38	8,5	0,23	2,5	—	—	—	—
0,9	0,72	39	0,42	10,7	0,25	3,1	—	—	—	—
1	0,8	47,3	0,47	12,9	0,28	3,8	0,2	1,6	—	—
1,25	0,99	71,6	0,59	19,4	0,35	5,6	0,25	2,4	—	—
1,5	1,19	101	0,71	27	0,42	7,7	0,3	3,4	—	—
1,75	1,39	136	0,82	35,9	0,5	10,2	0,35	4,4	0,2	1,2
2	1,59	178	0,94	46	0,57	13	0,4	5,6	0,23	1,5
2,25	1,79	226	1,06	58	0,64	16,2	0,45	7	0,26	1,9
2,5	1,99	278	1,18	69,6	0,71	19,6	0,5	8,4	0,29	2,2
2,75	2,19	337	1,3	83,8	0,78	23,3	0,55	10	0,31	2,5
3	2,39	400	1,41	99,8	0,85	27,4	0,6	11,7	0,35	3
3,25	2,59	470	1,53	118	0,93	31,8	0,65	13,6	0,37	3,5
3,5	2,78	545	1,65	136	0,99	36,5	0,7	15,5	0,4	3,9
3,75	2,98	627	1,78	156	1,07	41,5	0,75	17,6	0,44	4,5
4	—	—	1,88	177	1,13	46,8	0,81	19,8	0,46	5
4,25	—	—	2	200	1,21	52,4	0,86	22,1	0,49	5,6
4,5	—	—	2,12	224	1,28	58,6	0,91	24,6	0,52	6,2
4,75	—	—	2,24	250	1,35	65,3	0,96	27,2	0,55	6,8
5	—	—	2,35	277	1,42	72,3	1,01	30	0,58	7,5
5,25	—	—	2,48	306	1,49	80	1,06	32,8	0,61	8,2
5,5	—	—	2,59	335	1,56	87,5	1,11	35,8	0,63	8,9
5,75	—	—	2,71	367	1,63	95,7	1,16	38,9	0,67	9,7
6	—	—	2,82	399	1,7	104	1,21	42,1	0,69	10,5
6,25	—	—	2,95	433	1,78	113	1,26	45,7	0,73	11,2
6,5	—	—	—	—	1,84	122	1,31	49,4	0,75	12,2
6,75	—	—	—	—	1,92	132	1,36	53,2	0,78	13
7	—	—	—	—	1,99	142	1,41	57,3	0,81	13,9
7,25	—	—	—	—	2,06	152	1,46	61,5	0,84	14,8
7,5	—	—	—	—	2,13	163	1,51	65,7	0,87	15,8
7,75	—	—	—	—	2,2	174	1,56	70,2	0,9	16,8
8	—	—	—	—	2,27	185	1,61	74,8	0,92	17,8
8,25	—	—	—	—	2,34	197	1,66	79,5	0,96	18,9
8,5	—	—	—	—	2,41	209	1,71	84,4	0,98	19,9
8,75	—	—	—	—	2,49	222	1,76	89,5	1,02	21
9	—	—	—	—	2,55	234	1,81	94,6	1,04	22,1
9,25	—	—	—	—	2,63	248	1,86	100	1,07	23,3
9,5	—	—	—	—	2,69	261	1,91	105	1,1	24,5
9,75	—	—	—	—	2,77	275	1,96	111	1,13	25,7
10	—	—	—	—	2,84	289	2,01	117	1,15	26,9

**Таблица IV. 13. Пределы применения естественной
циркуляции в системах горячего водоснабжения**

Расстояние от центра водоподогревателя, м, до наивысшей точки водоразбора	Горизонтальное расстояние от дальнего водоразбора до генератора тепла, м	
	в системе с верхней разводкой	в системе с нижней разводкой
2	15—20	12—15
6	30—35	20—25
10	40—45	25—30
20	50—60	30—35

Таблица IV. 14. Потери тепла, ккал/ч, на 1 м труб горячего водоснабжения

ГОСТ	Диаметр условного прохода, мм	Разность температур воды и окружающего воздуха, °С								
		25	30	35	40	45	50	55	60	65
Трубы неизолированные										
3262—62	15	17	20	23	28	32	35	40	45	49
	20	22	26	30	36	41	45	52	59	64
	25	27	32	38	46	52	59	67	74	81
	32	30	36	42	50	56	63	73	83	90
	40	34	40	47	57	64	71	84	95	103
10 704—63 *	50	42	50	59	70	79	88	102	117	126
	70	51	62	72	91	102	114	132	151	163
8732—70 *	70	51	62	72	91	102	114	137	151	163
	80	60	72	84	106	110	133	154	176	191
	90	64	78	90	115	129	144	167	192	208
	100	72	86	100	129	145	161	187	204	221
Трубы изолированные (к. п. д. изоляции 0,6)										
3262—62	15	7	8	9	11	13	14	16	18	20
	20	9	10	12	14	16	18	21	24	26
	25	11	13	15	18	21	24	26	30	32
	32	12	14	17	20	22	25	29	33	35
	40	14	16	19	23	26	28	34	38	41
10 704—63 *	50	17	20	24	28	32	35	41	47	50
	70	20	25	29	36	41	46	53	60	65
8732—70 *	70	20	25	29	36	41	46	53	60	65
	80	24	29	34	42	44	53	62	70	76
	90	26	31	36	46	52	58	67	77	83
	100	29	34	40	52	58	64	75	82	88

По данным А. В. Хлудова (см. сноску на стр. 254) потери тепла в местных системах горячего водоснабжения составляют до 8% среднечасового расхода полезного тепла при изолированных стояках и до 25% — при неизолированных.

При установке полотенцесушителей в ванных комнатах жилых домов потери тепла увеличиваются до 30%. Потери тепла в циркуляционной сети можно принимать в размере 40—50% от теплопотерь в подающей сети.

Для магистральных участков подающих трубопроводов циркуляционные расходы воды $g_{ц}$ вычисляют как сумму расходов в примыкающих участках пропорционально теплопотерям. Так, расходы воды, циркулирующей в трубопроводах системы горячего водоснабжения, которая показана на схеме (лист IV.11, рис. 2), определяют так:

$$\text{для участка 1 } g_{ц_1} = \frac{Q_{п}}{\Delta t_{т}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}{\Delta t_{т}}, \quad (\text{IV.27})$$

$$\text{для участка 2 } g_{ц_2} = g_{ц_1} \frac{Q_2}{Q_{п} - Q_1}; \quad (\text{IV.28})$$

$$\text{для участка 3 } g_{ц_3} = g_{ц_1} - g_{ц_2}; \quad (\text{IV.29})$$

$$\text{для участка 4 } g_{ц_4} = g_{ц_3} \frac{Q_4}{Q_{п} - Q_5}; \quad (\text{IV.30})$$

$$\text{для участка 5 } g_{ц_5} = g_{ц_3} - g_{ц_4}. \quad (\text{IV.31})$$

Диаметры циркуляционных трубопроводов принимают из расчета пропускания найденных выше циркуляционных расходов; потери на трение находят так же, как при расчете подающих трубопроводов системы горячего водоснабжения. При циркуляционных трубопроводах большой протяженности удельные потери на трение допускается принимать до 15 мм вод. ст. на 1 м трубы. В системах с естественной циркуляцией гидравлический расчет следует выполнять с большей точностью, аналогично расчету трубопроводов центрального водяного отопления.

Порядок расчета циркуляционной системы горячего водоснабжения с естественным побуждением следующий.

В зависимости от геометрических размеров системы задаются располагаемым напором в мм вод. ст., пользуясь эмпирическими формулами, предложенными А. В. Хлудовым:

для верхней разводки

$$H_p = 0,4 (h_1 + 0,08L) (t_n - t_k); \quad (\text{IV.32})$$

для нижней разводки

$$H_p = 0,25 (h_2 + 0,03L) (t_n - t_k), \quad (\text{IV.33})$$

где h_1 и h_2 — расстояния по вертикали от центра водонагревателя до разводящего горизонтального трубопровода и до наивысшей точки водоразбора, м;

L — расстояние по горизонтали от водонагревателя до самой дальней точки водоразбора при изолированном трубопроводе, м (размеры h_1 , h_2 и L — см. лист IV.6, рис. 1);

t_n — начальная температура горячей воды при выходе из водонагревателя, °С;

t_k — конечная температура горячей воды при выходе из дальней точки водоразбора, °С.

При наличии аккумулятора тепла, расположенного высоко над водонагревателем, величину H_p определяют по формуле

$$H_p = \beta h (t_n - t_a), \quad (\text{IV.34})$$

где β — удельное гравитационное давление, принимаемое равным 0,64 мм вод. ст./°С на 1 м высоты;

h — расстояние по вертикали от центра водонагревателя до низа аккумулятора или до места выхода горячей воды, м;

t_a и t_n — температура воды при выходе из водонагревателя в восходящий стояк и при выходе из аккумулятора в обратный стояк, °С.

В обратном стояке обычно принимают $t_a = 80 \div 85^\circ \text{C}$, а в восходящем $t_n = 95 \div 98^\circ \text{C}$, так как вода в открытом аккумуляторе не должна закипать.

После определения величины H_p находят диаметры водоразборной сети, потери тепла и величину $g_{ц}$. Затем предварительно задаются диаметрами циркуляционной сети, обычно принимаемыми в системах с насосной циркуляцией на один-два размера меньше соответствующих участков подающего трубопровода, а при естественной циркуляции воды — одинакового диаметра.

По табл. IV.12 определяют потери напора H_1 при пропуске до водоразборной (подающей) сети только циркуляционного расхода $g_{ц}$.

Зная величины H_p и H_1 , находят напор $H_{ц} = H_p - H_1$, оставшийся на преодоление сопротивления циркуляционного трубопровода, на основании чего уточняют диаметры сети при средней удельной потере на трение в *мм вод. ст.* на 1 м трубопровода.

$$R_{ц} = \frac{H_{ц}}{\Sigma l} 0,6, \quad (IV.35)$$

где Σl — общая длина циркуляционного трубопровода, м;

0,6 — доля потерь давления на трение.

Величина циркуляционного напора $H_{ц}$ должна быть на 25—30% больше потерь напора H_1 в подающей сети.

Общие потери напора в главном магистральном циркуляционном кольце должны быть не более $0,75H_p$. Второстепенные циркуляционные кольца (ответвления) следует увязывать с магистралью, допуская неувязку напоров не более 10%. В противном случае требуется соответственно изменить диаметры трубопроводов проектируемой сети горячего водоснабжения.

В циркуляционных системах горячего водоснабжения с насосным пробуждением мощность насоса должна обеспечить подачу воды с напором H_n в м при таких условиях:

$$H_p = H_n = H_1 \left(\frac{0,15g_p + g_{ц}}{g_{ц}} \right)^2 + H_{ц}, \quad (IV.36)$$

где H_1 — потери напора в подающем трубопроводе и оборудовании при циркуляционном расходе, м;

$H_{ц}$ — потери напора в циркуляционном трубопроводе, м;

$g_{ц}$ — циркуляционный расход воды при отсутствии водозабора, л/ч;

g_p — расчетный расход горячей воды, л/ч, определяемый по формуле

$$g_p = \frac{Q_{гв}}{t_r - t_x}, \quad (IV.37)$$

где $Q_{гв}$ — расчетный расход тепла на горячее водоснабжение, ккал/ч;

t_r — расчетная температура горячей воды, °С;

t_x — температура воды в сети холодного водопровода, °С.

Циркуляционные насосы подбирают по правилам, изложенным в разделе V «Отопительные котельные». На напорной линии у насоса устанавливают задвижку и обратный клапан, а на всасывающей линии — задвижку.

При непосредственном разборе воды из тепловой сети в системе горячего водоснабжения циркуляция обеспечивается за счет разности давлений, создаваемой диафрагмой с автоматическим регулированием температуры подаваемой потребителям воды (лист IV.11, рис. 3). Для зимнего режима диафрагму устанавливают на обратной линии тепловой сети между точками присоединения подающего и циркуляционного трубопроводов горячего водоснабжения, для летнего — на циркуляционном трубопроводе системы горячего водоснабжения. Диаметр отверстия диафрагмы в *мм* находят по формуле

$$d_d = 11,3 \sqrt{\frac{g_d}{V H_d}}, \quad (IV.38)$$

где g_d — количество проходящей через диафрагму воды, м³/ч, вычисляемое из выражения

$$g_d = 0,00015g_p; \quad (IV.39)$$

g_p — расчетный расход воды, л/ч, определяемый по формуле (IV.37);
 H_d — напор, поглощаемый диафрагмой, м, который при установке диафрагмы для зимнего режима находят по формуле (IV.36), а для летнего — по формуле

$$H_d = H_c - H_p; \quad (IV.40)$$

H_c — разность напоров в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, м.
 Для контроля давления и температуры воды в системе горячего водоснабжения предусматривают установку манометров (до и после циркуляционного насоса и на подающем трубопроводе) и термометров (до и после водонагревателей и на циркуляционном трубопроводе).

Пример IV.2. Пользуясь данными примера IV.1, рассчитать диаметры циркуляционных труб между генератором тепла и баком-аккумулятором квартирных установок горячего водоснабжения, изображенных на листе IV.3. Расчетный расход горячей воды $g_p = 533$ кг/ч, а температурный перепад в системе $\Delta t = 15^\circ \text{C}$.

С х е м а 1 (лист IV.3, рис. 3). Высота циркуляционного стояка от выхода горячей воды в баке-аккумуляторе до центра генератора тепла

$$h = 0,15 + 1,23 + \frac{0,42}{2} = 1,59 \text{ м.}$$

Располагаемый циркуляционный напор на основании формулы (IV.34)

$$H_p = 0,64 \cdot 1,59 \cdot 15 = 15,26 \text{ мм вод. ст.}$$

Общая длина циркуляционных труб подающего стояка с учетом змеевика генератора тепла (см. лист IV.2)

$$\Sigma l = 0,15 + 1,23 + 0,34 \cdot 2 + 0,06 \cdot 4 \cdot 2 + 0,42 = 2,96 \text{ м,}$$

обратного стояка

$$\Sigma l = 0,05 + 0,42 + 1,23 = 1,7 \text{ м.}$$

Находим потери напора на трение по табл. III.60. Для расчета трубопроводов водяного отопления, предварительно приняв диаметры циркуляционных труб равными 40 мм, при скорости воды в трубах $v = 0,112$ м/с

$$Rl = 0,55 (2,96 + 1,7) = 2,56 \text{ мм вод. ст.}$$

Для определения потерь напора в местных сопротивлениях сначала по табл. II. 65 подсчитываем сумму коэффициентов местных сопротивлений:

Внезапное расширение	1
Змеевик генератора тепла	2
Тройник-ответвление	1,5
Утка	0,5
Внезапное сужение	0,6
Всего	5,6

Поскольку потери определены при отсутствии водоразбора, местное сопротивление крестовины на проход подающего стояка не учтено. При скорости воды $v = 0,112$ м/с по табл. III.61, интерполируя, находим потери напора в местных сопротивлениях $Z = 3,52$ мм вод. ст.

Суммарные потери напора в циркуляционном кольце с учетом поправочного коэффициента на возможное отложение накипи на внутренних стенках труб 1,2 равны:

$$(Rl + Z) \cdot 1,2 = (2,56 + 3,52) 1,2 = 7,42 \text{ мм вод. ст.}$$

$$\text{Запас напора } A = \frac{15,26 - 7,42}{15,26} \cdot 100 = 51,5\%.$$

С х е м а 2 (лист IV.3, рис. 4). Высота циркуляционного стояка от центра змеевика в баке-аккумуляторе до центра генератора тепла

$$h = \frac{0,15 + 0,05}{2} + 1,03 + \frac{0,42}{2} = 1,34 \text{ м.}$$

Располагаемый циркуляционный напор

$$H_p = 0,64 \cdot 1,34 \cdot 15 = 12,86 \text{ мм вод. ст.}$$

Общая длина циркуляционных труб подающего стояка с учетом змеевика генератора тепла

$$\Sigma l = 1,2 + 1,03 + 0,2 + 0,34 \cdot 2 + 0,06 \cdot 4 \cdot 2 + 0,42 = 4,01 \text{ м;}$$

для обратного стояка с учетом змеевика бака-аккумулятора

$$\Sigma l = 0,05 + 0,42 + 1,03 + 0,37 \cdot 2 + 0,15 = 3,39 \text{ м.}$$

Ранее принятый диаметр циркуляционных труб остается равным 40 мм. Потери напора на трение при скорости движения воды $v = 0,112 \text{ м/с}$ должны быть

$$Rl = 0,55 (4,01 + 3,39) = 4,07 \text{ мм вод. ст.}$$

Подсчитываем сумму коэффициентов местных сопротивлений циркуляционного кольца:

Змеевик бака-аккумулятора	2
Тройник-ответвление	1,5
Змеевик генератора тепла	2
Тройник-ответвление	1,5
Отвод	0,3
В с е г о	7,3

Поскольку потери определяем при отсутствии водоразбора, то местное сопротивление крестовины на подающем стояке принято как сопротивление тройника-ответвления. При скорости воды $v = 0,112 \text{ м/с}$ потери напора в местных сопротивлениях $Z = 4,63 \text{ мм вод. ст.}$ Суммарные потери напора в циркуляционном кольце с учетом коэффициента 1,2 будут

$$(Rl + Z) \cdot 1,2 = (4,07 + 4,63) \cdot 1,2 = 10,44 \text{ мм вод. ст.}$$

$$\text{Запас напора } A = \frac{12,86 - 10,44}{12,86} \cdot 100 = 18,7\%.$$

Полученные результаты гидравлического расчета позволяют сделать вывод, что предварительно принятые диаметры циркуляционных труб приемлемы.

Пример IV.3. Определить параметры генератора тепла и выполнить гидравлический расчет трубопроводов системы горячего водоснабжения с циркуляционной сетью жилого дома на 72 квартиры и посемейным заселением. Каждая квартира имеет ванну с душем, умывальник и мойку в кухне. Норма водопотребления на 1 жителя — 150 л/сут. Разводящие магистрали проложены под потолком неотапливаемого подвала с хорошей теплоизоляцией: стояки не изолированы и проложены в бороздах стен.

Схема системы горячего водоснабжения симметричная с вводом городского водопровода в центре здания. Нагрев воды предусмотрен в емких горизонтальных пароводяных водонагревателях, установленных в подвале дома. Теплоноситель — пар низкого давления 0,5 кгс/см² (см. лист IV.12, рис. 1). Циркуляция воды без водоразбора в ночное время поддерживается постоянной с естественным побуждением и обеспечением расчетных циркуляционных расходов для восполнения теплопотерь трубами.

Емкие водонагреватели работают на продавливание напором холодной воды из сети водопровода и одновременно служат аккумуляторами тепла. Водонагреватель обеспечивается теплоносителем круглосуточно от теплосети котельной завода.

Р а с ч е т п а р а м е т р о в г е н е р а т о р а т е п л а. За расчетный принимаем среднечасовой расход тепла за сутки наибольшего водопотребления, вычисляя его по формуле (IV.7) при таких данных: норма расхода горячей воды $a = 110 \text{ л/сутки}$ на 1 чел.; температура горячей воды $t_g = 65^\circ \text{ С}$, холодной $t_x = 5^\circ \text{ С}$; количество жителей с посемейным заселением дома равно $4 \cdot 72 = 288 \text{ чел.}$ Тогда по

формуле (IV.7)

$$Q_{гс} = 1,2 \frac{288 \cdot 110 (65 - 5)}{24} = 95\,040 \text{ ккал/ч.}$$

На основании безразмерного графика водопотребления (см. лист IV.10, рис. 1, а) находим расчетные расходы тепла по часам суток по данным ломаной линии I. За 100% принят расход тепла $Q_{гс} = 95040 \text{ ккал/ч.}$ Неравномерность расходования тепла колеблется в пределах 5—270%.

Суммарные расходы тепла определяем за то число часов суток, в течение которого расход тепла не изменялся. Результаты подсчетов приведены в табл. IV.15 и показаны на интегральном графике (лист IV.12, рис. 2) штриховой ломаной линией.

Учитывая равномерную работу водонагревателей — аккумуляторов тепла, соединяем прямой сплошной линией А — Б точки начала (0) и конца (24 ч) ординат расходования тепла интегрального графика. Сопоставляя точки на ломаной и прямой линиях — расхода и выработки тепла, находим наибольшую разность между ординатами в 18 ч (точки а, б):

$$A_{\text{макс}} = 1\,700\,000 - 1\,116\,720 = 583\,280 \text{ ккал.}$$

Тогда необходимая емкость аккумулятора тепла по формуле (IV.15) при максимальной температуре воды на выходе из водонагревателя $t_r = 75^\circ \text{C}$ должна быть при постоянном объеме воды

$$v_{\text{ак}} = \frac{583\,280}{75 - 5} = 8322 \text{ л.}$$

Поверхность змеевиков из стальных труб рассчитываем на максимальный часовой расход тепла [формула (IV.8)]

$$Q_r = 10\,000 \cdot 288 \cdot 0,325 = 234\,000 \text{ ккал/ч,}$$

где 0,325 — коэффициент одновременности теплоснабжения, полученный путем интерполяции (см. данные на стр. 275).

Тогда по формуле (IV.18)

$$F_{\text{зм}} = \frac{1,2 \cdot 234\,000}{600 \left(110 - \frac{75 + 5}{2} \right)} = 6,65 \text{ м}^2,$$

Таблица IV. 15. Данные для построения интегрального графика

Период работы при неизменном расходе тепла, ч			Неравномерность расходования тепла, 0,01 · х	Расход тепла, ккал/ч	
				часовой	суммарный
начало	конец	всего		при неизменном расходе тепла	общий
0	1	1	0,8	95 040 · 0,8 = 76 032	76 032
1	6	5	0,05	95 040 · 0,05 = 4752	4752 · 5 = 23 760
6	7	1	1	95 040	95 040
7	10	3	1,3	95 040 · 1,3 = 123 552	123 552 · 3 = 370 656
10	12	2	0,8	95 040 · 0,8 = 76 032	76 032 · 2 = 152 064
12	15	3	0,5	95 040 · 0,5 = 47 520	47 520 · 3 = 142 560
15	18	3	0,9	95 040 · 0,9 = 85 536	85 536 · 3 = 256 608
18	20	2	1,6	95 040 · 1,6 = 152 064	152 064 · 2 = 304 128
20	22	2	2,7	95 040 · 2,7 = 256 608	256 608 · 2 = 513 216
22	23	1	2,2	95 040 · 2,2 = 209 088	209 088
23	24	1	1,4	95 040 · 1,4 = 133 056	133 056
					76 032
					99 792
					194 832
					565 488
					717 552
					860 112
					1 116 720
					1 420 848
					1 934 064
					2 143 152
					2 276 208

где $600 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ — коэффициент теплопередачи труб змеевика от пара к воде;
 110°C — температура насыщенного пара давлением $0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$,
 принимаемая по табл. III.5.

К установке принимаем два емких горизонтальных пароводяных водонагревателя 3078 с $v = 4400/4000 \text{ л}$ и $F_{\text{зм}} = 4,7 \text{ м}^2$ (см. табл. IV.4).

Расчет подающей сети. На основании схемы трубопроводов системы горячего водоснабжения, показанной на листе IV.12, рис. 1, с разбивкой на расчетные участки, а водопотребителей — на группы, объединенные в стояки, по табл. IV.8 находим сумму эквивалентов, а по табл. IV.9 — соответствующие им секундные расходы воды. При этом расчетные расходы воды на участке от ввода городского водопровода до водонагревателей определены как суммарные расходы горячей и холодной воды в здании, а на остальных участках подающей сети — только как расходы горячей воды по табл. IV.9 с коэффициентом 0,7.

Потери напора на местные сопротивления приняты в размере 30% от потерь напора на трение. Общие потери напора на трение увеличены на поправочный коэффициент 1,2, учитывающий возможное зарастание накипью внутренних стенок труб.

Гидравлический расчет выполняем по табл. IV.12; полученные результаты сводим в табл. IV.16.

На основании подсчетов потери напора в подающей сети получаем следующие величины, мм вод. ст.:

Суммарные потери на трение	5294
Местные потери (30% суммарных потерь на трение)	1588
Потери в емком водонагревателе по формуле (IV.20)	110
Потери в водомере диаметром 50 мм по формуле (IV.23)	168
Итого	7160

С учетом коэффициента на зарастание стенок труб, равного 1,2, общие потери напора в подающей сети составляют $7160 \cdot 1,2 = 8592 \text{ мм вод. ст.} \approx 8,6 \text{ м}$.

Величины напора на вводе водопровода, м, будут следующие:

Свободный напор у ванного смесителя	4
Высота подъема воды (см. схему на листе IV.12, рис. 1)	23,2
Общие потери напора в подающей сети	8,6
Всего	35,8

Следовательно, давление на вводе водопровода в здание должно составлять $3,6 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

Т а б л и ц а IV. 16. Гидравлический

Номер участка	Длина l , м	Число приборов		
		ванн ($N = 1$)	умывальников ($N = 0,33$)	моек ($N = 1$)
$M - 0$	1,1	—	—	1
$0 - B$	1,4	—	1	1
$B - 1$	0,9	1	1	1
$1 - 2$	3	2	2	2
$2 - 3$	3	4	4	4
$3 - 4$	3	6	6	6
$4 - 5$	3	8	8	8
$5 - 6$	3	10	10	10
$6 - 7$	14	12	12	12
$7 - 8$	12	24	24	24
$8 - 9$	6	36	36	36
$9 - 12$	6,5	72	72	72
$12 - Bв$	5	72	72	72

Расчет циркуляционной сети. По формуле (IV. 33) находим величину естественного циркуляционного давления:

$$H_p = 0,25 (h_2 + 0,03L) (t_n - t_k) = 0,25(20,7 + 0,03 \cdot 30) (70 - 60) = 53,5 \text{ мм вод. ст.},$$

где $h_2 = 1,2 + 3 \cdot 5 + 2 + 1 + 1,5 = 20,7 \text{ м}$ (см. расчетную схему на листе IV.12, рис. 1);

$L = 30 \text{ м}$ — радиус действия системы;

$t_n = 70^\circ \text{ С}$ — начальная средняя температура горячей воды при выходе из водонагревателя;

$t_k = 60^\circ \text{ С}$ — конечная температура горячей воды в самой дальней точке водоразбора.

Интерполируя данные табл. IV.14, подсчитываем теплопотери в подающей сети для неизолированных стояков в бороздах стен и для изолированных магистралей, проложенных в неотапливаемом подвале здания. Затем по ним вычисляем циркуляционные расходы при принятом температурном перепаде $\Delta t = 70 - 60 = 10^\circ \text{ С}$.

При обеспечении минимальной температуры горячей воды во всех точках водоразбора $t_r = 60^\circ \text{ С}$ величины падения температуры в отдельных участках подающей сети не должны превышать $3-5^\circ \text{ С}$. Тогда средние температуры горячей воды t_n могут быть приняты следующие: в стояках — 63, в магистралях — 68, в коммуникации водонагревателей — 70° С .

Суммарный циркуляционный расход для магистрали по формуле (IV.24)

$$g_{\Sigma} = \frac{4885}{70 - 60} = 488 \text{ л/ч};$$

для участков сети —

$$g_{\Sigma 8-9} = 488 : 2 = 244 \text{ л/ч};$$

$$g_{\Sigma 7-8} = 244 \frac{828}{1656} = 122 \text{ л/ч};$$

$$g_{\Sigma 1-7} = 244 - 122 = 122 \text{ л/ч}.$$

Результаты расчетов сведены в табл. IV.17.

расчет подающей сети

ΣN	$g, \text{ л/с } (k = 0,7)$	$d, \text{ мм}$	$v, \text{ м/сек}$	Потери напора $H, \text{ мм вод. ст.}$	
				на 1 м	на участке
1	0,1	15	0,58	99	109
1,33	0,14	15	0,87	195	274
2,33	0,21	15	1,23	370	333
4,66	0,29	20	0,9	144	432
3,32	0,39	25	0,73	55	165
13,98	0,51	25	0,96	118	354
18,64	0,58	25	1,09	149	447
23,3	0,62	32	0,65	40	120
27,96	0,69	32	0,72	48	672
55,92	0,97	32	1,02	81	972
83,88	1,21	32	1,33	136	816
177,76	1,78	50	0,83	37	240
177,76	2,55	50	1,2	72	360
Итого . . .				5294	

Таблица IV. 17. Расчет тепловотерь и циркуляционных расходов в подающей сети

Номер участка	Длина l , м	d , мм	Температуры, °C			Тепловотери, ккал/ч			$g_{ц}$, л/ч
			t_n	t_v	Δt_T	на 1 м	Q_n	ΣQ_n	
1—2	3	20	63	40	23	20	60	60	122
2—5	9	25	63	40	23	25	225	285	122
5—6'	5	32	63	40	23	27	135	420	122
6'—7	12	32	68	5	63	34	408	828	122
Стояк 2	—	—	—	—	—	—	420	—	122
7—8	12	32	68	5	63	34	408	1656	122
Стояк 3	—	—	—	—	—	—	420	—	122
8—9	6	32	68	5	63	34	204	2280	244
Правая половина	—	—	—	—	—	—	2280	—	244
9—Вд	6,5	50	70	5	65	—	325	4885	488

Таблица IV. 18. Проверочный расчет потерь напора в сети горячего водоснабжения при естественной циркуляции

Номер участка	$L, м$	$d, мм$	$g_{ц}, л/ч$	$R, мм вод ст$		$v, м/сек$	$\Sigma \zeta$	$Z, мм вод ст.$
				на 1 м	на участ- ке			
Подающая сеть								
$B\partial - 9$	4	50	488	0,14	0,56	0,064	5,3	1,12
$9-8$	6	32	244	0,28	1,68	0,068	1	0,23
$8-5$	29	32	122	0,075	2,17	0,035	3,8	0,23
$5-2$	9	25	122	0,26	2,34	0,059	6	1,08
$2-1$	3	20	122	0,95	2,85	0,095	1,5	0,68
				$\Sigma R = 9,6$		$\Sigma Z = 3,54$		
Циркуляционная сеть								
$1-2$	3	20	122	0,95	2,85	0,095	1,5	0,68
$2-5$	9	25	122	0,26	2,34	0,059	—	—
$5-8$	29	25	122	0,26	7,54	0,059	2,8	0,5
$8-9'$	9	32	244	0,28	2,52	0,068	1,5	0,35
$9' - B\partial$	5	50	488	0,14	0,7	0,064	3,8	0,5
				$\Sigma R = 15,95$		$\Sigma Z = 2,03$		

Таблица IV. 19. Выборка коэффициентов местных сопротивлений

Подающая сеть			Циркуляционная сеть		
Участок	Элемент системы	ζ	Участок	Элемент системы	ζ
Вд—9	Водонагреватель	1,5	1—2	Отвод диаметром 20 мм	1,5
	Задвижка диаметром 50 мм	0,5	2—5	—	—

Подающая сеть			Циркуляционная сеть		
Участок	Элемент системы	ξ	Участок	Элемент системы	ξ
Вд—9	Отвод диаметром 50 мм Тройник на поворот	0,3	5—8	Кран диаметром 32 мм Отвод диаметром 32 мм Тройник на проход	1,5
		$1,5 \times 2 = 3$			0,3
		$\Sigma \xi = 5,3$			1
					$\Sigma \xi = 2,8$
9—8	Тройник на проход	1	8—9	Тройник на поворот	1,5
8—5	То же	1	9—Вд	То же	$1,5 \times 2 = 3$
		2			$\times 2 = 3$
		0,3			0,5
		1,5			0,3
		$\Sigma \xi = 3,8$			$\Sigma \xi = 3,8$
5—2	Крестовина на проход	$2 \times 3 = 6$			
2—1	Тройник на поворот	1,5			

Далее выполняем проверочный расчет потерь напора в системе горячего водоснабжения при естественной циркуляции и отсутствии водоразбора отдельно в подающей и циркуляционной сетях. Гидравлический расчет выполняем по табл. III 60. и III. 61 (для водяного отопления) для наиболее протяженного (главного) циркуляционного кольца системы: от водонагревателя по подающей сети через стояк 1 и затем по циркуляционной сети обратно к водонагревателю. Ввиду полной симметрии системы горячего водоснабжения расчетные данные, полученные для ее левой половины, принимаем и для правой. В ходе гидравлического расчета выясняем возможность уменьшения диаметров циркуляционной сети при располагаемом напоре $H_{\text{д}} = H_{\text{р}} - H_{\text{п}} = 53,5 - 15,8 = 37,7$ мм вод. ст. или более 50% $H_{\text{р}}$ (см. стр. 289).

Потери напора на трение R и местные сопротивления Z найдены по табл. III.60 и III.61, а значения к. м. с. $\Sigma \xi$ для каждой группы расчетных участков — по табл. III.65.

Общая потеря напора в подающей сети $H_{\text{п}} = (9,6 + 3,54) 1,2 = 15,8$ мм вод. ст., в циркуляционной сети $H_{\text{ц}} = (15,95 + 2,03) 1,2 = 21,57$ мм вод. ст. Полные потери напора в циркуляционном кольце $H_{\text{общ}} = 15,8 + 21,57 = 37,37$ мм вод. ст. Запас напора $A = \frac{53,5 - 37,37}{53,5} \cdot 100 \approx 30\%$.

Результаты проверочного расчета показывают, что участки 5—8 циркуляционной сети оказалось возможным назначить меньшего диаметра (25 мм), чем ранее принятые диаметры подающей сети на этих участках (32 мм).

У. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ

МАЛОМЕТРАЖНЫЕ ОТОПИТЕЛЬНЫЕ КОТЛЫ

Общая характеристика встроенных котельных

В населенных пунктах, где нет возможности осуществить теплоснабжение от ТЭЦ или районной котельной, центральное водяное отопление и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий обеспечивается теплом от групповых или индивидуальных домовых отопительных котельных, оборудованных небольшими водогрейными или паровыми чугунными секционными котлами общей тепловой мощностью 3—4 Гкал/ч. Если общая теплопроизводительность отопительных котельных, включая технологическую нагрузку, превышает 4 Гкал/ч, они оборудуются более мощными котлоагрегатами с экономайзерами, комплексной механизацией подачи топлива, золоудалением, очисткой дымовых газов.

Котельные бывают отдельно стоящие (выносные), заблокированные (примыкающие к другим зданиям) и встроенные (располагаемые внутри здания).*

Для современных многоквартирных зданий, расположенных на одном участке или квартале, обычно предусматривается строительство общей отопительной котельной, которую целесообразно располагать в центре существующих и перспективных тепловых нагрузок на обособленном участке вне жилого квартала.

При решении системы теплоснабжения районов малоэтажной застройки городов, кроме требований санитарных и противопожарных норм, учитывают следующее. Устройство централизованного теплоснабжения рентабельно для зданий не ниже двухэтажных. В жилых одноэтажных домах индивидуального типа удобны поквартирные системы центрального водяного отопления. Первоначальные затраты на строительство групповой котельной будут минимальными при мощности котельной не ниже 3 Гкал/ч с установкой котлов теплопроизводительностью не менее 0,5 Гкал/ч.

Групповые котельные, как правило, делаются заблокированными или отдельно стоящими, закрытого типа, независимо от местных климатических условий. В зависимости от вида сжигаемого топлива и теплопроизводительности (если позволяют грунтовые условия и рельеф местности) групповые котельные, как исключение, допускается устраивать в подвале одного из отапливаемых зданий.

Целесообразность строительства групповых котельных для поселков и жилых кварталов с прокладкой наружных тепловых сетей к потребителям должна быть обоснована технико-экономическими расчетами и сравнением вариантов проектных решений. При этом учитывают следующие показатели.

кубатуру зданий, капитальность и очередность строительства, расположение основных потребителей тепла;

плотность застройки, протяженность и способ прокладки наружных тепловых сетей, архитектурно-планировочные требования;

качество грунтов и рельеф местности;

удобство доставки и хранения топлива, вывозки золы и шлака, близость источников энерго-, газо- и водоснабжения, возможность расположения котельной по отношению к жилому массиву с подветренной стороны ветров преимущественного направления.

Если проектируемое здание с центральным отоплением строится ранее других объектов, в нем оборудуется встроенная временная или постоянная индивидуальная котельная в зависимости от комплексного решения вопроса теплоснабжения только при соответствующем технико-экономическом и санитарном обосновании.

Устройство отопительных котельных регламентируется СНиП II-Г.9-65 «Котельные установки. Нормы проектирования», СН 350-66 «Указания по проектирова-

* В настоящем разделе рассмотрены только встроенные котельные, расположенные в подвалах отапливаемых зданий.

нию котельных установок», а также противопожарными, санитарными нормами и другими требованиями, предъявляемыми к проектированию и строительству котельных в населенных пунктах.

Строительство индивидуальной котельной в подвале может быть допущено для отдельно стоящего здания, расположенного среди малоэтажных домов с печным отоплением; котельные прачечных, бань, душевых, гаражей целесообразно объединять в хозяйственные комплексы, размещая их на обособленных участках или в отдельных кварталах изолированно от жилых и общественных зданий. Котельные больничных зданий следует делать сблокированными или встроенными в хозяйственные корпуса. Устройство встроенных котельных в лечебных зданиях не допускается. Встроенные котельные в зданиях детских яслей, детских садов и общеобразовательных школ допускаются для теплоснабжения только тех зданий, в которые они встроены.

Встроенные котельные в жилых и общественных зданиях допускаются только при специальном согласовании с Государственной санитарной инспекцией. Такие котельные оборудуются малометражными чугунными секционными водогрейными и паровыми котлами различных типов для сжигания твердого, газообразного и жидкого топлива

При выборе типов отопительных котлов необходимо учитывать следующее:
возможность сжигания местного низкосортного или газового и жидкого топлива;
применение современных проверенных на практике котлов;
возможность установки дополнительных котлов в случае расширения котельной.

Чугунные секционные котлы могут работать как водогрейные при температуре воды на выходе из котла $95-115^{\circ}\text{C}$ и на входе в котел -70°C или как паровые низкого давления $p_k \leq 0,7 \text{ кгс/см}^2$. При работе котлов на газовом топливе они должны иметь приборы и автоматику безопасности согласно нормам Государственной газовой инспекции.

Проектирование и строительство отопительных котельных, монтаж котлов, вспомогательного оборудования и коммуникаций трубопроводов должны отвечать правилам техники безопасности Госгортехнадзора.*

Типы котлов

Малометражные чугунные котлы ВНИИСТО-Мч (табл. V.1 и V.2) и разработанные НИИСТ МПСМ СССР (табл. V.3) со съемными колосниками используют как генераторы тепла для квартирных установок водяного отопления и в небольших индивидуальных котельных (листы V.1 и V.2). Эти котлы собираются из отдельных секций.

Таблица V.1. Чугунные котлы ВНИИСТО-Мч малой модели (ГОСТ 8317-57, Лист V.1, рис. 1)

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м^2			
		0,54	0,69	0,84	0,99
Максимальная теплопроизводительность при сжигании сортированного антрацита	тыс. ккал/ч	5	7	8,5	10
Количество секций:					
средних	шт.	2	3	4	5
крайних	»	2			
Строительная длина котла L	мм	280	350	420	490
Емкость	л	15,7	18	20,3	22,7
Масса без воды	кг	124	140	157	173

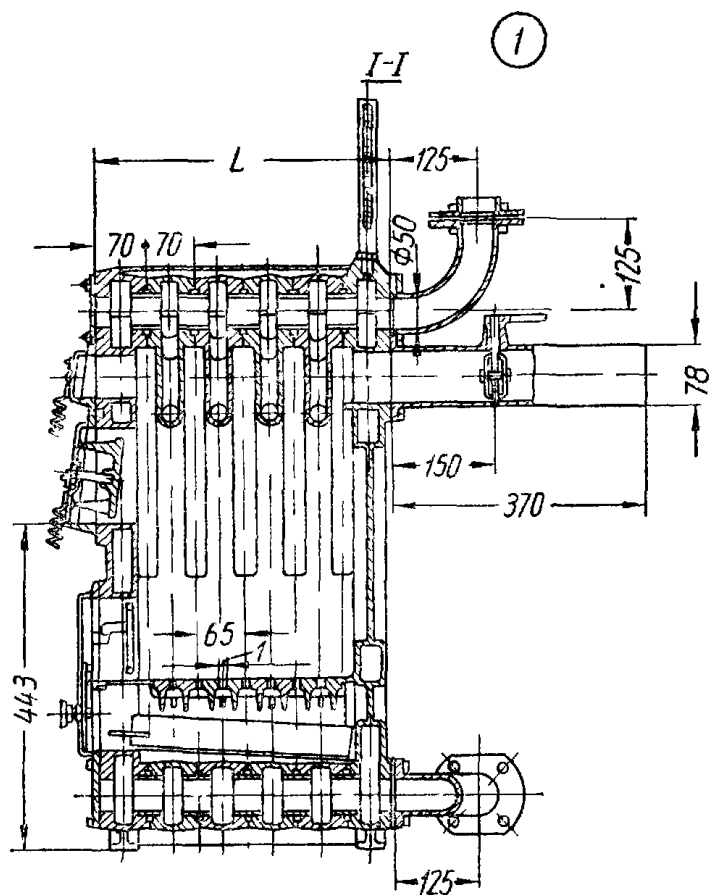
* Госгортехнадзор РСФСР. Правила устройства и безопасной эксплуатации водогрейных котлов и паровых котлов с давлением не выше $0,7 \text{ атм.}$ М., Госгортехиздат, 1960.

Т а б л и ц а V.2. Чугунные котлы ВНИИСТО-Мч, большой модели (ГОСТ 7252-54. Лист V.1, рис. 2)

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м²								
		1,18	1,5	1,82	2,14	2,46	2,78	3,10	3,42	3,74
Максимальная теплопроизводительность при сжигании сортированного антрацита Количество секций: средних крайних Строительная длина котла L Емкость Масса без воды	тыс ккал/ч	10	14	18	22	26	30	34	38	42
	шт.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	»					2				
	мм	280	400	480	560	640	720	800	880	960
	л	27,2	30,5	33,8	37,1	40,4	43,7	47	50,3	53,6
	кг	214	247	280	313	346	379	412	445	479

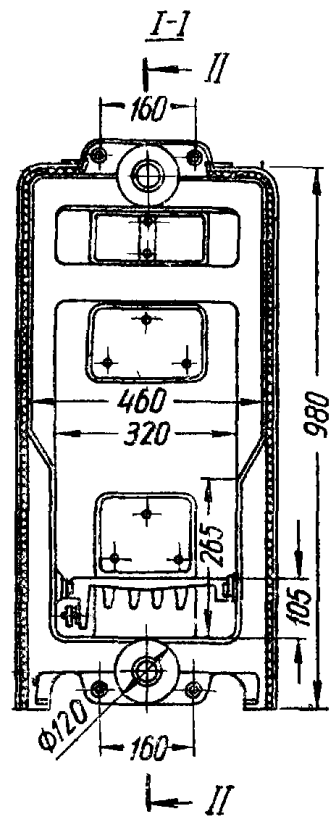
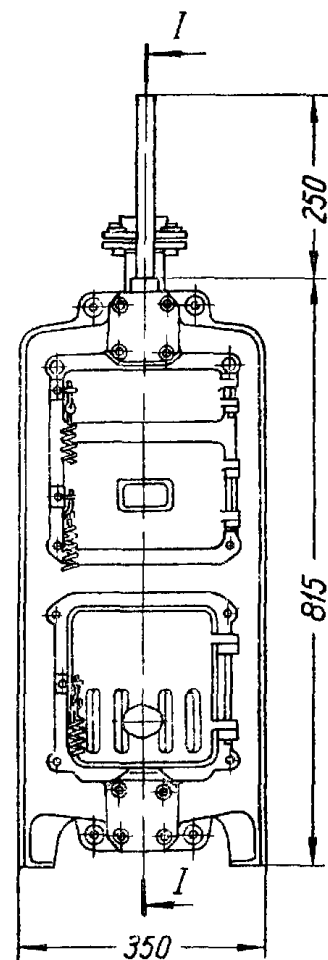
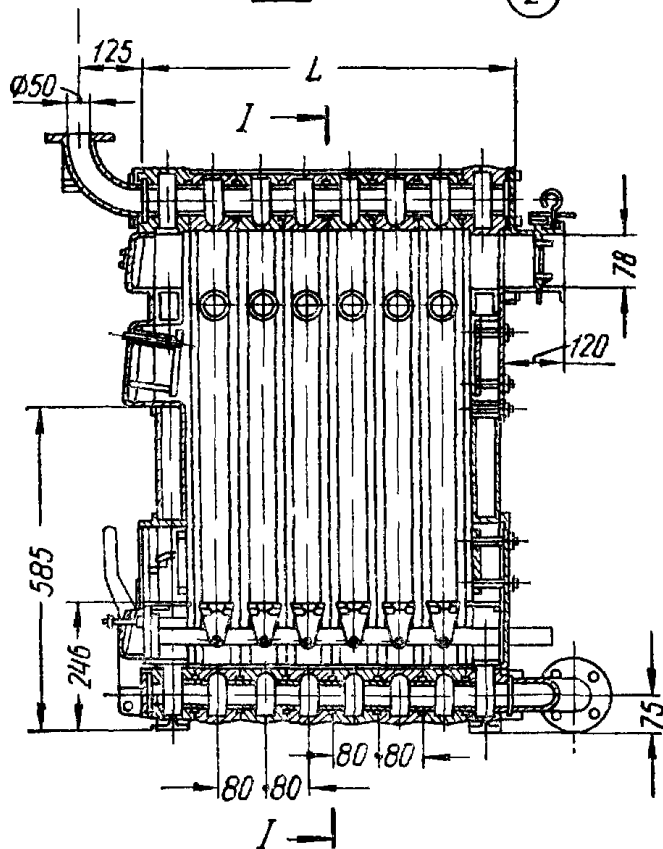
Т а б л и ц а V.3. Чугунные котлы КЧМ-2 и КЧММ-2

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м ²									
		Котлы КЧМ-2 (лист V 2, рис 1)									
		Котлы КЧММ-2 (лист V.2, рис. 2)									
		1,67	2,11	2,50	2,95	3,39	3,83	4,23	0,9	1,17	1,44
Теплопроизводительность при сжигании антрацита без дутья Количество секций Емкость котла Габариты: длина L ширина высота Масса металла	тыс. ккал/ч	17	21	25	30	35	40	45	9	12	15
	шт.	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6
	л	27,4	30,8	34,2	37,6	41	44,4	47,8	16,7	19,7	22,7
	мм	345	435	525	615	705	795	885	590	670	750
	»				455					490	
	»				1045					675	
	кг	278	322	365	409	452	497	539	150	172	192



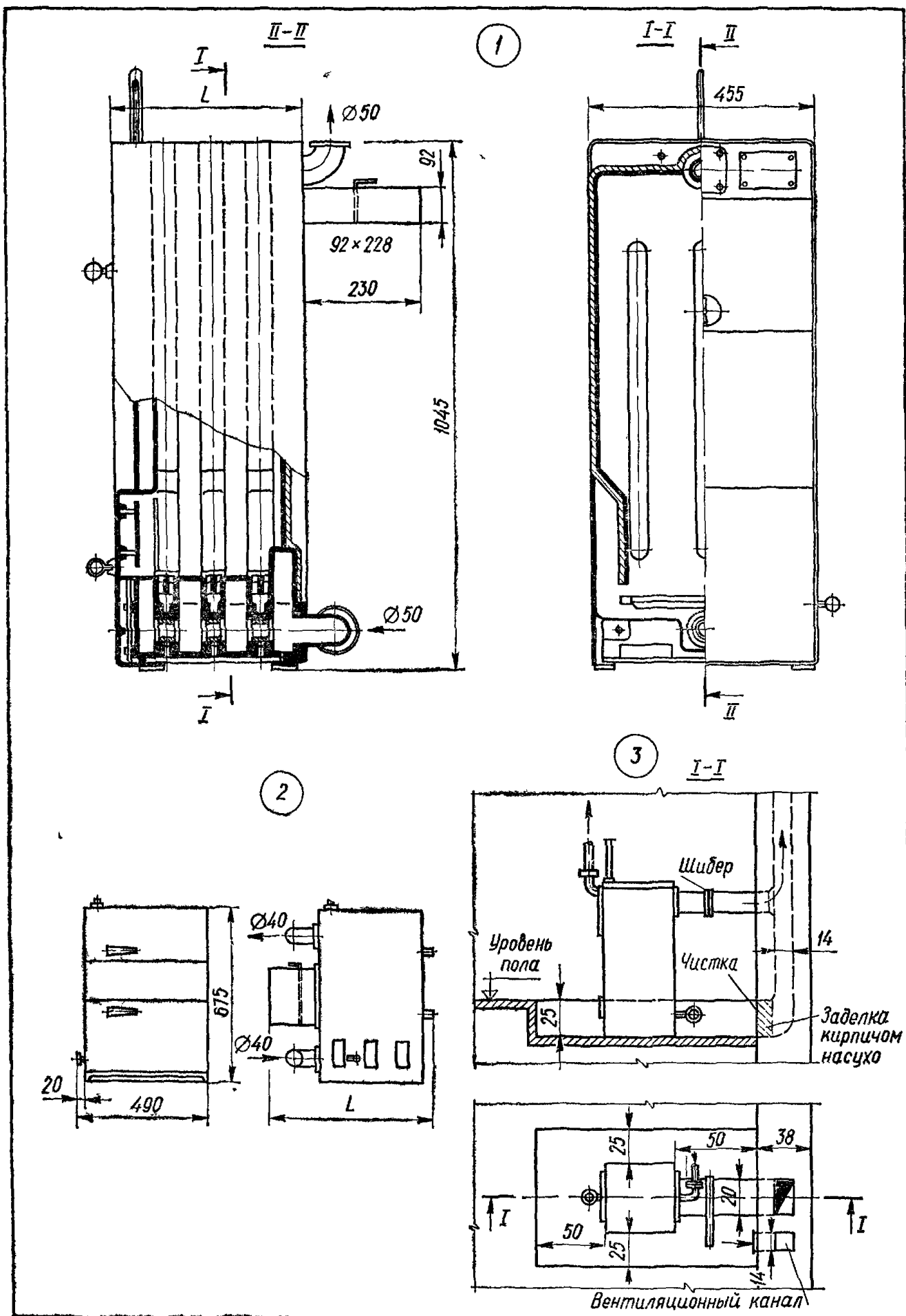
II-II

2



Лист V.1. Чугунные секционные котлы ВНИИСТО-Мч:

1 — малая модель, 2 — большая модель.



Лист V.2. Чугунные секционные котлы НИИСТ МПСМ СССР.

1 — котел КЧМ 2; 2 — котел КЧММ-2, 3 — схема отвода дымовых газов.

не имеют обмуровки и снаружи покрываются кожухом из кровельной стали по листовому асбесту. Дымовые газы удаляются через прямоугольный патрубок, расположенный в задней секции котла.

Таблица V.4. Чугунные секционные котлы «Искитим-1», «Отопитель-1» и «Тула-1»

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м ²								
		«Искитим 1» (лист V 3, рис 1)			«Отопитель 1» (лист V 5, рис 2)			«Тула 1»		
		35	48,5	62,5	32	46,3	60,5	43,2	59,4	81,0
Теплопроизводительность при сжигании с дутьем сортированного антрацита	тыс. ккал/ч	—			523	756	988	513	705,6	962
То же, АРШ	то же	550	760	970	464	671	874	456	627,2	855,2
Количество секций	шт.	22	30	38	20	28	36	16	22	30
Габариты котла:										
длина L	мм	1850	2410	2940	1775	2335	2895	1710	2250	2785
ширина	»		2660			2440			2960	
высота	»		2630			2380			2430	
Масса металлических частей	кг	3300	4200	5200	3371	4509	5651	3480	4615	6096
Расход красного кирпича	шт.	2330	2860	3340	2050	2500	2900	1780	2370	2950
То же, огнеупорного	»	690	835	980	400	450	500	1550	1650	1750
Расход изоляции	м ³	—			0,2	0,28	0,34	—		

Таблица V.5. Чугунные секционные котлы «Энергия»

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м ²					
		«Энергия 3», (лист V 3, рис 2)			«Энергия 6»		
		36,8	55,2	73,6	27,9	40,3	52,7
Теплопроизводительность при сжигании с дутьем сортированного антрацита	тыс. ккал/ч	—			486	702	918
То же, АРШ	То же	368	552	736	432	624	816
Количество секций	шт.	18	26	34	20	28	36
Габариты котла:							
длина L	мм	1815	2340	2880	1689	2217	2475
ширина	»		2900			1610	
высота	»		2630			2460	
Масса металлических частей	кг	3247	4406	5565	2860	3809	4758

Таблица V.6. Чугунные секционные котлы «Универсал-5» (лист V.4, рис. 1)

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м²						
		15,2	19,68	24,16	28,64	33,12	37,6	42,08
Теплопроизводительность при сжигании с дутьем сортированного антрацита	тыс. ккал/ч	221	287	353	418	484	549	615
То же, АРШ	»	200	260	319	378	437	496	552
Количество секций	шт.	14	18	22	26	30	34	38
Длина котла <i>L</i>	мм	855	1095	1345	1595	1845	2095	2245
Масса металлических частей	кг	1430	1719	2007	2295	2583	2871	3159
Расход красного кирпича	шт.	770	940	1110	1280	1450	1450	—
То же, огнеупорного	»	30	42	54	66	78	90	—

Примечание Ширина котла равна 2060, высота — 1850 мм Расход изоляционной мастики — 135 кг.

Таблица V.7. Чугунные секционные котлы «Универсал-6м» (лист V.4, рис. 2)

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м²			
		13,2	24,2	33,0	41,8
Теплопроизводительность при сжигании с дутьем сортированного антрацита	тыс. ккал/ч	185	339	462	585
То же, АРШ	»	145	266	363	460
Длина котла <i>L</i>	мм	1046	1584	2122	2660
Количество секций	шт.	12	22	30	34
Масса металлических частей	кг	1366	2053	2615	3180
Расход красного кирпича	шт.	500	730	930	1150
То же, огнеупорного	»	115	180	200	225
Расход изоляционной ленты	кг	150	165	195	225

Примечания. 1. Ширина котла равна 2070 мм, высота — 2100 для антрацита и 2470 для бурого угля

2 Расход кирпича и масса металла приведены для котлов на антраците

Таблица V.8. Чугунные секционные котлы типа АВ-2 (лист V.5, рис. 1)

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м²					
		21,1	27	32,7	38,5	44,2	50
Теплопроизводительность при сжигании с дутьем сортированного антрацита	тыс. ккал/ч	309	393	476	560	645	730
То же, АРШ	»	274	349	425	500	672	648
Количество секций	шт.	16	20	24	28	32	36
Длина котла <i>L</i>	мм	1316	1588	1860	2132	2404	2676

Наименование показателей	Единица измерения	Поверхность нагрева, м²					
		21,1	27	32,7	38,5	44,2	50
Масса металлических частей котла	кг	1747	2120	2493	2889	3262	3635
Расход красного кирпича	шт.	800 (350)	930 (410)	1060 (470)	1190 (530)	1320 (600)	1550 (660)
То же, огнеупорного	»	30 (12)	38 (14)	46 (14)	54 (16)	62 (16)	70 (18)
Расход изоляционной мастики	кг	50 (160) (180) (200) (220) (240) (260)					

Примечания. 1. В скобках даны показатели по варианту с мастичной изоляцией.

2. Ширина котла равна 2040 (1750), высота — 2130 мм.

На листах V.1—V.5 приведены некоторые современные типы отопительных малометражных, водогрейных чугунных секционных котлов с внутренней топкой и легкой обмуровкой, а в табл. V.1—V.8 даны их основные технические показатели. Теплопроизводительность, приведенная в таблицах, уточняется рекомендуемыми величинами теплосъема с поверхности нагрева (см. табл. V.13).

Обмуровка котлов

Фундаменты под чугунные секционные малометражные котлы в легкой обмуровке устраиваются бутовые, кирпичные и бетонные с учетом местных грунтовых условий. Обмуровывают котел после его гидравлического испытания на плотность и проверки правильности установки на фундамент. Кладку обмуровки ведут особо тщательно из красного и огнеупорного кирпича, с хорошей перевязкой швов толщиной 3—5 мм (табл. V.9). Просушивают готовую обмуровку после заполнения котла водой при умеренной топке дровами.

Стойки каркаса заделывают в фундаментную плиту обмуровки котла на глубину не менее 150 мм. Стяжные болты каркаса после установки и натяжки закрепляют с обоих концов гайками. Фронтальная плита с топочными и поддувальными дверцами крепится к стойкам каркаса (см. лист V.6).

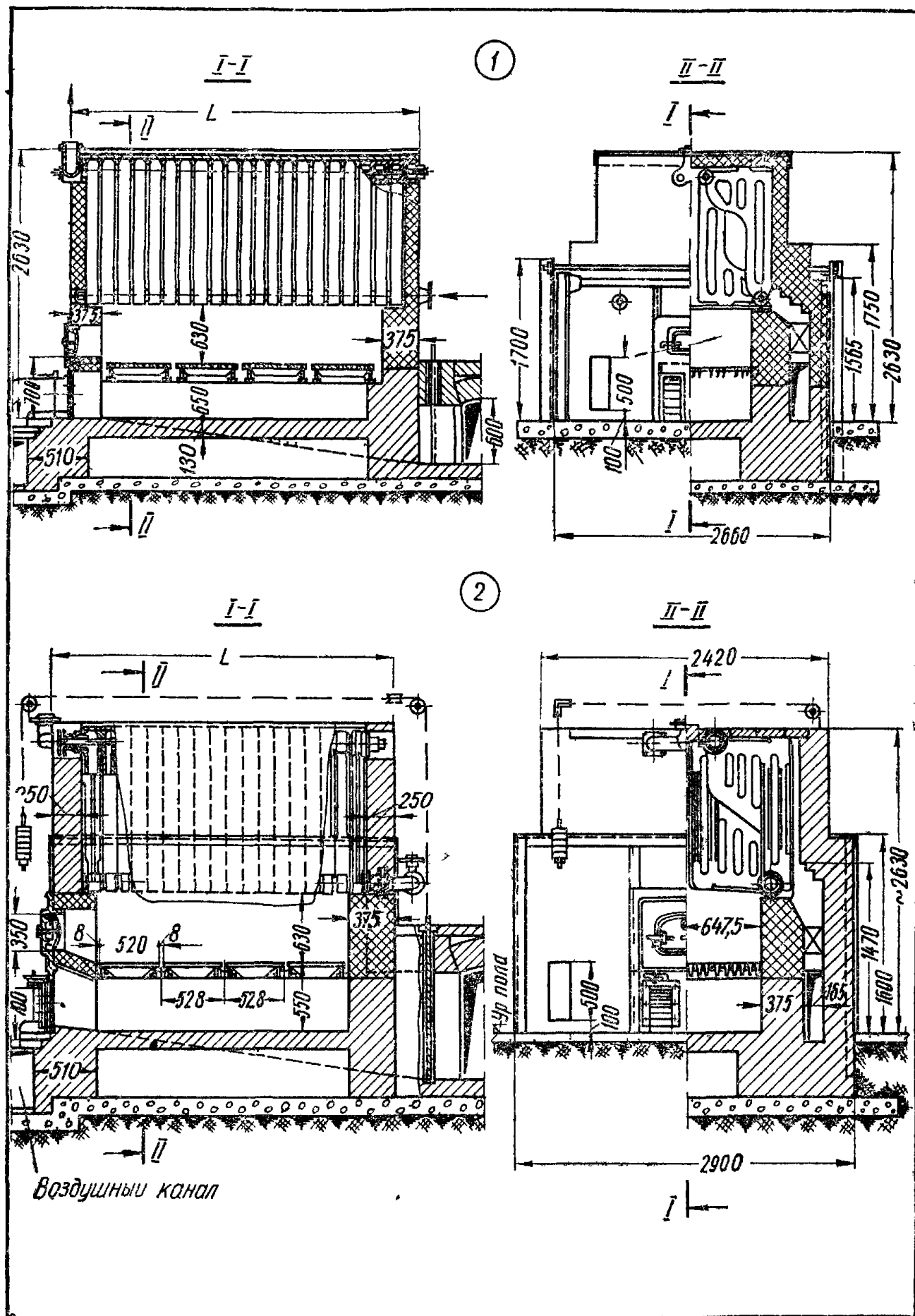
Расход раствора на 1 м³ кладки

Толщина швов, мм	1	2	3	5	8
Расход раствора, м³	0,05	0,084	0,12	0,18	0,23

Таблица V.9. Расход кирпича для обмуровки котлов и топок отопительных котельных на 1 м³ кладки

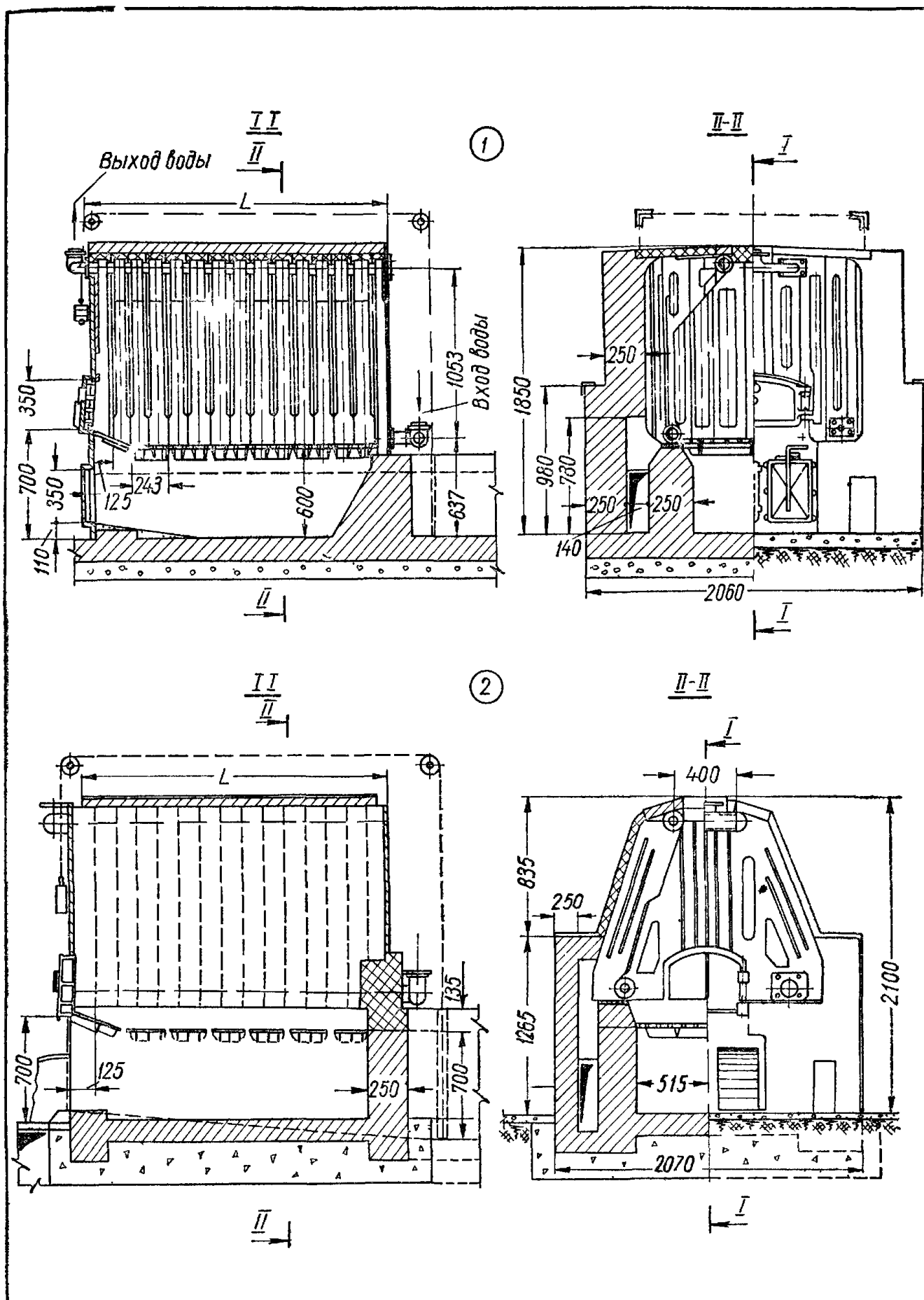
Сорт кирпича	Размеры, мм	Масса 1 шт., кг	Толщина швов, мм	Расход кирпича, шт.
Шамотный класса А	250 × 123 × 65	3,3	1—2	500
То же, классов Б и В	230 × 113 × 65	3,1	3	480
Гжельский	235 × 114 × 65	2,9	1—2	590
Красный	250 × 120 × 65	3,5—3,6	3	570
			5	590
			8	570
				470—450
				450—420

На приготовление 1 м³ огнеупорного раствора требуется 0,85 м³ порошка (30% огнеупорной молотой глины и 70% шамотного порошка по объему), пропущенного через сито с отверстиями 2 мм. На приготовление 1 м³ обыкновенного раствора требуется глины обыкновенной 60—80% и песка 40—20%.



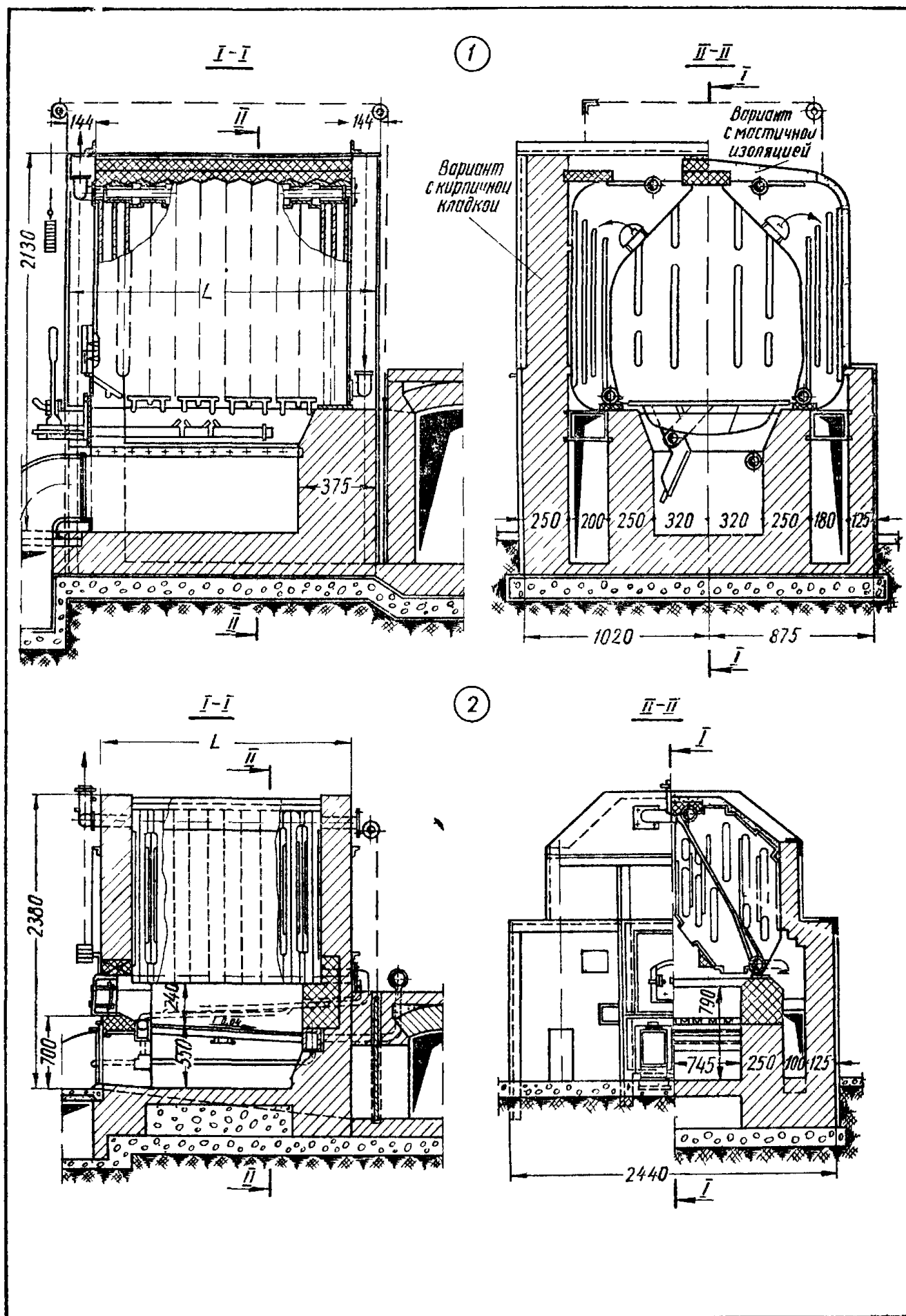
Лист V.3. Чугунные секционные котлы

1 — «Искитим 1», 2 — «Энергия 3»

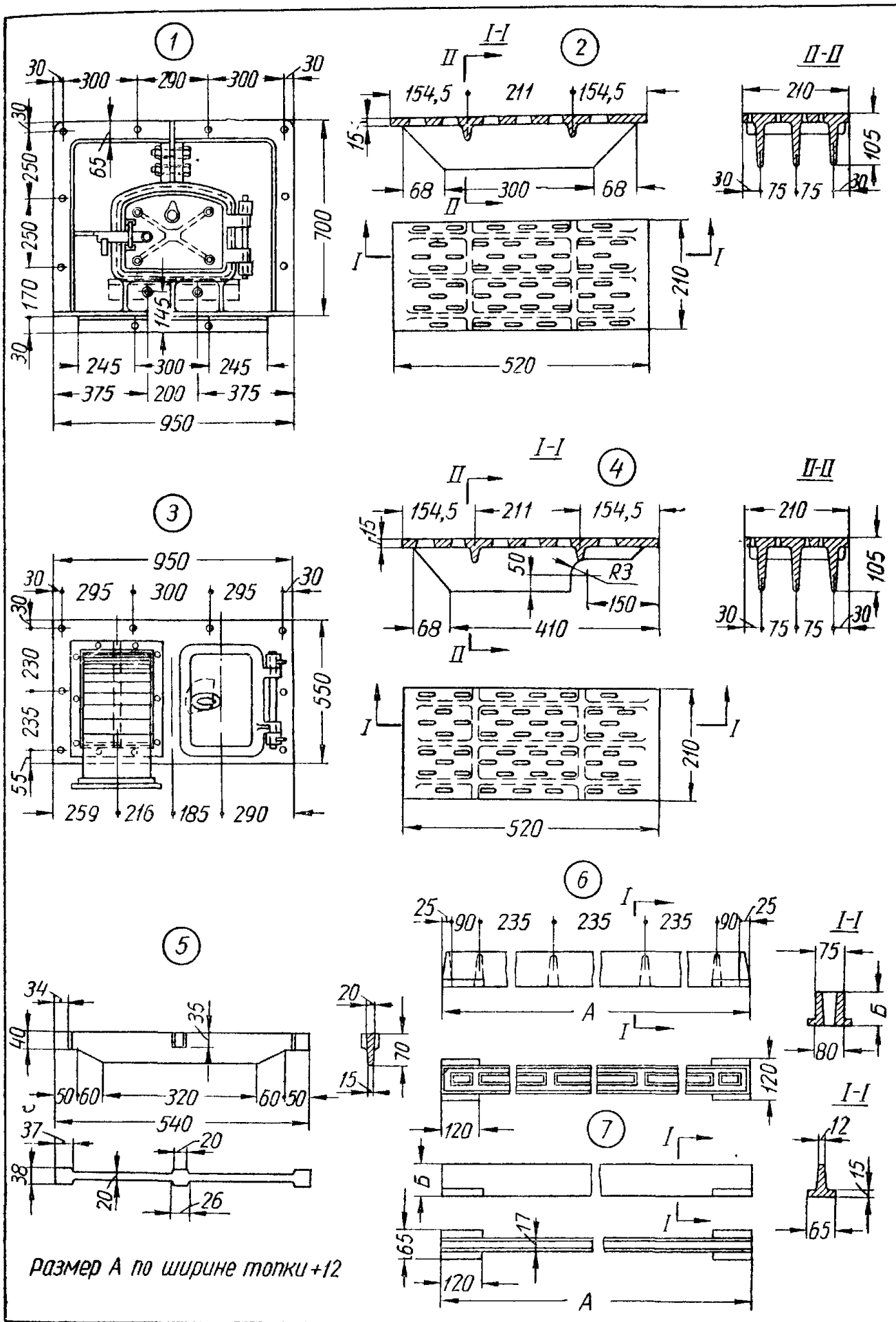


Лист V.4. Чугунные секционные котлы.

1 — «Универсал 5», 2 — «Универсал 6м»

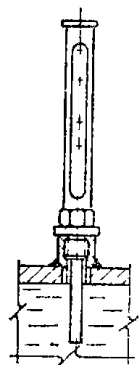


Лист V.5. Чугунные секционные котлы:
1 — АВ 2, 2 — «Отопитель-1»

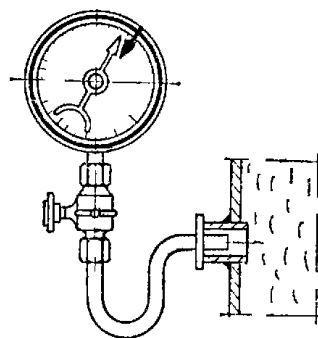


Лист V.6. Топочная гарнитура чугунных секционных котлов в легкой обмуровке:
 1 — фронт загрузочной дверцы; 2 — нормальный плитчатый колосник; 3 — фронт зольни-
 ковой дверцы; 4 — проходной колосник; 5 — брусчатый колосник; 6 и 7 — средняя и край-
 няя подколосниковые балки.

1

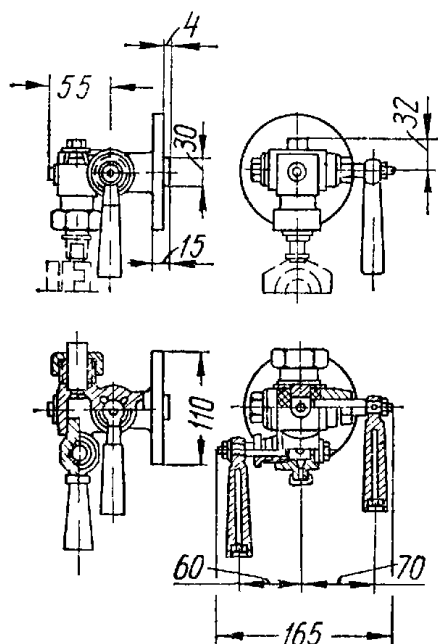


2

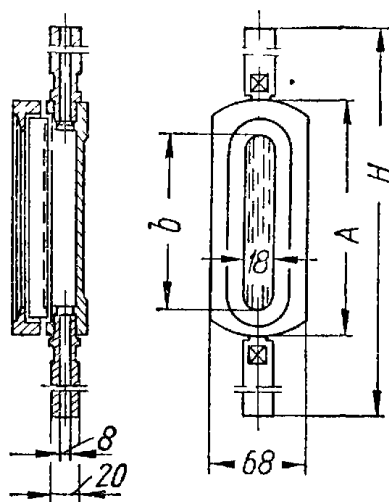


3

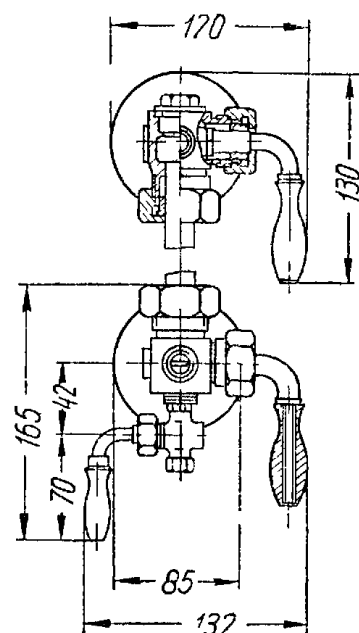
12520K



124110K

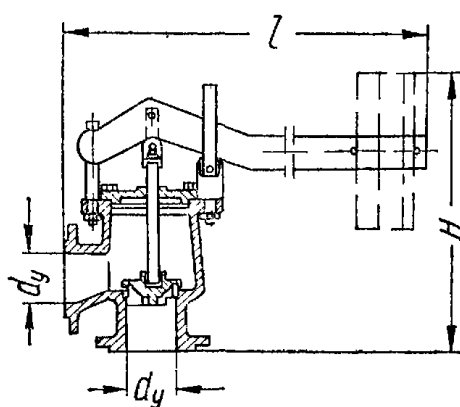


12530K

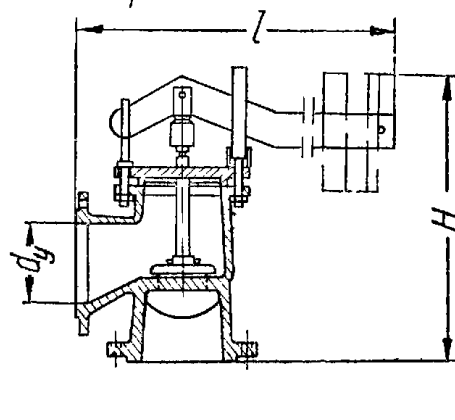


4

17436p



17456p



Лист V.7. Арматура котлов:

1 — установка термометров; 2 — установка манометра; 3 — водоуказательные приборы;
4 — грузовые предохранительные клапаны.

Арматура котлов

Чугунные секционные водогрейные и паровые котлы низкого давления по правилам Госгортехнадзора оборудуются предохранительными устройствами и контрольно-измерительной арматурой.

Водогрейные котлы (с температурой воды до 115°C) оборудуются термометрами, манометрами, предохранительными клапанами, запорными задвижками и патрубками в нижней части котла с пробочным краном или вентилем для спуска воды и грязи, а также для наполнения котла.

Термометр со шкалой до 130°C и делениями через 1°C устанавливают на трубке или подающем трубопроводе котла. На подающей линии термометр устанавливается между котлом и запорной задвижкой. При наличии в котельной более двух котлов необходим также термометр на общей подающей магистрали системы. Термометры устанавливают в специальных гильзах, имеющих гнезда, заполненные машинным маслом (лист V.7, рис. 1).

Манометр при естественной циркуляции устанавливают на общей обратной линии системы. При насосной циркуляции устанавливают два манометра, монтируемые на одном уровне: один — на всасывающем патрубке перед насосом, другой — на напорном после насоса.

На котлах теплопроизводительностью свыше $350\,000\text{ ккал/ч}$ устанавливают два грузовых предохранительных клапана, на котлах меньшей теплопроизводительности — один клапан. Вместо одного из предохранительных клапанов допускается устройство обвода вокруг запорной задвижки на выходе горячей воды из котла с обратным клапаном, пропускающим воду из котлов. В этом случае между котлом и расширительным баком не устанавливают других запорных устройств. Диаметры обводной линии и обратного клапана должны быть:

для котлов с поверхностью нагрева менее 25 м^2 и теплопроизводительностью менее $240\,000\text{ ккал/ч}$ — не менее 38 мм ;

для котлов с поверхностью нагрева свыше 25 м^2 и теплопроизводительностью более $240\,000\text{ ккал/ч}$ — не менее 50 мм .

При наличии в котельной нескольких чугунных секционных водогрейных котлов, работающих на общий трубопровод горячей воды и имеющих, кроме запорных задвижек, задвижки на общем трубопроводе, разрешается вместо предохранительных клапанов устанавливать на каждом котле обводы с обратными клапанами у запорных устройств котлов. В этом случае на общем трубопроводе горячей воды устанавливают два предохранительных клапана между задвижками на котлах и общим трубопроводом. Диаметр каждого из предохранительных клапанов принимают по расчету для одного из котлов с наибольшей теплопроизводительностью, но не менее 50 мм .

Запорные задвижки, присоединяемые непосредственно к котлу или при помощи вставки между ними колена, отвода или изогнутой стальной трубы, устанавливают на подающем и обратном трубопроводах от каждого котла. При наличии в котельной одного котла установка запорных задвижек не обязательна.

Паровые котлы низкого давления (до $0,7\text{ кгс/см}^2$) оборудуются водоуказательными приборами, манометрами, предохранительными выкидными приспособлениями, запорными паровыми вентилями, а также спускными кранами, задвижками или вентилями для опорожнения котла и периодической промывки его от шлама под давлением.

На каждом котле устанавливают не менее двух водоуказательных приборов. Один из них можно заменить двумя водопробными кранами с внутренним диаметром не менее 8 мм .

Водопробные краны выпускаются нескольких типов с диаметром условного прохода $d_y = 6, 10, 15$ и 20 мм . Для чугунных котлов с поверхностью нагрева менее 25 м^2 допускается установка только одного водоуказательного прибора. Круглые водоуказательные стекла должны иметь защитные приспособления на случай разрыва (табл. V.10).

Манометр со шкалой до 3 кгс/см^2 с делением для первой атмосферы через $0,1\text{ кгс/см}^2$ сообщается с паровым пространством котла при помощи сифонной трубки с трехходовым краном (лист V.7, рис. 2). На шкале манометра устанавливается постоянный указатель (черта или металлическая стрелка) максимального допускаемого давления пара в котле.

Таблица V.10. Водоуказательный прибор 12 ч116к (лист V.7, рис. 3)

Номер рамки	Размеры рамки, мм			Стекло (по ГОСТ 1663—57)		Масса прибора, кг
	A	b	H	номер	длина, мм	
2	162	124	298	11	140	2,5
4	224	173	360	19	190	3,3
6	284	234	420	26	250	4,2
8	355	304	491	32	320	5,2

Таблица V.11. Предохранительные гидравлические затворы паровых котлов низкого давления (лист V.8, рис. 1)

Теплопроизводительность котла, тыс ккал/ч	Диаметры труб, мм			Размеры, мм	
	D	D ₁	d	a	b
До 15	25	100	25	400	350
15—40	38		32		
40—80	50		32		
80—150	65	125	38	500	400
150—240	76				400
240—450	100			500	500
450—800	125			600	500

Примечания. 1. Высота H зависит от давления пара: для $p_k = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ и $0,7$ кгс/см² она принимается соответственно 3000; 4000; 5000; 6000; 7000 и 8000 мм.

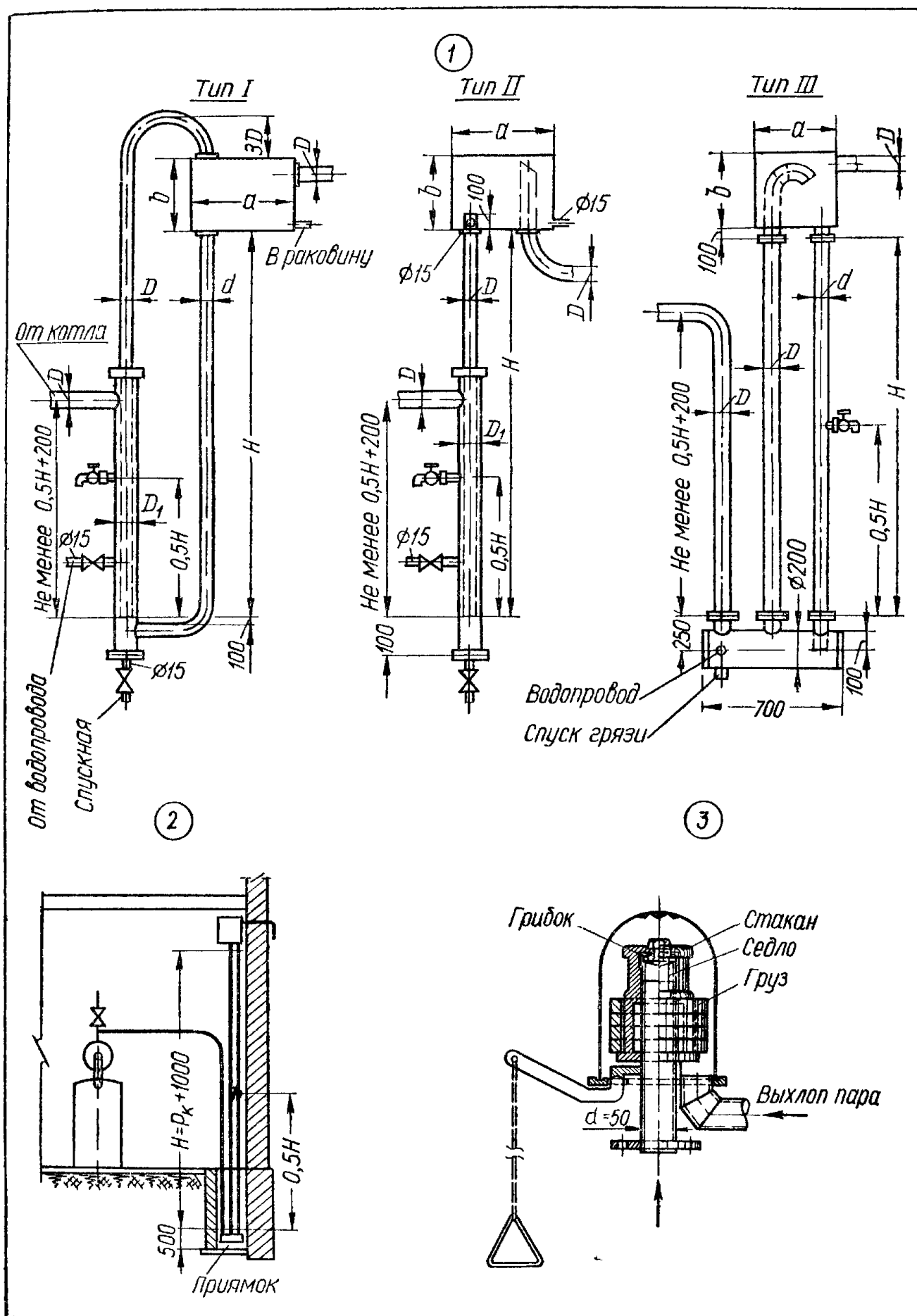
2. Для типа III высота бачков $b = a + 50$ мм.

Таблица V.12. Клапаны предохранительные неполноподъемные однорычажные 17ч36р и двухрычажные 17ч56р (ГОСТ 5335—59, лист V.7, рис. 4)

Размеры, мм			Фланцы входные $p = 16 \text{ кгс/см}^2$			Фланцы выходные $p = 6 \text{ кгс/см}^2$			Масса без груза, кг
			Диаметры, мм			Диаметры, мм		число болтов, шт.	
			фланца	болтовых отверстий	число болтов, шт.	фланца	болтовых отверстий		
d_y	l	H							
Клапаны однорычажные									
25	560	250	115/85	14	4	100/75	12	4	7
50	770	360	160/125	18	4	140/110	14		16
80	1030	450	195/160	18	8	185/150	18		31
100	1180	480	215/180	18	8	205/170	18		49
Клапаны двухрычажные									
80	780	380	195/160	18	8	185/150	18	4	34
125	1050	490	245/210	18		235/200		8	64
150	1200	550	280/240	23		260/225		8	100

Примечания. 1. В числителе указаны наружные диаметры фланцев, а в знаменателе — диаметры окружности болтовых отверстий.

2. Ширина двухрычажного клапана B соответственно равна 260, 320 и 380 мм.



Лист V.8. Паровыкидные устройства паровых котлов низкого давления:

1 — гидравлические затворы; 2 — схема установки; 3 — предохранительный клапан КСШЧ-0,7-750.

Предохранительное выкидное приспособление (гидравлический затвор) должно быть рассчитано так, чтобы давление пара в котле не могло превысить рабочее давление более чем на $0,1 \text{ кгс/см}^2$. Между котлом и выкидным приспособлением и на выкидных трубах установка запорных устройств запрещается.

Конструкция предохранительных выкидных приспособлений и их основные размеры приведены на листе V.8 и в табл. V.11. Каждый гидравлический затвор имеет подводку водопровода для зарядки водой, патрубок для спуска грязи и выхлопную трубу для отвода пара в атмосферу.

Вместо гидравлических затворов могут устанавливаться самопритирающиеся безрычажные полноподъемные предохранительные клапаны типа КСШЧ-0,7-750 на давление пара до $0,7 \text{ кгс/см}^2$ при условии, если они имеют клеймо и паспорт завода-изготовителя * (лист V.8, рис. 3). Паровые котлы производительностью более 100 кг/ч должны иметь два клапана, один из них (контрольный) пломбируется (см. лист V.10, рис. 3). Масса каждого кольцевого груза уравнивает давление пара в $0,1 \text{ кгс/см}^2$.

Один запорный паровой вентиль или задвижку устанавливают на отрезке паропровода от патрубка котла до общей паровой магистрали после присоединения предохранительного выкидного приспособления. На питательной линии котла запорный вентиль или задвижку устанавливают на трубопроводе между котлом и обратным клапаном. В случае питания котла конденсатом, который возвращается в котел самотеком, установка обратного клапана не требуется.

Примерное устройство коммуникаций отопительных котельных показано на листах V.9 и V.10.

ПОДБОР КОТЛОВ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Расчет поверхности нагрева и количества котлов

Суммарная поверхность нагрева котлов рассчитывается на основании графика максимальных тепловых нагрузок на отопление и вентиляцию, режима теплопотребления систем горячего водоснабжения и технологических нужд по виду теплоносителя.

Суммарная поверхность нагрева котлов H_k в м^2 определяется в зависимости от типа котла, вида и способа сжигания топлива, принятой величины теплонапряжения 1 м^2 поверхности нагрева по формуле

$$H_k = (1,1 \div 1,2) \frac{Q_p}{\frac{Q}{H_k}}, \quad (\text{V.1})$$

где 1,1 и 1,2 — коэффициенты запаса на производительные потери тепла соответственно при нижней и верхней разводке трубопроводов;

Q_p — расчетное количество тепла, ккал/ч ;

$\frac{Q}{H_k}$ — тепловое напряжение поверхности нагрева, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ (табл. V.13).

Выбор типоразмера чугунных секционных котлов производится по теплопроизводительности котла, в зависимости от вида применяемого топлива, в м^2 или в условных квадратных метрах.

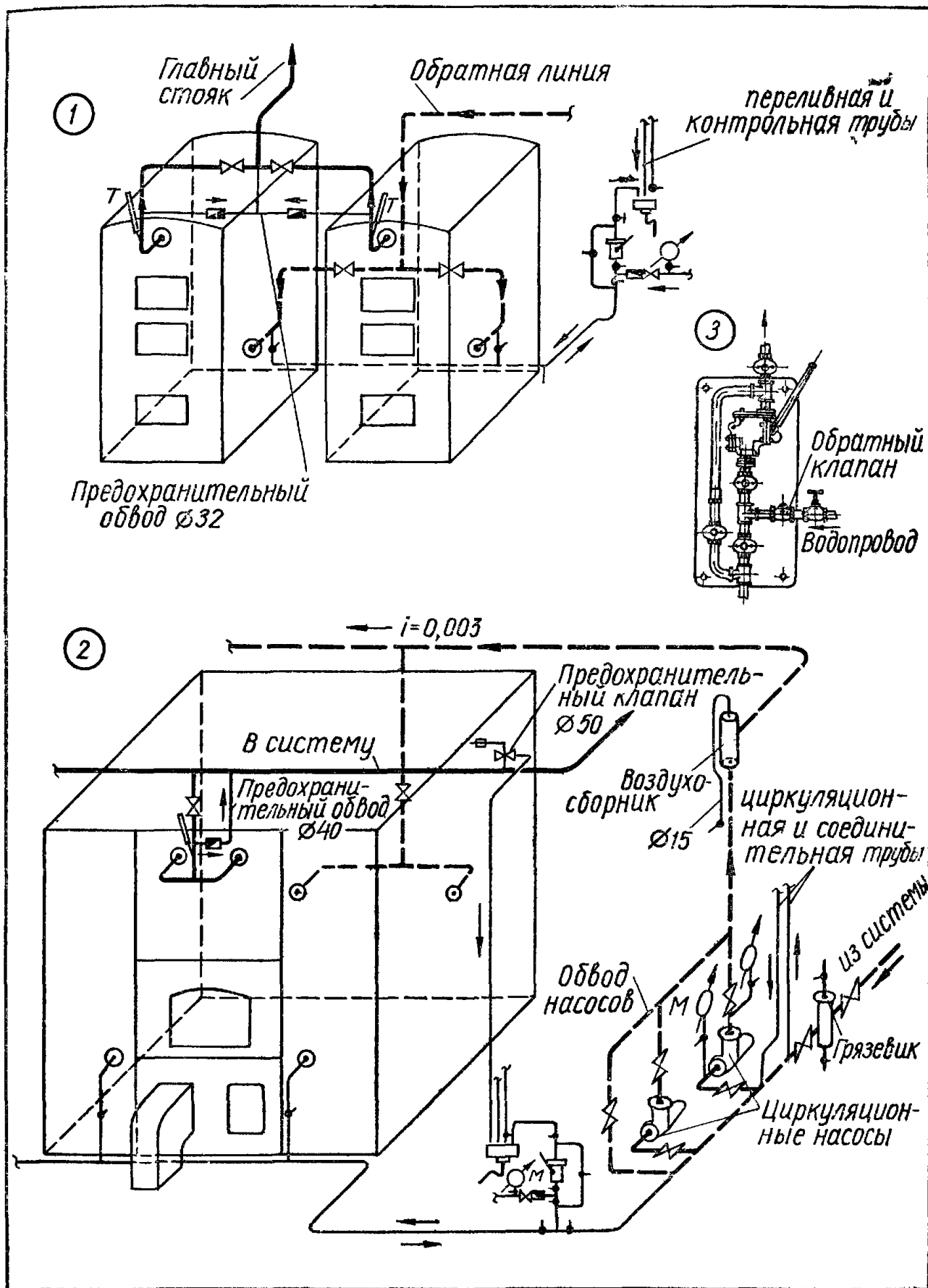
Условным квадратным метром (укм) называется величина такой поверхности чугунного секционного котла, которая при работе с ручными топками на грохоченом антраците и тепловом напряжении зеркала горения $500 \text{ тыс. ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ дает $10\,000 \text{ ккал/ч}$ тепла при к. п. д. не ниже 70% . Для определения поверхности нагрева чугунных секционных котлов в условных квадратных метрах найденное значение в квадратных метрах по формуле (V.1) или принятое по таблицам технических характеристик котлов умножается на соответствующий переводной коэффициент.

По найденной суммарной поверхности нагрева количество котлов к установке принимают с учетом следующих рекомендаций:

число котлов должно быть не менее двух и не более четырех в подвале здания; установка резервных котлов (для отопления и вентиляции) не разрешается;

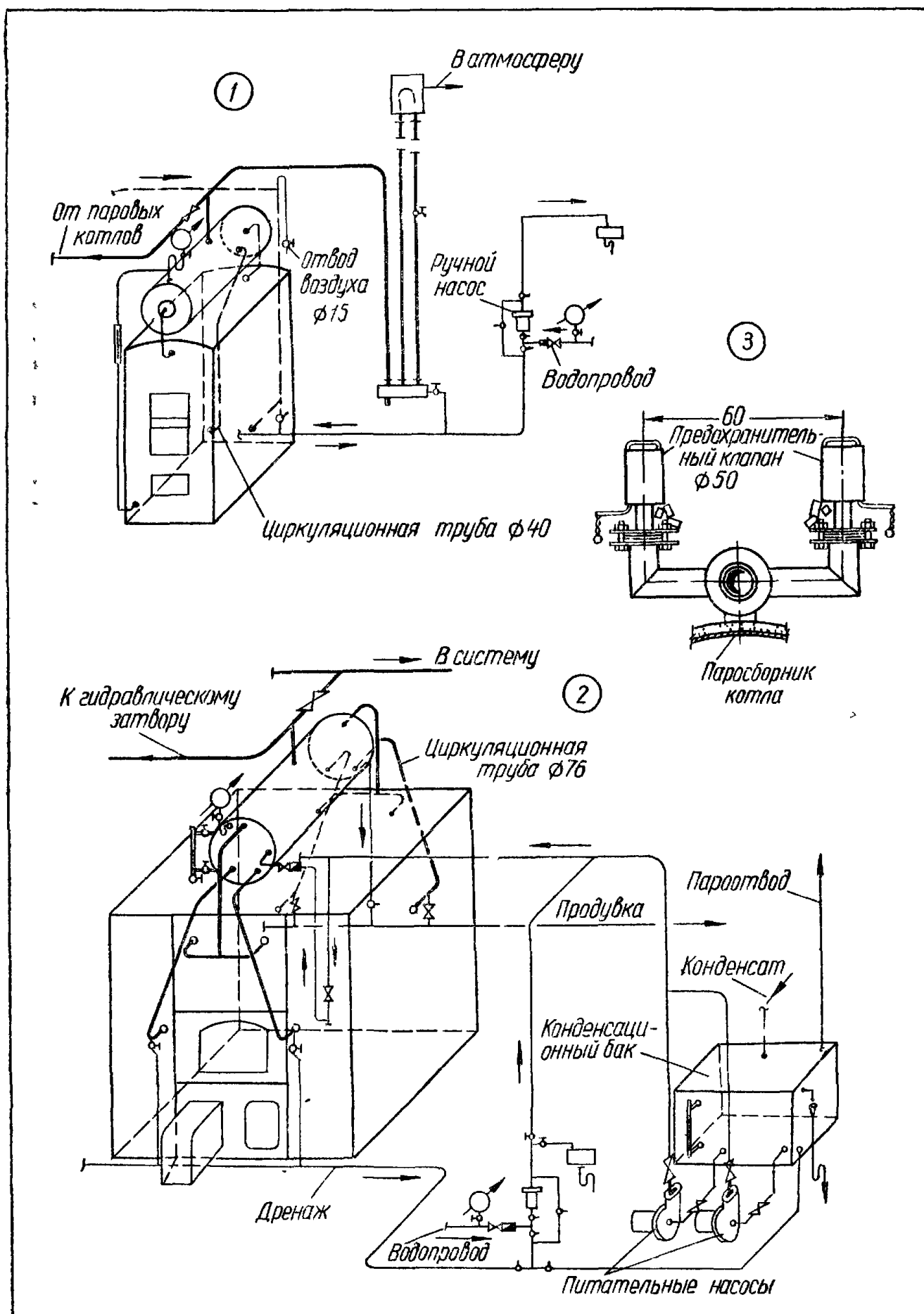
котлы с одинаковыми параметрами теплоносителя должны иметь одни и те же габариты и поверхность нагрева.

* Решение Госгортехнадзора РСФСР № 17 от 31/VIII 1962 г.



Лист V.9. Коммуникация водогрейных котлов:

1 — в системе отопления с естественной циркуляцией; 2 — то же, с насосной циркуляцией, 3 — установка ручного насоса типа БКФ.



Лист V.10. Коммуникация трубопроводов паровых котлов низкого давления:
 1 — в замкнутой системе пароснабжения, 2 — то же, в разомкнутой; 3 — установка предохранительных клапанов КСШЧ-0,7-750.

**Таблица V.13. Тепловые напряжения поверхности нагрева водогрейных
чугунных секционных котлов при сжигании топлива с дутьем**

Тип котла	Значения Q/H_K , ккал/м ² ч, при сжигании					Коэффициент перевода м ² в укм
	антрацита сортиро- ванного	антрацита рядового	бурого угля ря- дового	природно- го газа	мазута марки 40-60	
ВНИИСТО-Мч:						
малая модель	9 500	—		10 000	—	1,11
большая модель	10 100	—		11 000	—	1,22
«Энергия-3»	10 000	8000	7000	10 000		1,33
«Энергия-6»	15 000	12 000	9000	12 000	11 000	—
«Искитим-1»	10 000	9000	7000	10 000		1,25
«Универсал-5»	13 000	10 000	7000	12 000	11 000	1,72
«Универсал-6м»	14 000	11 000	9000	12 000	11 000	1,82
«Тула-1»	10 000	8000	7000	10 000		1,32
AB-2	15 000	12 000	9000	12 000	10 000	1,62
«Отопитель-1»	13 000	12 000	—	13 000	12 000	1,91

Примечания. 1. Для котлов ВНИИСТО-Мч без обмуровки значения Q/H_K даны при сжигании сортированного антрацита без дутья.

2. Для паровых котлов, работающих с постоянной нагрузкой, значения Q/H_K следует принимать на 1000 ккал/м²·ч меньше, чем для соответствующих водогрейных котлов.

3. При работе котлов с постоянной технологической нагрузкой или котлов горячего водоснабжения в течение года указанные величины теплового напряжения уменьшаются на 15%.

4. Величину теплового напряжения поверхности нагрева котлов, отнесенную к укм (ккал/укм), находят путем деления табличных значений на переводной коэффициент

5. Значение переводного коэффициента для котлов ВНИИСТО-Мч изменяется пропорционально поверхности нагрева. Здесь принят полный котел из 12 секций.

Расчет и подбор циркуляционных насосов с электродвигателями

Для водяного отопления с искусственной циркуляцией в котельной устанавливаются два одинаковых попеременно работающих центробежных насоса — рабочий и резервный. Циркуляционные насосы имеют обводную линию, которая позволяет регулировать работу насосов и в случае их остановки (при авариях) поддерживать небольшую естественную циркуляцию.

Производительность циркуляционных насосов g определяется по формуле

$$g = \frac{Q_p}{t_r - t_0} \quad (\text{кг/ч}), \text{ или } g = \frac{Q_p}{(t_r - t_0) \gamma} \quad (\text{м}^3/\text{ч}), \quad (\text{V.2})$$

где Q_p — расход тепла на отопление с учетом потерь 10—20%, ккал/ч;

t_r — температура горячей воды, °С;

t_0 — температура охлажденной воды;

γ — плотность обратной воды, кг/м³ (см. табл. III.4).

В отопительной технике обычно используют водопроводные насосы. В системах холодного и горячего водоснабжения при расчете мощности насоса напор H_n (м) принимают равным сумме потерь напора в сети, высоты всасывания и подъема с запасом на свободный излив воды из водоразборной арматуры.

В системах водяного отопления требуется значительно меньшая мощность насосов, чем в водопроводных. Развиваемое давление насосов p_n (м вод. ст.) должно лишь преодолеть гидравлические сопротивления в замкнутом циркуляционном контуре и они обычно не могут поднять воду на всю высоту отапливаемого здания и обеспечить

подпитку системы. Таким образом циркуляционные насосы рассчитывают только на перемещение воды по замкнутому кольцу трубопроводов местной системы отопления, коммуникации котельной и наружной тепловой сети (при групповой котельной).

Расчет установленной мощности двигателя N в $квт$ циркуляционных насосов производится по формуле

$$N = \frac{gH_n K_1 K_2}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n}, \quad (V.3)$$

где g — количество воды, перемещаемой циркуляционным насосом, $кг/ч$;

H_n — напор, развиваемый насосом, $м$;

η_n — к. п. д. насоса;

K_1 — коэффициент, учитывающий потери на трение, равный 1,05;

K_2 — коэффициент запаса мощности на пусковой момент, учитывающий перегрузку мотора: при мощности до 1 $квт$ $K_2 = 2$; при мощности свыше 1 $квт$ $K_2 = 1,3$.

При несовпадении требуемой по расчету характеристики насоса с данными завода-изготовителя выполняют пересчет производительности, напора и мощности по числу оборотов насоса.

Изменение производительности g , напора H_n и мощности насоса N зависит от числа оборотов n :

$$\frac{g_1}{g} = \frac{n_1}{n}, \text{ или } g_1 = g \frac{n_1}{n}; \quad (V.4)$$

$$\frac{H_{n_1}}{H_n} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^2, \text{ или } H_{n_1} = H_n \left(\frac{n_1}{n}\right)^2; \quad (V.5)$$

$$\frac{N_1}{N} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^3, \text{ или } N_1 = N \left(\frac{n_1}{n}\right)^3. \quad (V.6)$$

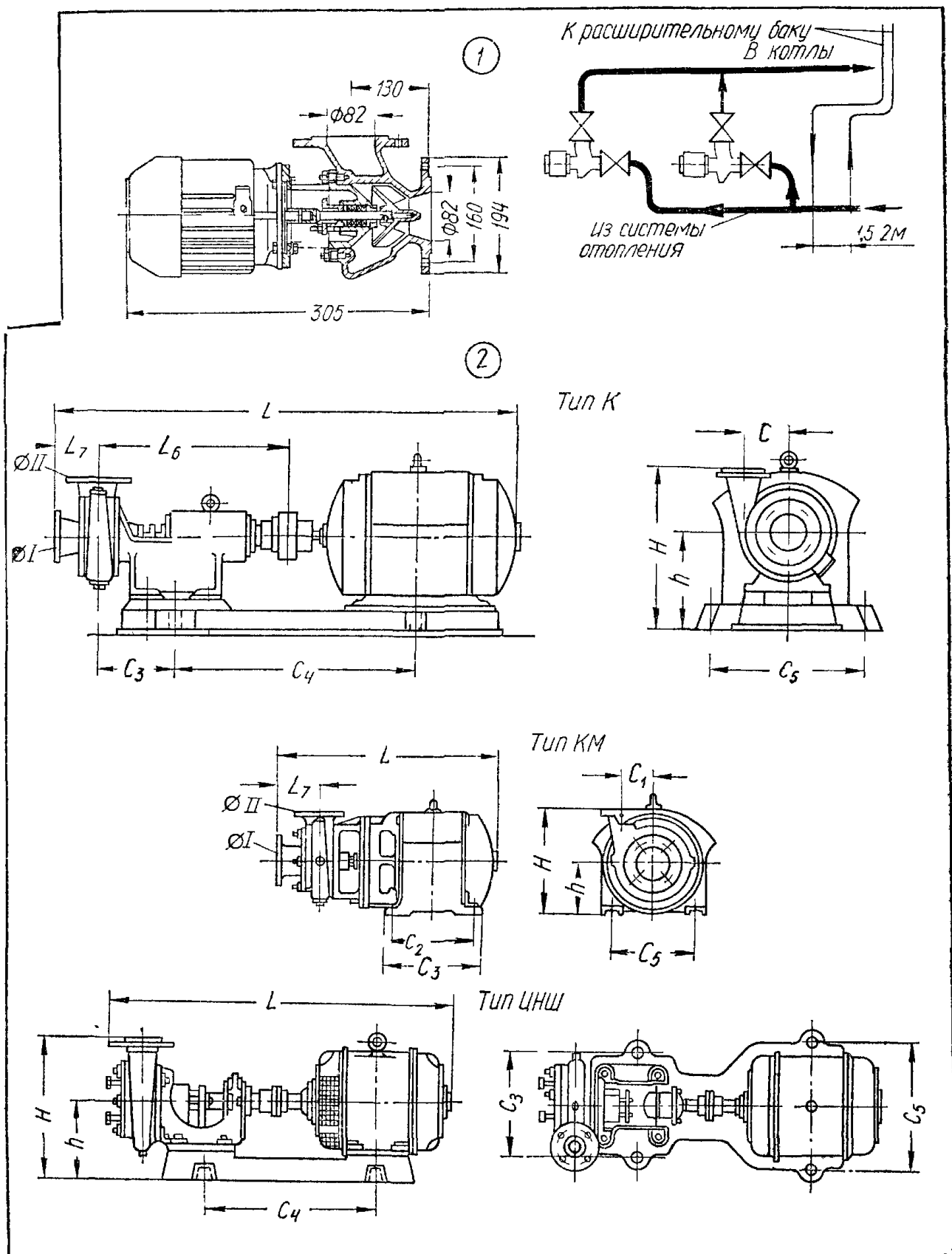
Для побуждения циркуляции воды в местных системах отопления применяются диагональные насосы типа ЦНИИПС, имеющие значительную производительность при малых напорах. Они монтируются без фундаментов непосредственно на обратном трубопроводе (лист V.11, рис. 1 и табл. V.14).

Т а б л и ц а V.14. Диагональные насосы ЦНИИПС

Производи- тельность, $м^3/ч$	Полный напор H , $м$		К. п. д., проц.		Мощность на валу на- соса, $квт$	
	ЦНИИПС-10	ЦНИИПС-20	ЦНИИПС-10	ЦНИИПС-20	ЦНИИПС-10	ЦНИИПС-20
2	2,5	2,4	13	9	0,11	0,12
4	2,4	2,45	23	19	0,12	0,14
6	2,2	2,4	30	26	0,13	0,15
8	1,8	2,35	37	35	0,14	0,15
10	1,6	2,25	37	40	0,14	0,16
12	1,3	2,1	34	45	0,14	
14	0,9	2	28	48	0,13	
16	0,5	1,8	18	49	0,12	
18	—	1,5	—	47	—	
20	—	1,35	—	43	—	
22	—	1,1	—	36	—	

П р и м е ч а н и я. 1. Насосы ЦНИИПС поставляются вместе с электродвигателями типа АОЛБ-31-4 мощностью 0,27 $квт$, 1450 $об/мин$. Масса насоса с электродвигателем 35 $кг$.

2. Насосы ЦНИИПС-10 изготавливаются по особому заказу.



Лист V.11. Насосы:

1 — конструкция и коммуникация диагонального насоса типа ЦНИИПС; 2 — центробежные.

Незначительное сопротивление проходу воды через диагональные насосы позволяет монтировать их без устройства обводной линии для естественной циркуляции, а малое давление насоса делает возможным присоединять расширительный бак непосредственно к главному стояку по проточной схеме. Диагональные насосы работают почти без шума и значительно экономичнее центробежных по расходу электроэнергии.

Подбор центробежных насосов производят на основании графических зависимостей параметров насоса, производительности, напора и к. п. д., приведенных в каталогах заводов-изготовителей, как правило, для насосов, устанавливаемых на одной оси с электродвигателями. На листе V.11 и в табл. V.4—V.18 даны основные сведения для выбора насосных агрегатов, предназначенных для перекачки воды с температурой не более 80—85° С. Допустимая высота всасывания указана для воды с температурой 20° С и барометрическом давлении 735 мм рт. ст*. Выбор типа и мощности электродвигателей производят по табл. V.19.

Пример V.1. Подобрать циркуляционные насосы с электродвигателями на одной оси при следующих данных: расход тепла на отопление $Q_p = 675\,000$ ккал/ч, параметры теплоносителя $\Delta t = 95 - 70 = 25^\circ$ С. Насосы должны развивать напор $H_n = 2,5$ м.

По формуле (V.2) производительность насоса равна

$$g = \frac{675\,000}{25 \cdot 977,81} = 27,7 \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ или } 27\,700 \text{ л/ч},$$

где 977,81 кг/м³ — плотность воды в обратном трубопроводе при температуре 70° С (см. табл. III.4).

По табл. V.16 подбираем наиболее близкий к расчетной производительности и напору насосный агрегат, состоящий из центробежного насоса марки ЦНШ-65 ($g = 37 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H_n = 4$ м) с электродвигателем на одной оси типа АО2-32-4 ($N = 3$ кВт, $n = 1430$ об/мин).

Поскольку насосы должны работать с меньшей производительностью и развивать напор всего 2,5 м, требуется заменить электродвигатель.

Сообразуясь с формулами перерасчета (V.4) и (V.5) предварительно принимаем по табл. V.19 электродвигатель типа АОС2-21-4 ($N = 1,3$ кВт и $n = 1300$ об/мин). Затем проверяем фактические показатели работы насосов при уменьшенном числе оборотов — при $n_1 = 1300$ об/мин.

$$\text{Производительность } g_1 = 37 \cdot \frac{1300}{1430} = 33,67 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$\text{Напор } H_1 = 4 \left(\frac{1300}{1430} \right)^2 = 3,3 \text{ м}.$$

Необходимая мощность электродвигателя определится по формуле (V.3), к. п. д. насоса $\eta = 0,65$.

$$N = \frac{33,67 \cdot 977,81 \cdot 3,3 \cdot 1,05 \cdot 2,0}{3600 \cdot 102 \cdot 0,65} = 0,98 \text{ кВт}.$$

Таким образом, выбранный центробежный насос с электродвигателем подобран правильно и обеспечит работу системы отопления при заданных условиях.

Расчет и подбор питательных устройств

Для уменьшения накипеобразования на поверхностях нагрева котлов и экономии топлива паровые котлы питаются, как правило, конденсатом. Пополнение отопительных паровых котлов сырой водой из водопровода допускается временно, в случае аварии. Паровые котлы, расходующие пар на технологические нужды без возврата конденсата в котельную (например, в прачечных), должны обеспечиваться водоподготовкой.

Для сбора и хранения конденсата в котельной устанавливают конденсационные баки с полезной емкостью, рассчитанной в мелких котельных на 1—2-часовой запас, а в более крупных — на 0,5—1-часовой запас. В котельных, работающих круглогодично, предусматривают не менее двух конденсационных баков или один бак с перегородкой; в отопительных котельных можно устанавливать один бак (табл. V.20).

* Госстрой СССР, ГПИ «Сантехпроект». Методические материалы для проектирования. Насосы. Вып. 1. М., 1970.

Таблица V.15. Центробежные насосы типов К и КМ

Марка	Производительность, м³/ч	Полный напор Н, м	Мощность, кВт		К. п. д., проц.	Допустимая высота всасывания Н _{доп} , м	Диаметр рабочего колеса, мм
			на валу насоса	электродвигателя			
1,5К-6 и 1,5КМ-6	6	20,3	0,7	1,7	44	6,6	128
	11	17,4	0,9		55	6,7	
	14	14	1		53	6	
1,5К-6а и 1,5КМ-6	5	16	0,6	1,7	38	6,5	115
	9,5	14,2	0,7		51	6,9	
	13,5	11 2	0,9		50	6,1	
1,5К-6б и 1,5КМ-6б	4,5	12,8	0,5	1	35	6,4	105
	9	11,4	0,6		49	7	
	13	8,8	0,7		45	6,3	
2К-6 и 2КМ-6	10	28,5	1,4	4,5	54	8,7	162
	20	30,8	2,7		64	7,2	
	30	24	3,1		63	5,7	
2К-6а и 2КМ-6а	10	28,5	1,4	4,5	54	8,7	142
	20	25,2	2,1		65	7,2	
	30	20	2,6		64	5,7	
2К-6б и 2КМ-6б	10	22	1,2	2,8	55	8,7	132
	20	18,8	1,6		65	7,2	
	25	16,4	1,7		64	6,6	
2К-9	11	21	1,2	2,8	56	8	118
	20	18,5	1,5		68	6,8	
	22	17,5	1,6		66	6,4	
2К-9а	10	16,8	0,8	1,7	54	8,1	106
	17	15	1,1		65	7,3	
	21	13,2	1,2		63	6,6	
2К-9б	10	13	0,7	1,7	51	8,1	106
	15	12	0,8		60	7,6	
	20	10,3	0,9		62	6,8	
3К-6 и 3КМ-6	30,6	58	8,8	14	52	7	218
	45	54	10,5		63	6	
	61	45	12,5		57	4,5	

Марка	Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Полный напор H , м	Мощность, квт		К. п. д., проц.	Допустимая высота всасывания $H_{\text{доп}}$, м	Диаметр рабочего колеса, мм
			на валу насоса	электродвигателя			
3К-6а и 3КМ-6а	27,7	47	6,7	10	50	7	192
	40	41,5	7,4		56	6	
	56	33,5	9		59	4	
3К-9	30	34,8	4,6	7	62	7	168
	45	31	5,5		71	6	
	54	27	5,8		71	2,9	
3К-9а	25	24,2	2,7	4,5	62	7	143
	35	22,5	3,1		70	6,9	
	45	19,5	3,4		71	6	
4К-8а и 4КМ-8а	61	49	13,9	20	62	6	200
	90	43	16		67	5	
	104	36,8	16,5		64	4	
4К-12 и 4КМ-12	65	40	9,8	14	69	6,5	174
	90	34	10,8		77	5	
	112	27,5	12		67	3,5	
4К-12а и 4КМ-12а	61	32,5	8	7	70	6,5	163
	85	28,6	9,2		70	5	
	100	23	9,6		69	3,5	
4К-18	60	25,7	5,6	7	76	5,4	148
	80	22,8	6,3		79	5,3	
	100	18,9	6,7		77	4,2	
4К-18а	50	20,7	3,9	7	73	5,4	136
	70	18,2	4,5		78	5,3	
	90	14,3	4,7		75	5,2	

Примечание. Скорость вращения насосов — 2900 об/мин.

Таблица V.16. Центробежные насосы типа ЦНШ

Марка насоса	Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Полный напор H , м	Допустимая высота всасывания $H_{\text{доп}}$, м	Диаметр рабочего колеса, мм	Электродвигатель		
					тип	мощность, квт	скорость вращения, об/мин
ЦНШ-40	7-12	6-4	8	158	A02-12-4	0,8	1360
	11-23	26-18			A02-32-2	4	2880
ЦНШ-65	26-37	6-4	7	165	A02-32-4	3	1430
	30-70	30-20			A02-51-2	10	2900
ЦНШ-80	28-50	10-6	6	180	A02-32-4	3	1430
	45-101	38-24			A02-52-2	13	2900

Таблица V.17. Размеры центробежных насосов типа К и КМ (лист V.10, рис. 2)

Марка насоса	Размеры, мм											Электроприводитель			Масса агрегата, кг
	L	L ₆	L ₇	c ₁	c ₃	c ₄	c ₅	H	h	Ø I	Ø II	тип	мощность, кВт	скорость вращения, об/мин	
1,5К-6	727		120	75		285		285		40	32	A0Л2-21-2	1,5	2860	53,9
2К-6	786	278	130	98	163	316	250	315	165	50	40	A0Л2-32-2	4	2880	71,3
2К-9	765		130	80		299		290		50	40	A0Л2-22-2	2,2	2860	58,4
3К-9	984	328	148	105	187	401	280	365	215	80	50	A0Л-42-2	7,5	2910	115,4
4К-18	990	331	158	108	190	401	280	365	215	100	80	A02-42-2	7,5	2910	133,2
1,5КМ-6	459			75	120		170	220	100	40	32	A0-32-2	1,7	2850	40
2КМ-6	615			98	150		285	320	170	50	40	A0-51-2H	4,5	2900	106
3КМ-6	777	—		124	203	—				80	50	A2-61-2	17	2900	196
4КМ-8	815			135	241		279	390	180	100	80	A2-62-2	22	2910	204
4КМ-12	777			120	203					100	80	A2-61-4	17	2910	195

Таблица V.18. Размеры центробежных насосов типа ЦНШ

Марка насоса	Размеры, мм								Тип электро-двигателя	Масса агрегата, кг
	L	c ₃	c ₄	c ₅	H	h	Ø I	Ø II		
ЦНШ-40	702	260	350	260	310	165	50	40	A02-12-4	62
	820		392	310	322	177			A02-32-2	64
ЦНШ-65	810	285	397	320	327	202	75	65	A02-32-4	96
	955		475	415	355	230			A02-51-2	169
ЦНШ-80	826	285	397	320	355	202	80		A02-32-4	97
	1002		490	415	383	230			A02-52-2	192

Таблица V.19 Электродвигатели единой серии типа А2 и А02

Мощность, кВт	Тип	Скорость вращения, об/мин	Мощность, кВт	Тип	Скорость вращения, об/мин
0,4	A0ЛC2-11-6	870	1,3	A0C2-21-4	1300
	A0C2-11-6	870		A0ЛC2-12-2	2670
	A0Л2-11-6	915		A0C2-12-2	2670
0,6	A0ЛC2-12-6	870	1,5	A0Л2-31-6	950
	A0C2-12-6	870		A02-31-6	950
	A0Л2-12-6	915		A02-22-4	1400
	A02-12-6	915		A0Л2-22-4	1400
	A0ЛC2-11-4	1300		A0Л2-21-2	2860
	A0C2-11-2	1300		A02-21-2	2860
	A0Л2-11-4	1360			
	A02-11-4	1370	1,8	A0ЛC2-21-2	2730
0,8				A0C2-21-2	2730
	A0Л2-21-6	930	2	A0ЛC2-31-6	870
	A02-21-6	930		A0C2-31-6	870
	A0Л2-12-4	1360		A0ЛC2-22-4	1300
	A02-12-4	1360		A0C2-22-4	1300
	A0Л2-11-2	2815			
0,9	A02-11-2	2815	2,2	A02-41-8	630
	A0ЛC2-12-4	1300		A0Л2-32-6	950
	A0C2-12-4	1300		A02-32-6	950
	A0ЛC2-11-2	2670		A0Л2-31-4	1430
	A0C2-11-2	2670		A02-31-4	1430
1			2,5	A0Л2-22-2	2860
	A0ЛC2-21-6	870		A02-22-2	2860
1,1	A0C2-21-6	870	2,7	A0C2-22-2	2730
	A0Л2-22-6	930		A0ЛC2-32-6	870
	A02-22-6	930	3	A0C2-32-6	870
	A0Л2-21-4	1400		A0C2-41-8	630
	A02-21-4	1400		A02-42-8	720
	A0Л2-21-2	2815		A02-41-6	960
1,3	A02-12-2	2815		A0ЛC2-31-4	1350
				A0C2-31-4	1350
	A0ЛC2-22-6	870		A0Л2-32-4	1430
	A0C2-22-6	870		A02-32-4	1430
	A0ЛC2-21-4	1300		A0Л2-31-2	2860

Мощность, квт	Тип	Скорость вращения, об/мин	Мощность, квт	Тип	Скорость вращения, об/мин
3	A02-31-2	2880	10	A2-61-6	965
3,5	A0C2-42-8	630	12,5	A02-61-6	970
	A0C2-31-2	2700		A0C2-62-8	660
	A0ЛC2-31-2	2760		A0C2-61-6	900
4	A02-51-8	725	13	A2-71-8	725
	A0C2-41-6	870		A02-71-8	725
	A02-42-6	960		A2-62-6	965
	A0C2-32-4	1350		A02-62-6	970
	A0ЛC2-32-4	1350		A2-61-4	1450
	A02-41-4	1450		A02-61-4	1450
	A0Л2-32-2	2880	14,5	A0C2-61-4	1350
	A02-32-2	2880		A0C2-71-8	700
4,8	A0ЛC2-32-2	2760	15	A0C2-62-6	900
	A0C2-32-2	2700		A2-71-6	965
5	A0C2-51-8	660	15,5	A02-71-6	970
5,2	A0C2-41-4	1350		A2-62-4	1450
5,5	A02-52-8	725		A02-62-4	1450
	A02-51-6	970		A2-61-2	2900
	A02-42-4	1450		A02-62-2	2900
	A02-41-2	2900		A2-61-4	2910
6,4	A0C2-52-8	660	17	A02-81-10	580
6,8	A0C2-41-2	2760		A2-72-8	725
7	A0C2-51-6	890		A02-72-8	725
7,5	A2-61-6	725	18	A0C2-72-8	700
	A02-61-6	725	18,5	A0C2-62-4	1350
	A02-52-6	970	19	A0C2-71-6	930
	A0C2-42-4	1350	19,8	A0C2-81-10	550
	A02-51-4	1450	22	A2-81-8	725
	A02-42-2	2910		A02-81-8	730
9	A0C2-52-6	890		A2-72-6	965
	A0C2-42-2	2760		A02-72-6	970
9,4	A0C2-51-4	1350		A0C2-71-4	1400
10	A0C2-61-8	660		A2-71-4	1450
	A02-62-8	725		A02-71-4	1450
	A2-62-8	725		A02-71-2	2900
	A02-52-4	1400			
	A0C2-51-2	2760			
	A02-51-2	2900			

Таблица V.20. Прямоугольные конденсационные баки (по материалам ГПИ Сантехпроект, лист V.11, рис. 1)

Марка бака	Емкость, л	Размеры, мм						Масса бака воды, кг
		A	B	H	h	d ₁	d ₂	
1 E011	335	814	684	710	610	40	40	98,2
2 E011	440	1074						116
3 E011	572	1394						138
4 E011	642	1054						140,5
5 E011	855	1404	974	1000	910	50	40	185,4
6 E011	1065	1224						205,5
7 E011	1280	1474						231,5
8 E011	1605	1474						265
9 E011	2040	1472	1224	1250	1160	50	76	427
10 E011	3080	1972	1372					584

Примечание. Емкость бака измеряется объемом между переливным патрубком и дном. Конденсационные баки должны поставляться с указателем уровня воды, водомерным стеклом и пазом.

Конденсационные баки (лист V.12, рис. 1) сваривают из 3-мм листовой стали, снабжают крышкой с люком, водомерным стеклом и устанавливают на деревянных прокладках из брусков. Для присоединения реле сигнализации верхнего и нижнего уровней воды в крышке и днище бака предусмотрены муфты диаметром 15 мм. При отсутствии автоматики они заглушаются пробками.

Необходимая емкость конденсационного бака V_6 для паровых котлов низкого давления V_6 определяется по формуле

$$V_6 = \frac{Q_T n}{540 \gamma}, \quad (V.7)$$

где Q_T — расход тепла, ккал/ч;

n — продолжительность хранения запаса конденсата, ч;

540 — теплота испарения пара низкого давления, ккал/кг;

γ — плотность конденсата при данной температуре подаваемой воды, кг/м³ (см. табл. III.4).

Питание паровых котлов низкого давления обеспечивается насосами. Питание котлов общей производительностью до 150 кг/ч обеспечивается 1 ручным насосом с диаметром всасывающего патрубка 25 мм. Для котлов общей производительностью до 500 кг/ч необходимо принимать 1 ручной насос с диаметром всасывающего патрубка 32 мм и 1 центробежный насос. Для котлов общей паропроизводительностью более 500 кг/ч принимают 1 ручной насос с диаметром всасывающего патрубка не менее 38 мм и 2 центробежных насоса. Производительность центробежных насосов (каждого из них) рассчитывается на 110% паропроизводительности всех одновременно действующих котлов.

В небольших котельных водопровод может заменить один из насосов, если давление воды в сети водопровода непосредственно у котлов превышает рабочее давление пара не менее чем на 1 кгс/см².

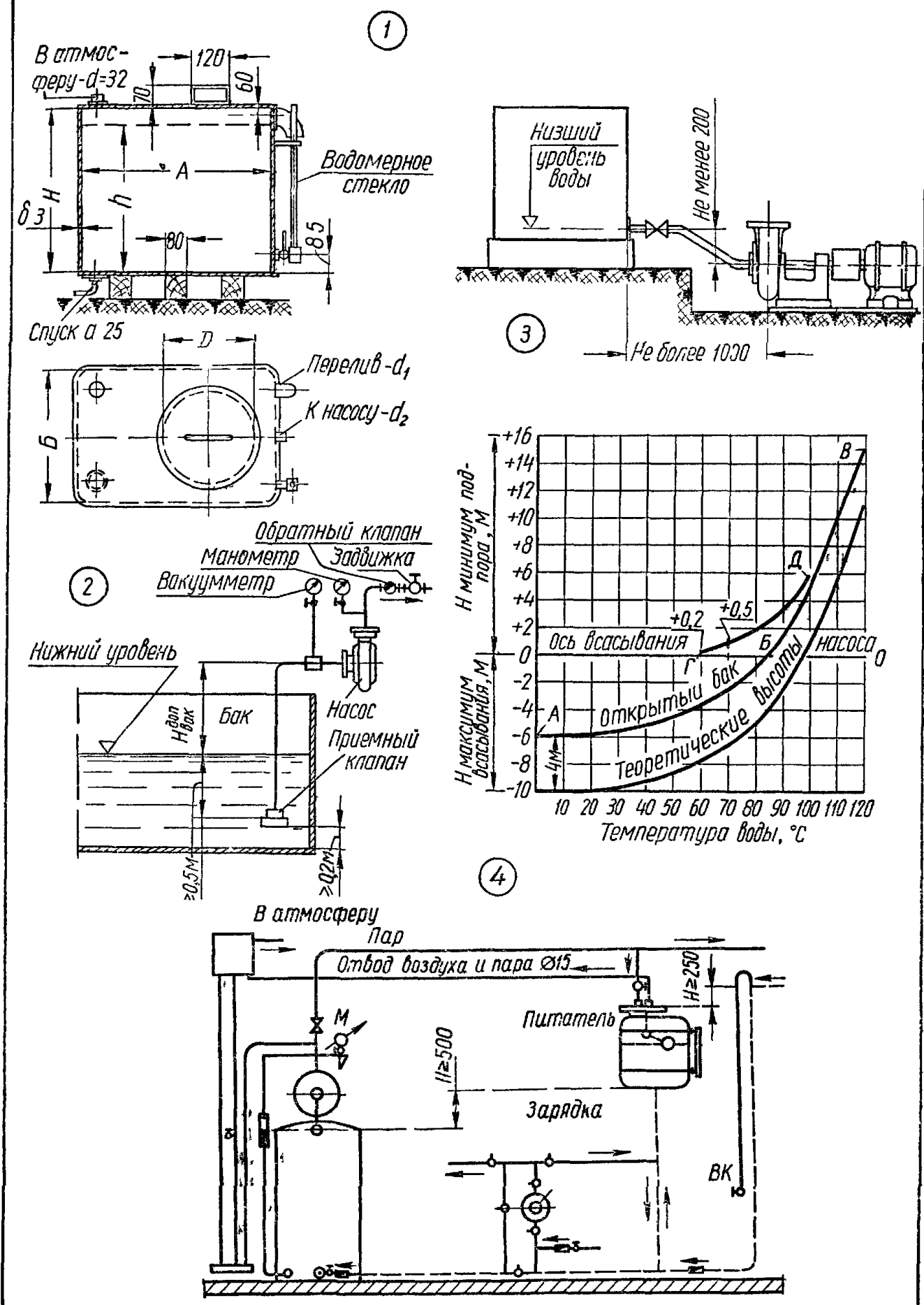
Напор, создаваемый насосом H_n для перекачки конденсата в паровые котлы низкого давления, определяют по формуле

$$H_n = 10p_k + H + H_1 + 1 \text{ м}, \quad (V.8)$$

где p_k — рабочее давление пара в котле, кгс/см²;

H — напор, соответствующий разности отметок нижнего уровня воды в конденсационном баке и уровня воды в котле или высшей точке питательного трубопровода, м;

H_1 — потери напора в питательной линии, м.



Лист V.12. Питательные приборы паровых котлов.

1 — конструкция и схема установки конденсационного бака; 2 — высота всасывания насоса;
3 — график допустимых высот всасывания и подпора насоса, 4 — установка питателя-автомата в замкнутой системе пароснабжения низкого давления.

Мощность питательных центробежных насосов рассчитывают по аналогии с циркуляционными насосами водяного отопления по формуле (V.3). Скорость движения воды при определении диаметров питательных трубопроводов принимается не более 2 м/с.

Центробежные насосы для перекачки конденсата устанавливают под заливом, ниже уровня дна конденсационного бака, с тем, чтобы конденсат поступал в насос самотеком с некоторым подпором (лист V.12, рис. 1). В каталогах насосов допустимую вакуумметрическую высоту всасывания указывают обычно при температуре воды 20° С (лист V.12, рис. 2).

Высота всасывания и подпора насоса, при которой не вскипает вода во всасывающем трубопроводе и не происходит явление кавитации, зависит от температуры перекачиваемой воды, величины добавочного давления при входе в насос p_k и гидравлических потерь во всасывающем трубопроводе p_c . На графике листа V.12, рис. 3, показаны кривые максимальной высоты всасывания и минимальной высоты подпора при перекачке насосом горячей воды из открытого бака, находящегося под атмосферным давлением. Линия действительных высот АБВ отличается от теоретических на величину $p_k + p_c = 4 \text{ м вод. ст.}$

Практически воду с температурой более 60° С можно перекачивать только при условии установки насоса под заливом — с подпором. Число оборотов насоса в минуту должно быть постоянным, чтобы его производительность и напор не изменялись. На графике линия ГД показывает определенные по опытным данным минимальные высоты подпора для устойчивой работы насосов, перекачивающих горячую воду с температурой 60—90° С.

Для питания паровых котлов низкого давления принимают центробежные насосы, характеристики которых приведены в табл. V.15—V.18.

Повышение надежности работы паровых котлов достигается автоматизацией включения и выключения питательных насосов, в зависимости от положения уровня воды в котле и конденсационном баке, с параллельным устройством звуковой сигнализации.

В замкнутых системах пароснабжения низкого давления, в некоторых случаях, целесообразно для питания паровых котлов использовать питатель-автомат (лист V.12, рис. 4), т. е. промежуточный сборный бак для конденсата. Процесс питания котла происходит периодически под воздействием напора Н-500 мм при равенстве давлений пара в котле и питателе. Поплавковый механизм питателя после завершения каждого цикла питания отделяет паровое пространство котла от конденсаторного трубопровода, и конденсат самотеком поступает в питатель из системы пароснабжения. Установка питателя позволяет повысить рабочее давление пара в котле до 0,7 кгс/см² и соответственно увеличить радиус действия системы пароснабжения.

В процессе эксплуатации паровых котлов приходится восполнять неизбежные потери пара и конденсата в системе пароснабжения сырой водой. В чисто отопительных котельных количество добавляемой сырой воды, компенсирующей естественную убыль в системе пароснабжения, колеблется в пределах 5—10%, а в отопительно-производственных котельных составляет 10—30% и более при расходах пара на технологические нужды без возврата конденсата в котельную.

Температура конденсата, возвращающегося в котельную, обычно не превышает 70° С.

При питании паровых котлов жесткой водой происходит интенсивное отложение накипи на поверхностях нагрева, снижающее коэффициент теплопередачи металлической стенки котла, что ведет к перерасходу топлива. Каждый миллиметр слоя накипи дает до 1,5—2% перерасхода топлива. В местах образования накипи стенки котла могут недопустимо перегреваться, механическая прочность металла падает, стенки деформируются, в чугунных котлах появляются трещины. Во избежание этого применяется докотловая обработка воды (умягчение питательной или сырой добавочной воды) с периодической шламовой продувкой котла.

Для чугунных секционных котлов внутрикотловая обработка воды не допускается. Общая жесткость воды для этих котлов не должна превышать 0,3 мг-экв/л; для подогрейных котлов нормируется карбонатная жесткость, которая должна составлять 0,7—1,5 мг-экв/л; содержание кислорода в воде не нормируется.

РАСЧЕТ ТЯГО-ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ

Дымовые трубы и боровы

В малоэтажных домах для чугунных котлов квартирного водяного отопления размеры дымовых каналов принимают в зависимости от высоты трубы (от уровня колосниковой решетки котла до верха оголовка трубы) и теплопроизводительности котла (табл. V.21).

Т а б л и ц а V.21. Размеры дымовых каналов от чугунных котлов ВНИИСТО-Мч

Площадь сечения канала, $см^2$	Размеры канала, кирпичей	Теплопроизводительность котла, тыс. $ккал/ч$, при высоте дымовой трубы, $м$				
		6	7	8	9	10
196	$1/2 \times 1/2$	7	8,5	10	14	18
378	$1/2 \times 1$	8,5	10	14	18	22
540	$3/4 \times 1$	—	—	26	30	34

П р и м е ч а н и е Дымовую трубу ниже 5 м делать не разрешается. С целью устранения опасности задувания ветром верх оголовка трубы должен возвышаться над коньком крыши не менее чем на 1 м

Т а б л и ц а V.22. Размеры кирпичных дымовых труб

Площадь сечения выходного отверстия $F_{тр}$, $см^2$	Размеры прямоугольных труб, кирпичей	Диаметр круглых труб, $см$	Теплопроизводительность котельной, тыс. $ккал/ч$, при высоте трубы, $м$			
			15	20	25	30
196	$1/2 \times 1/2$	15	22	24	28	30
378	$1/2 \times 1$	20	42	48	54	59
540	$3/4 \times 1$	25	65	74	82	90
729	1×1	28	80	90	103	114
1026	$1 \times 1\frac{1}{2}$	35	122	140	159	173
1377	1×2	40	165	190	213	234
1444	$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$	43	187	216	240	264
1938	2×2	50	250	290	320	355
2601	$1\frac{1}{2} \times 2$	58	340	398	443	475
3204	$2 \times 2\frac{1}{2}$	65	420	490	554	595
4096	$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$	72	530	610	—	—

Размеры кирпичных дымовых труб для небольших котельных теплопроизводительностью до 650 тыс. $ккал/ч$ принимаются по табл. V.22. Площадь сечения выходного отверстия дымовой трубы $F_{тр}$ определяют по формуле, $см^2$

$$F_{тр} = \frac{0,03 \cdot Q_T}{\sqrt{h}} \quad (V.9)$$

где Q_T — тепловая нагрузка котельной, $ккал/ч$;

h — высота трубы от уровня колосниковой решетки до верха оголовка трубы, $м$.

Площадь сечения борова $F_б$ для котельных теплопроизводительностью до 650 тыс. $ккал/ч$ определяют по формуле, $см^2$

$$F_б = 0,0076 \cdot Q_T \quad (V.10)$$

где Q_T — теплопроизводительность котлов, обслуживаемых расчетным участком борова, $ккал/ч$.

Таблица V.23. Показатели основных видов твердого топлива СССР

Топливо	Средняя низшая теплота сгорания Q_N^P , ккал/кг	Средняя объемная масса γ , кг/м ³	Коэффициент перевода натурального топлива в условное	Теоретический объем при 0° С и 760 мм рт.ст., нм ³ /кг	
				воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива v_0	продуктов сгорания 1 кг топлива v_{0r} при $\alpha = 1$
Дрова складочные всех пород с влажностью в среднем 33%	2910	450	0,415	3,43	4,23
Опилки и стружки	2000	250	0,286	2,52	3,43
Торф кусковой	2940	400	0,42	3,47	4,27
Торф фрезерный	2660	400	0,38	3,18	4,02
Торфяные брикеты	4000	250	0,57	4,54	5,21
Бурый уголь (Александрия, СССР)	1830	760	0,26	2,35	3,28
Подмосковный уголь	2900	750	0,415	3,43	4,23
Карагандинский уголь	5880	800	0,84	6,34	6,87
Кузнецкий уголь	6455	850	0,92	7,02	7,4
Донецкий антрацит по всем маркам	6540	1000	0,934	7,1	7,48
То же, АРШ	6455	850	0,92	7,02	7,4
» АШ	6065	800	0,866	6,62	7,05
» АСШ	6195	800	0,855	6,76	7,17
» АС	6500	990	0,93	7,06	7,44
Кокс	6500	400	0,93	7,06	7,44

Примечания 1 Средние показатели твердого топлива приведены для ориентировочных подсчетов. Подробную характеристику ископаемого топлива по отдельным месторождениям, маркам и сортам см. «Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод» М., «Энергия», 1973.

2 Теплота сгорания 1 м³ складочных дров составляет 1302 тыс. ккал, коэффициент перевода кубических метров дров в тонны условного топлива — 0,186 (для условного топлива $Q_N^P = 7000$ ккал/кг).

Для котельных с теплопроизводительностью более 650 тыс. ккал/ч размеры дымовых труб принимают на основании подробного аэродинамического расчета газового тракта. Площадь сечения и диаметр выходного отверстия дымовой трубы и рассматриваемого участка борова $F_{тр\ б}$ и $d_{тр}$ находят по формулам

$$F_{тр\ б} = \frac{v_r}{3600w} \text{ м}^2, \quad d_{тр} = 0,0188 \sqrt{\frac{v_r}{w}} \text{ м}, \quad (V.11)$$

где w — скорость движения дымовых газов при естественной тяге и максимальной нагрузке котлов (с учетом расширения котельной), м/с;

v_r — объем дымовых газов м³ (при $t_r = 200 \div 300^\circ \text{С}$).

Для предварительных расчетов принимают скорость w в выходном отверстии дымовой трубы не менее 6—10 м/с в сборном, борове — 3—4 и боровых от котлов к сборному борову — 2—4 м/с. Для котельных, работающих с неполной нагрузкой, скорость газов в выходном сечении дымовой трубы во избежание задувания ветром должна быть не менее 2,5—3 м/с.

Величина v_r определяется по формуле

$$v_r = B \left[v_{0r} + (\alpha - 1) v_0 \right] \frac{273 + t_r}{273}. \quad (V.12)$$

Здесь v_{0r} — объем дымовых газов, принимаемый по табл. V.23, нм³/кг;

B — часовой расход топлива при максимальной нагрузке котельной, кг/ч;

α — коэффициент избытка воздуха в рассматриваемом участке газохода;
 t_r — температура дымовых газов в основании дымовой трубы; для чугунных секционных котлов может быть приближенно принята равной 200°C ;

v_0 — теоретически необходимый для процесса горения 1 кг топлива объем воздуха, принимаемый по табл. V.23.

Коэффициент α принимается приближенно за котлом на 0,2, а перед дымовой трубой — на 0,4 больше избытка воздуха в топке α_t . Для ориентировочных расчетов коэффициент избытка воздуха α_t в топке с простой колосниковой решеткой можно принять: при сжигании антрацитов — 1,4—1,5; каменного угля — 1,5—1,7; бурых и подмосковных углей — 1,6—1,8; дров и торфа (в шахтных топках) — 1,25—1,35.

Часовой расход топлива B (в кг) подсчитывается в зависимости от к. п. д. котельной установки и низшей теплоты сгорания топлива с учетом потерь тепла 10—20%. Для водогрейных и паровых котлов низкого давления

$$B = \frac{(1,1 \div 1,2) Q_p}{Q_n^p \eta_{к.у}}, \quad (\text{V.13})$$

где $\eta_{к.у}$ — к. п. д. котельной установки;

Q_p — расход тепла, ккал/ч.

Высота дымовой трубы $h_{тр}$ определяется по формуле (м)

$$h_{тр} = 2,15 \frac{H_{к.у}}{p_{бар} \left(\frac{1}{273 + t_n} - \frac{1}{273 + t_r} \right)}, \quad (\text{V.14})$$

где $p_{бар}$ — барометрическое давление, мм рт. ст.;

t_n — температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;

t_r — средняя температура дымовых газов в трубе;

$H_{к.у}$ — газовое сопротивление котельной установки, кгс/м².

$H_{к.у}$ состоит из газовых сопротивлений котла $H_{кот}$, борова H_b , шибера $H_{ш}$, дымовой трубы $H_{тр}$, разрежения в топке H_t и потерь напора на выходе дымовых газов

из трубы $H_d = \frac{w^2}{2g}$ (w — расчетная скорость газа; γ — плотность дымовых газов).

Разрежение в топке принимается равным 3—4 кгс/м² для колосниковых решеток с ручным обслуживанием и 8—10 кгс/м² — для шахтных топок.

Газовое сопротивление чугунных секционных котлов при крупнокусковом топливе и максимально допустимом тепловом напряжении поверхности нагрева составляет 2—4 кгс/м². Газовое сопротивление боровов и дымовой трубы определяется на основании аэродинамических расчетов; для боровов оно ориентировочно принимается равным 2 кгс/м² на каждые 25 м длины борова. Газовое сопротивление шибера составляет 0,5—1,5 кгс/м².

В отопительных котельных тягу дымовой трубы проверяют при наружной температуре $t_n = 10^\circ \text{C}$. Если котельная работает летом, то проверку делают на летнюю расчетную температуру согласно табл. VII.3.

Дымовые трубы встроенных котельных должны быть не менее чем на 5 м выше конька кровель зданий, расположенных в радиусе 25 м от котельной, с толщиной стенок не менее 380 мм. Фундаменты прислоненной к стене или отдельно стоящей дымовой трубы не должны быть связаны со строительными конструкциями здания, для чего предусматривают осадочные швы.

Дымовые трубы выкладываются из обыкновенного красного кирпича, в групповых котельных они дополнительно еще футеруются огнеупорным кирпичом на треть высоты. Если дымовая труба проходит в пределах помещения, наружные поверхности ее стенок изолируются огнестойкими материалами и устройством воздушного прослойка. Для очистки дымовой трубы от золы в устье делают зольный приямок, а на подводящем борове — люк размерами не менее 380 × 380 мм.

Металлические дымовые трубы устанавливают на опорную плиту, прикрепляемую к кирпичному цоколю, расчаливаются растяжками или закрепляются хомутами к наружной капитальной стене здания. Металлические трубы оборудуются молниеотводами с хорошим заземлением.

Борова выкладываются из красного кирпича в сухих грунтах обычно заглубленными, а во влажных — надпольными. При подземном расположении борова между сводом борова и полом делают засыпку песком толщиной 200 мм, если боров надземный, делают свод засыпку слоем 100 мм с укладкой по ней двух рядов кирпича плашмя.

Соотношение ширины к высоте борова принимают не менее 1 : 2, свод выполняют толщиной в один кирпич со стрелой подъема 0,15 пролета. Толщина стенок подземного борова — не менее 250—380 мм, надземного — не менее 380—510 мм (в зависимости от его размеров). Дно борова выстилается двумя рядами кирпича плашмя, а фундаментом служит бетонная плита толщиной не менее 150 мм.

Свод общего сборного борова выполняют с подъемом 0,02 к дымовой трубе. При проходе борова через стену или фундамент здания для пропуска борова устраивают с зазором и перекрывают его перемычкой. При расположении борова вдоль стен здания предусматривают между стенкой борова и стеной здания зазор не менее 70 мм с засыпкой его шлаком.

Вентиляторное дутье

При устройстве дутья в топки котлов предусматривается установка двух вентиляторов, рассчитанных каждый на полное расчетное давление и производительность. Один из дутьевых вентиляторов является рабочим, а второй — резервным. Объем воздуха для дутья L_v определяется по формуле, $м^3/ч$

$$L_v = 1,1 \cdot \alpha_T v_0 B \frac{273 + t_v}{273} \cdot \frac{760}{p_{бар}}, \quad (V.15)$$

где α_T — коэффициент избытка воздуха в топке;

t_v — температура воздуха под потолком котельной, принимаемая 20° С.

Барометрическое давление $p_{бар}$ в среднем может быть принято 745 мм рт. ст.

Дутьевые центробежные вентиляторы должны развивать давление в 60—100 кгс/м² для преодоления всех сопротивлений движению воздуха в воздуховодах, колосниковой решетке, слое топлива и в топке котла.

Приняв модель центробежного вентилятора в зависимости от требуемой производительности L_v и давления H_v , по его характеристике определяют номер вентилятора, скорость вращения и потребляемую мощность электродвигателя, установленного на одной оси с вентилятором.

Воздух для дутья в топки котлов следует забирать из верхней зоны помещения котельного зала. Для регулировки количества подаваемого воздуха у топок котлов на дутьевых патрубках устанавливаются клапаны, а на выхлопных отверстиях вентиляторов — шиберы. Сечение подпольных дутьевых каналов принимается из расчета допустимой скорости движения воздуха 3—4 м/с.

ПОМЕЩЕНИЯ ВСТРОЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Теплопроизводительность встроенных котельных, работающих на твердом топливе, принимается в зависимости от приведенных характеристик топлива — зольности A_p и сернистости S_p . При A_p до 2,5 и S_p до 0,5% нормируемая производительность котельных составляет 1,5 Гкал/ч; при A_p до 5 и S_p свыше 1,5% — 0,5 Гкал/ч. В этих котельных разрешается устанавливать паровые котлы низкого давления до 0,7 кгс/см² и водогрейные котлы с температурой нагрева воды до 115° С.

При высоком уровне грунтовых вод предусматривают надежные мероприятия против проникания воды в котельную. Пол помещения размещают выше уровня грунтовых вод, а основания боровов, каналов и т. п. располагают выше наивысшего уровня грунтовых вод, не менее чем на 300 мм.

Котлы неодинаковой длины или различных систем при установке располагают в один фронт, чтобы топки находились на одной линии и обеспечивались естественным освещением.

Наименьшие и рекомендуемые расстояния при установке в помещении котлов, работающих на твердом топливе, для удобства их обслуживания и ремонта приведены в табл. V.24 и на листе V.13.

При установке котлов вблизи стен или колонн помещения котельной их обмуровка должна отстоять от стен или колонн не менее чем на 70 мм. Этот промежуток засыпается шлаком или закладывается сверху и по краям кирпичом. ОпираНИЕ фундаментов дымовых труб котлов и оборудования на обрезы фундаментов стен, колонн не допускается; в местах примыкания фундаментов к строительным конструкциям здания предусматривается устройство осадочных швов.

Т а б л и ц а V.24. Габариты встроенных отопительных котельных, мм

Размер	Котлы	
	без обмуровки	в легкой обмуровке
Наименьший проход перед фронтом котлов	2000	3000
То же, нормальный	2500	4000
Боковой проход между котлами или котлом и стеной здания	1000	1000
То же, при обслуживании котла сбоку	1500	
Проход между отдельными выступающими частями котла и конструкциями здания	800	
Наименьший проход за котлами	1500	2000
Наименьшая ширина котельной	$3500 + l$	$5000 + l$
То же, нормальная	$4000 + l$	$6000 + l$
Наименьшая длина котельной	$1000 + 1000n + bn$	
Наименьшая высота котельной при установке водогрейных котлов	3200	3900
То же, паровых	3900	4200
Высота от поверхности обмуровки или площадки обслуживания котла до нижних частей несгораемого перекрытия	1900	
Высота от паросборника котла до нижних конструктивных частей перекрытия	700	
Ширина проезда в зольном помещении	Ширина вагонетки + 1300	
Высота зольного помещения от пола до потолка	2600	

П р и м е ч а н и я 1. l — строительная длина котла, мм, n — число одиночных котлов или групп в общей обмуровке; b — строительная ширина одиночных котлов или групп в общей обмуровке, мм

2 Для малых котлов типа ВНИИСТО Мч боковой проход принимают обычно равным 700 мм.

3 При естественной циркуляции воды в системе отопления высота помещения рекомендуется не ниже 3500 мм

Дутьевые подпольные каналы перекрывают сборными железобетонными плитами, а каналы для труб — съемными бетонными плитами или рифленой листовой сталью. Внутренние поверхности дутьевых кирпичных каналов штукатурят цементным раствором.

Фундаменты для насосов, вентиляторов и двигателей выполняют со звукопоглощающим основанием. Площадки обслуживания и ступени металлических лестниц изготовляют из рифленой или полосовой стали (на ребро). Высота от пола площадок до центра полууказательных приборов паровых котлов должна быть не менее 1000 и не более 2000 мм.

Насосную, как правило, выделяют в отдельное помещение. Если насосы устанавливают в одном помещении с котлами, работающими на твердом топливе, их огораживают остекленной стенкой. В помещении насосной желательно размещать и дутьевые вентиляторы. Для удобства и безопасности обслуживания ширину всех проходов между оборудованием принимают не менее 700 мм.

Котельная со всеми вспомогательными помещениями должна иметь хорошую вентиляцию, отопление, противопожарно-хозяйственный водопровод, канализацию и удовлетворять всем требованиям пожарной безопасности, охраны труда и санитарных норм.

Вентиляция котельного зала рассчитывается на удаление избытков тепла и может осуществляться дутьевыми вентиляторами из верхней зоны помещения, через оконные фрамуги верхнего света или фонарей, вытяжными шахтами или вентиляторами крышного типа. В котельных, размещаемых в подвалах зданий, необходимо устраивать механическую вентиляцию.

Для обслуживающего персонала в котельной предусматривают комнату отдыха, душевую кабину и уборную. В каждой котельной должен быть телефон или сигнализация для экстренного вызова администрации; на видном месте вывешивают инструкции по уходу за оборудованием.

Котельные, встроенные в жилые и общественные здания, не разрешается располагать в таких местах:

под помещениями общественного назначения (фойе и зрительные залы зрелищных предприятий, раздевалки и мыльные бани, торговые залы магазинов, классы, залы и аудитории школ и учебных заведений, детские и групповые комнаты детских учреждений);

под складами горючих материалов;

в помещениях, примыкающих к складам легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и материалов, за исключением складов топлива для самой котельной.

Не допускается устанавливать паровые котлы с давлением пара более $0,7 \text{ кгс/см}^2$ и водогрейные с температурой воды более 115°C в помещениях, примыкающих к жилым и общественным зданиям. Котельные нельзя размещать в подвалах, затапливаемых грунтовыми водами, без надежных мер по их отводу.

Не допускается располагать машинные отделения котельных непосредственно под жилыми помещениями. В ряде случаев насосы и дутьевые вентиляторы целесообразно выносить за пределы подвала здания и размещать их в пристройке (лист V.13). Для уменьшения шума присоединение трубопроводов и воздухопроводов к насосам и вентиляторам выполняют при помощи гибких вставок с установкой оборудования на виброизолирующем основании, не связанном с конструкциями здания.

Перекрытие над котельной делается непроницаемым для газов и паров и должно отвечать правилам противопожарной безопасности.

Вход в котельную выполняют обособленным с шириной наружных лестниц не менее 1000 мм и защищают от атмосферных осадков. Марши лестниц допускается располагать в габаритах общей лестничной клетки с выгораживанием их негорючими перегородками и перекрытием для устройства обособленного выхода наружу.

При выходе золы и шлака более 150 кг/ч следует предусматривать простейшую механизацию в подвале здания для выгрузки золы и шлака непосредственно в автомашину (лист V.13).

При отопительных котельных в населенных пунктах, работающих на твердом топливе, устраивают только расходуемые склады, рассчитанные на регулярное получение топлива с базисных складов. В зависимости от местных условий, расхода и сорта топлива склад размещается на поверхности земли под навесом вблизи здания котельной или устраивается подземным — в подвале или под двором. На генеральном плане склады топлива размещают с учетом правильной организации хранения, удобства загрузки топлива в склад и подачи его в котельную.

Открытые склады топлива и золоотвалы располагаются на отдельных площадках. Во избежание загрязнения твердого топлива при его хранении под навесом пол выполняют из глинобетона с отметкой на 0,5 м выше уровня грунтовых вод. Противопожарные разрывы выдерживают согласно СНиП II-М.1—71.

При подаче топлива в котельную по узкоколейному пути верх головок рельсов должен быть на одном уровне с полом помещения. Расстояние от оси узкоколейного пути до выступающих частей передней стены котельной принимается 1300 мм с обеспечением прохода 700 мм между стеной и вагонеткой.

Площадь склада S для твердого топлива на месячный запас определяется по формуле, м^2

$$S = 600 \cdot \frac{B}{\gamma h}, \quad (\text{V.16})$$

где B — часовой расход топлива, найденный по формуле (V.13), кг/ч ;

γ — объемная масса топлива, принимаемая по табл. V.23, кг/м^3 ;

h — высота штабеля в зависимости от рода и марки сжигаемого топлива, м.

Для дров и торфа $n = 4$, для антрацита со штыбом — 2,5, для каменного угля — 2, для бурого угля — 1,5. При ручной загрузке топлива в склад, находящийся на уровне земли, высоту штабеля принимают не более 2 м.

В тех случаях, когда характеристика топлива неизвестна, его потребность исчисляется в условном топливе, низшая теплота сгорания которого принята $Q_H^p = 7000$ ккал/кг.

Расход условного топлива по количеству натурального находят путем умножения этого количества на переводной коэффициент и наоборот, расход натурального топлива по количеству условного находят путем деления количества последнего на переводной коэффициент, приведенный в табл. V.23.

Расход твердого топлива за отопительный период в зависимости от продолжительности работы котельной и климатических условий в данной местности находят по формуле, m

$$B_{оп} = \frac{(1,10 \div 1,20) Q_T (t_{в ср} - t_{ср оп}) 24n}{1000 (t_{в ср} - t_H) Q_H^p \eta_{к у}}, \quad (V.17)$$

где $1,10 \div 1,20$ — коэффициент учитывающий непроизводительные потери тепла;

Q_T — теплопотери здания, ккал/ч;

$t_{в ср}$ — средняя внутренняя температура отапливаемых помещений, принимаемая по табл. V.25, °C;

$t_{ср оп}$ и t_H — расчетные температуры, °C (см. табл. I.3);

Q_H^p — низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг (табл. V.23);

$\eta_{к у}$ — к. п. д. котельной установки на твердом топливе, принимаемый в среднем для групповых котельных 0,65 и для индивидуальных 0,6;

n — число суток отопительного периода (см. табл. I.3).

Таблица V.25. Усредненная расчетная температура внутреннего воздуха в жилых и общественных зданиях

Здания	$t_{в ср}$ °C	Здания	$t_{в ср}$ °C
Жилые здания, гостиницы, общежития, административные здания	18	Театры, магазины, прачечные, пожарные депо	15
Учебные заведения, общеобразовательные школы, школы-интернаты, лаборатории, предприятия общественного питания, клубы и дома культуры	16	Кинотеатры	14
		Гаражи	10
		Детские ясли и сады, поликлиники, амбулатории, диспансеры и больницы	20
		Бани	25

Примечание При отсутствии перечня общественных зданий расчетная температура внутреннего воздуха для всех зданий принимается 18° C

VI. ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТЕПЛА

Водяные системы теплоснабжения применяются двух типов закрытые и открытые. В закрытых системах вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как теплоноситель. В открытых системах циркулирующая вода частично или полностью разбирается у абонентов для горячего водоснабжения. Наибольшее распространение получили двухтрубные закрытые и открытые системы. Четырехтрубные и многотрубные системы применяются обычно на промышленных предприятиях и внутри жилых кварталов на ответвлениях от центральных тепловых пунктов к отдельным потребителям при закрытой системе теплоснабжения.

Схемы тепловых сетей в зависимости от взаимного размещения источников тепла и потребителей могут быть лучевыми (радиальными) с прокладкой от источника тепла отдельных магистралей в районы размещения потребителей тепла (лист VI 1, рис 6), кольцевыми с прокладкой от источника тепла к группе потребителей не менее двух магистралей, соединяющихся между собой в районе размещения потребителей, радиальными с перемычками, предназначенными в основном для проведения летних ремонтов с минимальным ограничением потребителей бытового горячего водоснабжения (лист VI 1, рис 7). Проверка схемы тепловых сетей на аварийное отключение какого-либо участка магистрали в зимнее время производится только для магистралей диаметром 800 мм и более.

В городах и жилых поселках основными потребителями тепла от систем централизованного теплоснабжения являются жилые, административные и общественные здания. От этих же систем централизованного теплоснабжения могут получать тепло и промышленные объекты — для санитарно технических и технологических нужд. Основным видом тепловой нагрузки, как правило, является отопление.

Расчетные величины расхода тепла на отопление следует брать из проектов отопительных систем, а при отсутствии таковых определять по укрупненным показателям

для предприятий — по ведомственным нормам расходов тепла, утвержденным в установленном порядке, или по проектам аналогичных предприятий, привязанным к району строительства,

для жилых районов городов и других населенных пунктов по формулам, ккал/ч

$$Q_{0 \text{ жил}} = qF, \quad Q_{0 \text{ общ}} = kQ_{0 \text{ жил}}, \quad (\text{VI } 1)$$

где q — укрупненный показатель расчетного часового расхода тепла на отопление жилых зданий, принимаемый в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления $t_{\text{н.о.}}$

$t_{\text{н.о.}}, ^\circ\text{C}$	0	—10	—20	—30	—40
q , ккал/м ² · ч	80	110	130	150	—160

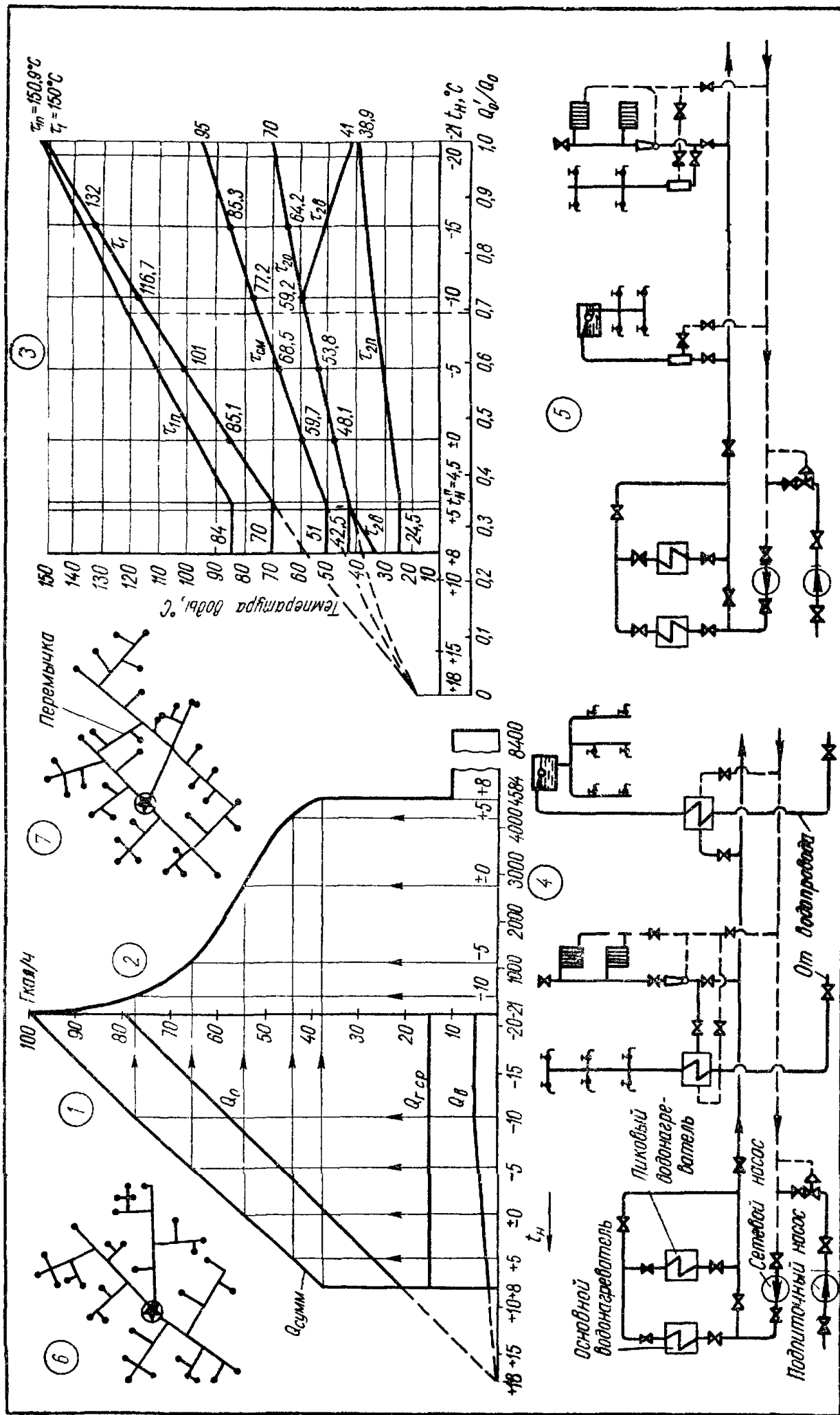
k — коэффициент, учитывающий расход тепла на отопление общественных зданий (при отсутствии данных принимается равным 0,25),

F — жилая площадь, м²

Суммарный расчетный часовой расход тепла на отопление жилых и общественных зданий жилого района равен, ккал/ч

$$Q_0 = (1 + k) qF \quad (\text{VI.2})$$

Определение расчетных расходов тепла на отопление и вентиляцию по укрупненным показателям допустимо только для вычисления тепловой мощности источника тепла и расчета магистральных и основных разводящих участков тепловых сетей. Все внутриквартальные сети и ответвления от них к зданиям должны, как правило, проектироваться на основе более точных данных по расходу тепла



Лист VI.1. Графики расхода тепла, температур теплоносителя и принципиальные схемы теплоснабжения:

1 — часовые расходы тепла; 2 — годовой расход тепла; 3 — график температур сетевой воды; 4 — закрытая система теплоснабжения; 5 — то же, открытая; 6 — радиальная схема тепловых сетей; 7 — то же, с перемычками.

При отсутствии проектных данных теплотери здания более точно могут быть определены по количеству тепла, передаваемому через внешние ограждения, по формуле (I.23).

Расход тепла на вентиляцию общественных зданий, учебных заведений, культурно-зрелищных учреждений, промышленных и коммунальных предприятий, а также характер суточного графика зависят от режима и условий их работы, режима технологического процесса и сменности работы отдельных цехов. Расход тепла на вентиляцию жилых зданий включен в отопительную характеристику и отдельно не учитывается.

Расчетный расход тепла на приточную вентиляцию общественных и производственных зданий принимается по соответствующим проектам либо утвержденным ведомственным нормам. При отсутствии проектов суммарный расчетный расход тепла на вентиляцию общественных зданий жилого района определяется по формулам:

$$Q_v = k_1 Q_{o \text{ общ}} \text{ или } Q_v = k k_1 Q_{o \text{ жил}}, \quad (\text{VI.3})$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий расход тепла на вентиляцию общественных зданий (при отсутствии данных принимается равным 0,4).

Расход тепла на бытовое горячее водоснабжение жилых, общественных и промышленных зданий или группы однотипных зданий определяется по нормам расхода горячей воды с температурой 60°C .

Расходы тепла на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий в балансах ТЭЦ и крупных котельных учитываются по среднечасовым расходам тепла за отопительный период, а промышленных зданий — по среднечасовым расходам тепла за смену с наибольшим водопотреблением.

Среднечасовой расход тепла за отопительный период на горячее водоснабжение отдельных жилых и общественных зданий определяется по формуле

$$Q_{г.ср} = \frac{am(t_r - t_{х.з})}{T}, \quad (\text{VI.4})$$

где m — расчетное количество потребителей;

a — норма потребления горячей воды, л/сутки;

t_r — расчетная температура горячей воды, $^\circ\text{C}$;

$t_{х.з}$ — температура холодной (водопроводной) воды в зимний период (при отсутствии данных принимают $t_{х.з} = +5^\circ \text{C}$);

T — число часов подачи тепла на горячее водоснабжение в сутки, принимаемое для жилых и общественных зданий равным 24 ч, а для промышленных и коммунальных предприятий — числу часов работы смены с наибольшим водопотреблением.

Максимальный часовой расход тепла на бытовое горячее водоснабжение городов и населенных мест определяется по формуле

$$Q_{г.макс} = (2 \div 2,4) Q_{г.ср}. \quad (\text{VI.5})$$

Для жилых районов городов и других населенных пунктов допускается определять среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение в зависимости от общего числа жителей в районе по формулам

$$Q_{г.ср} = \frac{m_1(a + b)(60 - t_{х.з})}{24} \quad (\text{VI.6})$$

или

$$Q_{г.ср} = q_{г.ср} m_1, \quad (\text{VI.7})$$

где a_1 — норма расхода горячей воды, л, при температуре 60°C для жилых зданий на 1 жителя в сутки (см. стр. 340);

b — то же, для общественных зданий района (при отсутствии данных принимается равной 20 л на 1 жителя в сутки);

m_1 — число жителей в районе;

$q_{г.ср}$ — укрупненный показатель среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение в ккал/ч на 1 человека с учетом общественных зданий

района, принимаемый в зависимости от нормы a_1 расхода воды на горячее водоснабжение:

a_1 , л/сут. чел	...	80	90	100	110	120	130
$q_{г\text{ ср}}$ ккал/ч·чел	...	250	275	300	325	350	375

Годовые расходы тепла жилыми и общественными зданиями на отопление Q_o год, вентиляцию Q_v год и горячее водоснабжение $Q_{г\text{ год}}$ определяются по формулам, ккал:

$$Q_o \text{ год} = Q_o \text{ ср} n_o = Q_o \frac{t_{вн} - t_{н\text{ ср } o}}{t_{вн} - t_{н\text{ о}}} n_o = Q_o n_o'; \quad (\text{VI.8})$$

$$Q_v \text{ год} = Q_v z_v \frac{n_v^0}{24} + Q_v \frac{t_{вн} - t_{н\text{ ср } в}}{t_{вн} - t_{н\text{ в}}} z_v \frac{n_o - n_v^0}{24}; \quad (\text{VI.9})$$

$$Q_{г\text{ год}} = Q_{г\text{ ср}} n_o + 0,8 Q_{г\text{ ср}} \frac{60 - t_{х\text{ л}}}{60 - t_{х\text{ з}}} (8400 - n_o), \quad (\text{VI.10})$$

где $Q_o \text{ ср}$ — среднечасовой расход тепла на отопление за отопительный период, ккал/ч;

n_o — продолжительность отопительного периода, ч;

n_o' — число часов использования максимума нагрузки, определяемое по формуле

$$n_o' = \frac{t_{вн} - t_{н\text{ ср } o}}{t_{вн} - t_{н\text{ о}}} n_o; \quad (\text{VI.11})$$

n_v^0 — число часов в отопительном периоде с температурами наружного воздуха ниже расчетной для проектирования вентиляции;

$t_{н\text{ ср } o}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C;

$t_{н\text{ ср } в}$ — средняя температура наружного воздуха в диапазоне от начала отопительного периода до $t_{н\text{ в}}$;

z_v — число часов работы системы вентиляции в течение суток;

$t_{х\text{ з}}, t_{х\text{ л}}$ — температуры холодной (водопроводной) воды соответственно в зимний и летний периоды;

$t_{вн}$ — расчетная усредненная температура воздуха внутри отапливаемого здания, °C;

8400 — число часов работы системы горячего водоснабжения в году.

Средняя температура наружного воздуха за рассматриваемый промежуток времени определяется по формуле, °C

$$t_{н\text{ ср}} = \frac{n_1 t_{н1\text{ ср}} + n_2 t_{н2\text{ ср}} + \dots + n_m t_{нm\text{ ср}}}{n_1 + n_2 + \dots + n_m}, \quad (\text{VI.12})$$

где $n_1, n_2, \dots, n_m$ — продолжительность стояния наружных температур в диапазонах 1, 2-го, ..., m -го температурных интервалов (обычно рассматривается последовательность интервалов с шагом в 5° C),

$t_{н1\text{ ср}}, t_{н2\text{ ср}}, \dots, t_{нm\text{ ср}}$ — средние температуры наружного воздуха для соответствующих интервалов, °C.

Значения $n_1, n_2, \dots, n_m, t_{н1\text{ ср}}, t_{н2\text{ ср}}, \dots, t_{нm\text{ ср}}$ принимаются по данным климатологических справочников

Пример IV.1. Определить расчетные часовые и годовые расходы тепла на отопление вентиляцию и горячее водоснабжение жилого района. Число жителей в районе $m_1=10000$ чел, $t_{н\text{ о}} = -21^\circ\text{C}$; $t_{н\text{ в}} = -10^\circ\text{C}$; $n_o = 4584$ ч; $t_{н\text{ ср } o} = -1,2^\circ\text{C}$. Продолжительность стояния температур наружного воздуха за отопительный период дана в табл. VI.1.

Принимая норму жилой площади на 1 чел. равной 12 кв. м/чел, находим суммарную жилую площадь района

$$F = 12 \times 10\,000 = 120\,000 \text{ м}^2.$$

Расчетный (максимальный) часовой расход тепла на отопление по формуле (VI.2)

$$Q_0 = (1 + 0,25) \times 112 \times 120\,000 = 16\,800\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Расчетный часовой расход тепла на вентиляцию по формуле (VI.3)

$$Q_v = 0,25 \times 0,4 \times 16\,800\,000 = 1\,680\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Расход тепла на горячее водоснабжение среднечасовой за отопительный период по формуле (VI.7)

$$Q_{г\text{ ср}} = 350 \times 10\,000 = 3\,500\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение по формуле (VI.5)

$$Q_{г\text{ макс}} = 2 \times 3\,500\,000 = 7\,000\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Годовой расход тепла на отопление по формуле (VI.8)

$$Q_{0,\text{год}} = 16\,800\,000 \times \frac{20 + 1,2}{20 + 21} \times 4584 \times 10^{-6} = 39820 \text{ Гкал/год}$$

Число часов использования максимума нагрузки по формуле (VI.11)

$$n'_0 = \frac{20 + 1,2}{20 + 21} \cdot 4584 = 2370 \text{ ч.}$$

Годовой расход тепла на вентиляцию определяем по формуле (VI.9), принимая число часов работы систем вентиляции $z_v = 16 \text{ ч/сутки}$. Предварительно находим $t_{н\text{ ср.в}}$ по формуле (VI.12)

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

$$Q_{v\text{ год}} = \left(1\,680\,000 \times 16 \times \frac{469}{24} + 1\,680\,000 \times \frac{18 + 0,6}{22 + 10} \times 16 \times \right. \\ \left. \times \frac{4584 - 469}{24} \right) \times 10^{-6} = 3140 \text{ Гкал/год.}$$

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение находим по формуле (VI.10)

$$Q_{г\text{ год}} = \left[3\,500\,000 \times 4584 + 0,8 \times 3\,500\,000 \times \frac{60 - 15}{60 - 5} \times (8400 - 4584) \right] \times \\ \times 10^{-6} = 24\,800 \text{ Гкал/год.}$$

Наиболее характерными графиками расходов тепла являются графики часовых расходов в зависимости от наружной температуры (лист VI.1, рис. 1). Если пренебречь влиянием естественной вентиляции и внутренних тепловыделений, то согласно формуле $Q = qV(t_{вн} - t_n)$ расход тепла на отопление и приточную вентиляцию прямо пропорционален разности температур $(t_{вн} - t_n)$. В этом случае графики часовых расходов тепла будут представлять собой прямые наклонные линии (в диапазоне от $t_{вн} = +8$ до t_n расчетного). В диапазоне от $t_{нв}$ до $t_{но}$ график

Таблица VI.1. Продолжительность стояния температур наружного воздуха за отопительный период

Температура $t_n, ^\circ\text{C}$	Время стояния температур, ч	
	n	Σn
$-30 \div -25$	2,9	2,9
$-25 \div -20$	22,1	25
$-20 \div -15$	120	145
$-15 \div -10$	324	469
$-10 \div -5$	686,4	1155,4
$-5 \div 0$	1676,6	2832
$0 \div +8$	1752	4584

вентиляционной нагрузки изобразится прямой, параллельной оси абсцисс. Нагрузка бытового горячего водоснабжения принимается равномерной для зимнего и летнего времени.

Часовой расход тепла на горячее водоснабжение в летнее время принимается равным

$$Q_{г.л} = 0,8 \frac{60 - 15}{60 - 5} Q_{г} \simeq 0,65 Q_{г} \text{ ккал/ч.} \quad (\text{VI.13})$$

Годовой график расхода тепла (лист VI. 2, рис. 2) обычно строится в зависимости от продолжительности стояния наружных температур. В левой части графика приводится суммарный график часовых расходов тепла, а в правой — кривая годового графика; максимальная ордината его соответствует максимальному расходу тепла, любая другая ордината соответствует расходу тепла при данной наружной температуре. Площадь, ограниченная кривой и осями координат, дает суммарный расход тепла за отопительный период, а прямоугольник в правой части графика — расход тепла на горячее водоснабжение в летнее время.

РЕЖИМЫ ОТПУСКА ТЕПЛА

Отопление

Тепловая нагрузка абонентов неоднородна и непостоянна. Она меняется в зависимости от температуры наружного воздуха, режима расхода воды на горячее водоснабжение, режима работы вентиляционных установок, технологического оборудования и других факторов. Поэтому при централизованном теплоснабжении городов или населенных пунктов не может быть применен единый для всех потребителей режим центрального регулирования отпуска тепла.

В тепловых сетях, как правило, применяется центральное качественное регулирование по основной тепловой нагрузке, которой обычно является нагрузка отопления жилых и общественных зданий.

При построении графика качественного регулирования отопительной нагрузки (лист VI. 1, рис. 3) исходят из заданных температур теплоносителя (τ_1 и τ_{20}) при расчетной температуре наружного воздуха t_n . Для двухтрубных систем отопления с чугунными нагревательными приборами температура воды в подающем и обратном трубопроводах τ_1 и τ_{20} при наружной температуре t'_n определяется по формулам, °C;

$$\tau'_1 = t_{вн} + (\tau_{пр} - t_{вн}) \left(\frac{t_{вн} - t'_n}{t_{вн} - t_{н.о}} \right)^{0,76} + (\tau_1 - \tau_{пр}) \frac{t_{вн} - t'_n}{t_{вн} - t_{н.о}}; \quad (\text{VI.14})$$

$$\tau'_{20} = \tau'_1 - \Delta\tau \frac{t_{вн} - t'_n}{t_{вн} - t_{н.о}}; \quad (\text{VI.15})$$

$$\tau'_{см} = \tau'_1 - (\tau_1 - \tau_{см}) \frac{t_{вн} - t'_n}{t_{вн} - t_{н.о}}, \quad (\text{VI.16})$$

где τ_1 и τ'_1 — расчетная температура воды в подающем трубопроводе тепловых сетей соответственно при $t_{н.о}$ и t_n , °C;

τ_{20} и τ'_{20} — температура воды в обратном трубопроводе местных систем отопления при $t_{н.о}$ и t'_n ;

t'_n — произвольно взятая температура наружного воздуха, для которой определяются температуры воды;

$\tau_{пр}$ — средняя температура нагревательных приборов двухтрубных систем отопления при $t_{н.о}$, равная

$$\tau_{пр} = 0,5 (\tau_{см} + \tau_{20}); \quad (\text{VI.17})$$

$\Delta\tau$ — расчетный перепад температур в тепловой сети, равный

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_{20};$$

$\tau_{см}$ и $\tau'_{см}$ — температура воды в подающем трубопроводе местной системы отопления после смешения соответственно при $t_{н.о}$ и $t'_н$.

$$\tau'_{см} = \frac{\tau'_1 + u\tau'_{20}}{1 + u}; \quad (VI.18)$$

где u — коэффициент смешения элеватора или насоса, равный

$$u = \frac{\tau_1 - \tau_{см}}{\tau_{см} - \tau_{20}}. \quad (VI.19)$$

Для обеспечения нагрева воды на нужды бытового горячего водоснабжения до 60°C температура воды в подающем трубопроводе тепловых сетей не должна опускаться ниже 70°C при закрытой и ниже 60°C при открытой системе теплоснабжения. Такое регулирование принято называть комбинированным (лист VI.1, рис. 3).

Дополнительное регулирование подачи тепла на отопление в диапазоне постоянных температур сетевой воды предусматривается либо центральное — количественное, либо местное (у потребителя) — пропусками. Продолжительность работы системы отопления в сутки при регулировании пропусками определяется из выражения

$$n = 24 \cdot \frac{t_{вн} - t'_н}{t_{вн} - t''_н}, \quad (VI.20)$$

где n — продолжительность подачи тепла при наружной температуре $t'_н$, ч;

$t''_н$ — низшая наружная температура, при которой начинается регулирование пропусками (точка излома графика), $^\circ\text{C}$;

$t_{вн}$ — расчетная температура воздуха в помещении.

Пример VI.2. Рассчитать и построить график температур воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети и местной системы отопления и определить число часов работы системы отопления при регулировании пропусками при $t'_н = +8$, $\tau_1 = 150$, $\tau_{20} = 70$, $\tau_{см} = 95$, $t_{н.о} = -21$, $t_{вн} = +18^\circ\text{C}$.

Предварительно определяем среднюю температуру нагревательных приборов систем отопления при $t_{н.о}$ по формуле (VI.17)

$$\tau_{пр} = 0,5 (95 + 70) = 82,5^\circ\text{C}.$$

По формулам (VI.14—VI.16) определяем температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети τ'_1 , в подающем и обратном трубопроводах системы отопления $\tau'_{см}$ и τ'_{20} при $t'_н = -15^\circ\text{C}$;

$$\tau'_1 = 18 + (82,5 - 18) \left(\frac{18 + 15}{18 + 21} \right)^{0,76} + (150 - 82,5) \frac{18 + 15}{18 + 21} = 132^\circ\text{C};$$

$$\tau'_{20} = 132 - 80 \frac{18 + 15}{18 + 21} = 64,3^\circ\text{C};$$

$$\tau'_{см} = 132 - (150 - 95) \frac{18 + 15}{18 + 21} = 85,5^\circ\text{C}.$$

Аналогично находим температуры τ'_1 , τ'_{20} и $\tau'_{см}$ при других значениях $t'_н$. Результаты расчетов представлены в табл. VI.2.

По данным расчета строим отопительный график температур сетевой воды (лист VI.1, рис. 3).

Приняв минимальную температуру воды в подающем трубопроводе тепловой сети равной 70°C , получим температуру наружного воздуха в точке излома графика $t''_н = +4,5^\circ\text{C}$ и соответственно температуру воды после отопительных систем $\tau'_{20} = 42,5^\circ\text{C}$.

Т а б л и ц а VI.2. Температура воды в трубопроводах, °С

Определя- емая тем- пература	Температура наружного воздуха t_n , °С						
	-21	-15	-10	-5	0	+5	+10
τ_1	150	132	116,7	101	85,1	68,4	51,2
τ_{20}	70	64,2	59,2	53,8	48,1	41,8	34,8
$\tau_{см}$	95	85,3	77,2	68,5	59,7	50,1	40

Продолжительность работы систем отопления в сутки при регулировании про-
пусками при $t'_n = +8^\circ\text{С}$ по формуле (VI. 20) будет

$$n = 24 \frac{18 - 8}{18 - 4,5} 17,8 \text{ ч.}$$

Отопительный график температур сетевой воды, построенный для определенной
расчетной наружной температуры, может быть использован и для других расчетных
отопительных температур наружного воздуха. Для этого на линии абсцисс дана
вторая шкала с относительными расходами тепла на отопление $\frac{Q'_o}{Q_o}$. Пересечение ор-
динаты, возведенной из точки, соответствующей заданному относительному расходу
тепла на отопление, с кривой температур даст искомую температуру теплоносителя.

Например, график температур построен для района с $t_{no} = -21^\circ\text{С}$ ($Q'_o/Q_o =$
 $= 1$); требуется определить температуру теплоносителя при $t_{nv} = -15^\circ$ для
района $t_{no} = -30^\circ\text{С}$. Относительный расход тепла при $t_{nv} = -15^\circ\text{С}$ будет

$$\frac{Q'_o}{Q_o} = \frac{1(18 + 15)}{(18 + 30)} = 0,69.$$

Пересечение ординаты этой точки с кривыми температур даст искомые темпера-
туры $\tau_{1nv} = 120$; $\tau_{1v} = 113$; $\tau_{2v} = 57,5^\circ\text{С}$.

Более прогрессивным следует считать количественно-качествен-
ное регулирование тепловых сетей*. Сущность этого способа заключается в том,
что расход воды в тепловых сетях с повышением наружных температур снижается,
а температура воды в подающей магистрали соответственно повышается.

Преимуществом количественно-качественного регулирования является значи-
тельное (в два-три раза) снижение расхода электроэнергии на перекачку теплоно-
сителя. Однако при этом способе может быть нарушена регулировка местных систем
при пониженных расходах теплоносителя. Поэтому в зависимости от качества на-
чальной регулировки местных систем отопления расход воды в тепловых сетях
может быть снижен до 70—60% при высоких наружных температурах воздуха.

Переменный расход воды в тепловых сетях осуществляется не плавно, а ступен-
чато (три и более ступеней) Переменный расход воды проще всего осуществить
применением нескольких насосов с различными по напорам и расходам воды харак-
теристиками.

Температуры воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети в отдель-
ных диапазонах регулирования определяются по формулам, °С:

$$\tau'_1 = t_{vn} + (\tau_{пр} - t_{vn}) \left(\frac{t_{vn} - t'_n}{t_{vn} - t_{no}} \right)^{0,76} + (\tau_1 - \tau_{пр}) \frac{t_{vn} - t'_n}{t_{vn} - t_{no}} \cdot \frac{1}{P}; \quad (\text{VI.21})$$

$$\tau'_{20} = t_{vn} + (\tau_{пр} - t_{vn}) \left(\frac{t_{vn} - t'_n}{t_{vn} - t_{no}} \right)^{0,76} - \frac{\theta}{2} \frac{t_{vn} - t'_n}{t_{vn} - t_{no}} \cdot \frac{1}{P}, \quad (\text{VI.22})$$

где θ — расчетный перепад температур в местной системе отопления, °С;

P — отношение сниженного расхода воды к расчетному.

* В. К. Д ю с к и н. Количественно-качественное регулирование тепловых се-
тей. М., Госэнергоиздат, 1959.

Вентиляция

В двухтрубных водяных тепловых сетях с подачей тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение применяется центральное качественное и местное количественное регулирование отпуска тепла на вентиляцию.

В диапазоне наружных температур от $t_{нв}$ до $t''_н$ (соответствующей точке излома графика температур сетевой воды), т. е. при переменном расходе тепла на вентиляцию и переменной температуре сетевой воды в подающем трубопроводе, применяется центральное качественное регулирование. В диапазоне с постоянной температурой сетевой воды и переменным расходом тепла на вентиляцию, а также в диапазоне с постоянным расходом тепла на вентиляцию и переменной температурой сетевой воды в подающем трубопроводе применяется местное количественное регулирование.

Температура воды в обратном трубопроводе систем вентиляции $\tau'_{2в}$ при температуре наружного воздуха $t'_н$ определяется из следующих уравнений:

в диапазоне наружных температур от $t_{нв}$ до $t''_н$

$$\tau'_{2в} = \tau'_1 - (\tau_{1в} - \tau_{2в}) \frac{t_{вн} - t'_н}{t_{вн} - t_{нв}}; \quad (VI.23)$$

в диапазоне с постоянной температурой воды в подающем трубопроводе (расход наружного воздуха постоянный, $\tau'_1 = \tau_1$)

$$\frac{\tau'_1 + \tau'_{2в} - t_{вн} - t'_н}{\tau''_1 + \tau''_{2в} - t_{вн} - t''_н} \left(\frac{\tau'_1 - \tau'_{2в}}{\tau''_1 - \tau''_{2в}} \right)^n = \left(\frac{t_{вн} - t'_н}{t_{вн} - t''_н} \right)^{1-n}; \quad (VI.24)$$

в диапазоне с постоянным расходом тепла на вентиляцию при постоянном расходе воздуха через калориферы (за счет изменения рециркуляции)

$$\frac{\tau'_1 + \tau'_{2в} - t'_н - t_{вн}}{\tau_{1в} + \tau_{2в} - t_{нв} - t_{вн}} \cdot \left(\frac{\tau_{1в} - \tau_{2в}}{\tau'_1 - \tau'_{2в}} \right)^n = 1. \quad (VI.25)$$

Здесь $\tau_{1в}$ и τ'_1 — температура воды в подающем трубопроводе при $t_{нв}$ и $t'_н$, °C;

$\tau_{2в}$ и $\tau'_{2в}$ — то же, в обратном трубопроводе от системы вентиляции при $t_{нв}$ и $t'_н$;

n — показатель степени, зависящий от типа калориферов; принимается равным 0,15÷0,22.

Значения $\tau_{1в}$ и $\tau_{2в}$ берутся из отопительного графика температур воды при $t_{нв}$. Уравнения (VI.24) и (VI.25) можно решить методом подбора, задаваясь значениями искомой величины $\tau_{2в}$.

Пример VI.3. Определить температуру воды, выходящей из систем вентиляции. Исходные данные: $t_{нв} = -10$, $\tau'_1 = 70^\circ \text{C}$; остальные данные те же, что в примере VI. 2.

Из расчета отопительного графика температур воды получим: $\tau_{1в} = 116,7$; $\tau_{2в} = 59,2^\circ \text{C}$.

Находим температуру сетевой воды, выходящей из системы вентиляции:

при $t'_н = t''_н = +4,5^\circ \text{C}$ по формуле (VI.23)

$$\tau'_{2в} = \tau''_{2в} = 70 - (116,7 - 59,2) \frac{18 - 4,5}{18 + 10} = 42,5^\circ \text{C};$$

при $t'_н = +8^\circ \text{C}$ по формуле (VI.24), предварительно задаваясь значением $\tau'_{2в} = 32^\circ \text{C}$ (показатель степени n принимаем равным 0,22),

$$\frac{70 + 32 - 18 - 8}{70 + 42,5 - 18 - 4,5} \cdot \left(\frac{70 - 42,5}{70 - 32} \right)^{0,22} = \left(\frac{18 - 8}{18 - 4,5} \right)^{0,78} = 0,786 \approx 0,79;$$

при $t'_n = t_{н.о} = 21^\circ\text{C}$ по формуле (VI.25), предварительно задаваясь значением $\tau'_{2в} = 41^\circ\text{C}$,

$$\frac{150 + 41 - 18 + 21}{116,7 + 59,2 - 18 + 10} \left(\frac{116,7 - 59,2}{150 - 41} \right)^{0,22} = 1,003 \approx 1.$$

Следовательно, при выбранных значениях $\tau'_{2в} = 32$ и 41°C соблюдено равенство в уравнениях, поэтому дальнейшего пересчета не требуется.

Горячее водоснабжение

При проектировании тепловых сетей и источников теплоснабжения тепловая нагрузка горячего водоснабжения принимается равномерной. Фактически же нагрузка колеблется в течение суток от нуля до максимума.

В двухтрубных водяных тепловых сетях при заданном графике температур сетевой воды регулирование отпуска тепла на горячее водоснабжение осуществляется непосредственно у потребителя путем автоматического изменения количества сетевой (греющей) воды, поступающей в водонагреватели.

При параллельной и смешанной схемах включения бойлеров горячего водоснабжения тепловой режим работы системы отопления не зависит от режима работы горячего водоснабжения.

Расход сетевой воды для магистральных и распределительных тепловых сетей определяется по среднечасовой, а для внутриквартальных сетей и абонентских ответвлений — по максимальной нагрузке горячего водоснабжения.

При двухступенчатом последовательном включении бойлеров горячего водоснабжения и отопительном графике температур воды тепловые режимы местных систем отопления и горячего водоснабжения тесно связаны между собой. Расход сетевой воды определяется по среднечасовой нагрузке горячего водоснабжения как для магистральных тепловых сетей, так и для абонентских присоединений. Местная система отопления является своего рода аккумулятором тепла. При повышенном графике температур воды и двухступенчатой последовательной схеме включения нагревателей тепловые режимы местных систем отопления и горячего водоснабжения также тесно взаимосвязаны.

При открытой системе теплоснабжения вода на горячее водоснабжение отбирается непосредственно либо из подающего, либо из подающего и обратного, либо только из обратного трубопроводов тепловой сети. Расход воды на горячее водоснабжение нагружает только подающий трубопровод.

Доля расхода воды из подающего и обратного трубопроводов определяется по формулам:

$$\beta_1 = \frac{t_r - \tau'_2}{\tau'_1 - \tau'_2}; \quad (\text{VI.26})$$

$$\beta_2 = 1 - \beta_1; \quad (\text{VI.27})$$

где τ'_1 и τ'_2 — температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети при t'_n $^\circ\text{C}$;

t_r — температура горячей воды, поступающей в систему горячего водоснабжения.

Регулирование отпуска тепла при повышенных графиках температур сетевой воды

При наличии местных систем горячего водоснабжения не менее чем у 75—80% жилых и общественных зданий рекомендуется применять центральное регулирование суммарной нагрузки, отопления и горячего водоснабжения по повышенному графику температур теплоносителя.

При закрытой системе теплоснабжения такое регулирование применяется в основном при двухступенчатой последовательной схеме включения нагревателей

горячего водоснабжения абонентов, ориентируясь на типичное для данного района соотношение расчетных величин регулируемых нагрузок $Q_{г.ср}/Q_o$.

Расчет температурного графика производится при «балансовом» расходе тепла на горячее водоснабжение $Q_{г.б}$, несколько превышающем среднюю нагрузку, так как при расчете температурного графика по $Q_{г.ср}$ в отопительной системе не обеспечивается суточный баланс тепла.

$$Q_{г.б} = k_6 Q_{г.ср}. \quad (VI.28)$$

При отсутствии у абонентов аккумуляторов горячей воды можно принимать для жилых зданий $k_6 = 1,2$.

При расчете температурного графика при данном режиме регулирования следует определить $Q_{г.б}$ для различных наружных температур, перепады температур сетевой воды в нагревателе первой ступени δ_2 и второй ступени δ_1 и затем по известным значениям температур воды в сети при чисто отопительной нагрузке найти температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети при повышенном графике.

Расчет значений δ_1 и δ_2 производится следующим образом. Задаются величиной недогрева $\Delta t''_п$ в первой ступени при $Q_{г.б}$ и наружной температуре $t''_н$, соответствующей точке излома графика. Величина недогрева $\Delta t''_п$ принимается обычно равной $5-10^\circ \text{C}$.

Определяют перепад температур сетевой воды в первой ступени при $t''_н$ по формуле

$$\delta_2'' = \frac{Q_{г.б}}{Q_o} \cdot \frac{t''_п - t_{х.з}}{t_г - t_{х.з}} (\tau_{10} - \tau_{20}), \quad (VI.29)$$

где $t''_п$ — температура водопроводной воды после первой ступени нагревателя при нагрузке $Q_{г.б}$ и наружной температуре $t''_н$;

$$t''_п = \tau_{20} - \Delta t''_п. \quad (VI.30)$$

Определяют значение δ_2 при $Q_{г.б}$ и любой наружной температуре $t'_н$ по формуле

$$\delta_2' = \delta_2'' \frac{\tau_{20} - t_{х.з}}{\tau_{20} - t'_{х.з}}. \quad (VI.31)$$

Суммарный перепад температур δ , равный $\delta_1 + \delta_2$, находят по формуле

$$\delta = \frac{Q_{г.б}}{Q_o} (\tau_{10} - \tau_{20}). \quad (VI.32)$$

Перепад температур сетевой воды δ'_1 при любой наружной температуре может быть найден по формуле

$$\delta'_1 = \delta - \delta'_2. \quad (VI.33)$$

По найденным значениям δ'_2 и δ'_1 и известным значениям температур воды в тепловой сети при чисто отопительной нагрузке τ'_1 и τ'_{20} находят температуру воды при повышенном графике и балансовой нагрузке горячего водоснабжения

$$\tau'_{1п} = \tau'_{10} + \delta'_1; \quad (VI.34)$$

$$\tau'_{2п} = \tau'_{20} - \delta'_2. \quad (VI.35)$$

Пример VI.4. Определить температуры воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети $\tau'_{1п}$ и $\tau'_{2п}$ при $t'_н$ и $t'_{н.о}$ (при повышенном графике температур сетевой воды). Исходные данные: $\frac{Q_{г.ср}}{Q_o} = 0,335$; $k_6 = 1,2$; $\frac{Q_{г.б}}{Q_o} = 0,4$; $\tau_{10} = 150$; $\tau_{20} = 70$; $\tau''_1 = 70$; $\tau''_{20} = 42,5$; $t_{х.з} = 5$; $t_г = 60^\circ \text{C}$.

Принимаем $\Delta t''_{\text{н}} = 6,5^\circ \text{C}$ и находим температуру водопроводной воды после первой ступени нагревателя при $t''_{\text{н}}$ по формуле (VI.30)

$$t''_{\text{н}} = 42,5 - 6,5 = 36^\circ \text{C}.$$

Перепад температур сетевой воды в первой ступени при $t'_{\text{н}} = t''_{\text{н}}$ по формуле (IV.29)

$$\delta''_2 = 0,4 \cdot \frac{36 - 5}{60 - 5} (150 - 70) = 18^\circ \text{C};$$

тот же перепад при $t'_{\text{н}} = t_{\text{н.о}}$ по формуле (IV.31)

$$\delta'_2 = 18 \cdot \frac{70 - 5}{42,5 - 5} = 31,1^\circ \text{C}.$$

Определяем температуру воды в обратном трубопроводе при $t''_{\text{н}}$ и $t_{\text{н.о}}$ по формуле (VI.35):

$$t''_{2\text{п}} = 42,5 - 18 = 24,5^\circ; \quad t_{2\text{п}} = 70 - 31,1 = 38,9^\circ \text{C}.$$

Находим суммарный перепад температур по формуле (VI.32)

$$\delta = 0,4 (150 - 70) = 32^\circ \text{C};$$

перепад температур в верхней ступени подогревателя при $t''_{\text{н}}$ и $t_{\text{н.о}}$ — по формуле (VI.33):

$$\delta''_1 = 32 - 18 = 14^\circ \text{C}; \quad \delta_1 = 32 - 31,1 = 0,9^\circ \text{C}.$$

Температуру сетевой воды в подающем трубопроводе при $t''_{\text{н}}$ и $t_{\text{н.о}}$ находим по формуле (VI.34):

$$t''_{1\text{п}} = 70 + 14 = 84^\circ \text{C}; \quad t_{1\text{п}} = 150 + 0,9 = 150,9^\circ \text{C}.$$

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И РЕЖИМ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Общие принципы расчета

Целью гидравлического расчета является определение диаметров трубопроводов, потерь давления, пропускной способности, давлений в различных точках сети, увязка всех точек системы при статическом и динамическом режимах, подбор насосов и другого оборудования сетей, предназначенных для транспортирования теплоносителя.

Потеря давления на участке трубопровода определяется по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}}, \quad (\text{VI.36})$$

где $\Delta p_{\text{тр}}$ и $\Delta p_{\text{м}}$ — потери давления на трение и в местных сопротивлениях, кгс/м^2 .

Потеря давления на трение пропорциональна длине трубопровода и определяется по формуле

$$\Delta p_{\text{тр}} = Rl, \quad (\text{VI.37})$$

где R — удельная потеря давления на трение, $\text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$;

l — длина трубопровода, м .

Удельная потеря давления на трение определяется по формуле

$$R = \lambda \frac{w^2 \gamma}{2gd} = 0,00638 \frac{G^2}{d^5 \gamma}, \quad (\text{VI.38})$$

где λ — коэффициент гидравлического трения;

w — скорость движения теплоносителя, м/с ;

ρ — плотность теплоносителя, кг/м^3 ;

g — ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}$;

d — внутренний диаметр трубы, м ;

G — расход теплоносителя, т/ч .

Для транспортирования теплоносителя применяются, как правило, стальные (шероховатые) трубы. Движение теплоносителя турбулентное. В этих условиях коэффициент гидравлического трения для переходной области ($2300 < Re < Re_{\text{пр}}$) зависит как от относительной эквивалентной шероховатости k_3/r (r — радиус трубы, м), так и от значения критерия Рейнольдса Re ; при $Re > Re_{\text{пр}}$ коэффициент гидравлического трения зависит только от k_3/r .

Т а б л и ц а VI.3. Предельная скорость теплоносителя $w_{\text{пр}}$, м/с

Теплоноситель	Температура теплоносителя t , °C	Эквивалентная шероховатость, мм				Теплоноситель	Температура теплоносителя t , °C	Эквивалентная шероховатость, мм			
		0,2	0,5	1	2			0,2	0,5	1	2
Вода	0	5,1	1,98	1	0,5	Пар $p = 5 \text{ кгс/см}^2$	160	15,6	6	3,4	1,6
	50	1,6	0,58	0,29	0,15		200	19,8	8,1	3,9	2
	75	1,15	0,46	0,24	0,11	Пар $p = 10 \text{ кгс/см}^2$	180	7,8	3,4	1,7	0,86
	100	0,86	0,34	0,18	0,086		200	9,9	3,9	2	0,99
	150	0,59	0,23	0,12	0,059		300	14,1	5,8	2,9	1,45

П р и м е ч а н и е. Значение эквивалентной шероховатости труб для гидравлического расчета тепловых сетей принимается равным, мм: 0,2 — для паропроводов; 0,5 — для водяных сетей; 1 — для конденсаторов.

Предельные значения критерия $Re_{\text{пр}}$ и скорости теплоносителя $w_{\text{пр}}$ (табл. VI.3), характеризующие границу переходной области и области квадратичного закона, определяют по формулам:

$$Re_{\text{пр}} = 568 \frac{d}{k_3}; \quad (\text{VI.39})$$

$$w_{\text{пр}} = 568 \frac{v}{k_3}, \quad (\text{VI.40})$$

где k_3 — эквивалентная шероховатость внутренней поверхности трубы, м ;

d — внутренний диаметр трубы, м ;

v — кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

При $Re < 568 \frac{d}{k_3}$ или $w < 568 \frac{v}{k_3}$ — коэффициент гидравлического трения определяется по формуле

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (\text{VI.41})$$

при $Re \geq 568 \frac{d}{k_3}$ или $w \geq 568 \frac{v}{k_3}$, т. е. в области квадратичного закона — по более простой формуле

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{d} \right)^{0,25}. \quad (\text{VI.42})$$

Поскольку в тепловых сетях скорость воды обычно больше 1 м/сек , а скорость пара больше $20\text{—}30 \text{ м/сек}$, то тепловые сети, как правило, работают в области квадратичного закона.

Т а б л и ц а VI.4. Эквивалентная длина местных сопротивлений l_3 при $k_3 = 0,5$ мм для труб $D_y = 25 \div 400$ мм

Местное сопротивление	Наружный диаметр труб D_H , мм										
	57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426
Задвижка	0,65	1	1,28	1,65	2,2	2,24	3,36	3,33	4,17	4,3	4,5
Вентиль с вертикальным шпинделем	8,4	9,6	10,2	13,5	18,5	24,6	39,5	—	—	—	—
Обратный клапан поворотный («захлопка»)	1,7	2,8	3,6	4,95	7	9,52	16	2,22	29,2	33,9	46
То же, подъемный	9,16	14	17,9	23	30,8	39,2	58,8	—	—	—	—
Сальниковый компенсатор односторонний	—	—	—	0,66	0,88	1,68	2,52	3,33	4,17	5	10
То же, двухсторонний	—	—	—	1,98	2,64	3,36	5,04	6,66	8,34	10,1	12
Отвод сварной одношовный с углом, град:											
30			—			1,12	1,68	2,22	2,78	3,36	4
45			—			1,68	2,52	3,33	4,17	5	6
60			—			3,92	5,9	7,8	9,7	11,8	14
90			—			7,28	10,9	14,4	18,1	21,8	26
Отвод сварной под углом 90°:											
двухшовный, $R = 1D$			—			3,92	5,9	7,8	9,7	11,8	14
трехшовный, $R = 1,5D$ и четырехшовный, $R = 1D$			—			3,36	5,04	6,7	8,34	10,1	12

Отвод крутоизогнутый, $R = 1,5 \div 2D$	0,65	1	1,28	1,65	2,2	2,8	4,2	5,55	6,95	8,4	10
Отвод гнутый гладкий, $R = 3D$	0,52	0,8	1,02	1,32	1,76	2,24	3,36	4,4	5,56	6,7	8
То же, $R \geq 4D$	0,4	0,6	0,76	0,98	1,32	1,68	2,52	3,3	4,17	5	6
Компенсатор П-образный со сварными трехшовными отводами, $R = 1,5D$			—			17,6	24,8	33	40	47	55
То же, с крутоизогнутыми отводами, $R = 1,5D, R = 2D$	5,2	6,8	7,9	9,8	12,5	15,4	23,4	28	34	40	47
То же, с гнутыми гладкими отводами:											
$R = 3D$	3,5	4,9	5,4	6,5	8,4	10	14,4	18	22	26	31
$R = 4D$	2,4	3,2	3,5	3,8	5,6	6,5	9,3	11,2	11,5	16	20
Тройник при разделении потока:											
проход	1,3	2	2,55	3,3	4,4	5,6	8,4	11,1	13,9	16,8	20
ответвление	1,96	3	3,82	4,95	6,6	8,4	12,6	16,7	20,8	25,2	30
Тройник при слиянии потока:											
проход	1,96	3	3,82	4,9	6,6	8,4	12,6	16,7	20,8	25,2	30
ответвление	2,62	4	5,1	6,6	8,8	11,2	16,8	22,2	27,8	33,6	40
Тройник при расходящемся потоке	2,62	4	5,1	6,6	8,8	11,2	16,8	22,2	27,8	33,6	40
Тройник при встречном потоке	3,93	6	7,65	9,8	13,2	16,8	25,2	33,3	41,7	50,4	60

Примечание. Значения L_3 задвижек с суженным проходом и направляющей трубой принимают с коэффициентом 2. Значения L_3 тройников при разделении потока учитывают на участке с суммарным расходом воды.

Потери давления в местных сопротивлениях определяются по формуле, кгс/м^2

$$\Delta p_m = R l_3, \quad (\text{VI.43})$$

где l_3 — эквивалентная длина местных сопротивлений, м, равная (табл. VI.4)

$$l_3 = \frac{\sum \xi d}{\lambda}. \quad (\text{VI.44})$$

Здесь $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

При разработке проектного задания, когда еще нет данных о характере и количестве местных сопротивлений, эквивалентная длина последних принимается приближенно в долях от линейной длины $l_3 = \alpha l$. В этом случае потери давления Δp_m определяются по формуле

$$\Delta p_m = R \alpha l. \quad (\text{VI.45})$$

Суммарное падение давления на участке трубопровода составит, кгс/м^2

$$\Delta p = \Delta p'_{\text{тр}} + \Delta p_m = R l (1 + \alpha). \quad (\text{VI.46})$$

Примерные значения коэффициентов α для разветвленных тепловых сетей приведены в табл. VI. 5.

Таблица VI.5. Коэффициент α для определения суммарных эквивалентных длин местных сопротивлений

Тип компенсатора	D_y , мм	Коэффициент α	
		для паропроводов	для водопроводов и конденсатопроводов
Сальниковый	До 400	0,4	0,3
	450—1000	0,5	0,4
П-образный гладкий	До 150	0,5	0,3
	175—200	0,6	0,4
	250—300	0,8	0,6
П-образный сварной	175—250	0,8	0,6
	300—350	1	0,8
	400—500	1	0,9

Расчетные расходы теплоносителя

Расчетные часовые расходы сетевой воды на отопление и вентиляцию определяются по формулам, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$G_0 = \frac{Q \cdot 10^3}{c (\tau_1 - \tau_{20})}; \quad (\text{VI.47})$$

$$G_v = \frac{Q_v \cdot 10^3}{c (\tau_{1v} - \tau_{2v})}, \quad (\text{VI.48})$$

где Q_0 и Q_v — расход тепла, Гкал/ч ;

τ_1 и τ_{1v} — температура сетевой воды по отопительному графику в подающем трубопроводе соответственно при $t_{н.о}$ и $t_{н.в}$, $^{\circ}\text{C}$;

τ_{20} — температура воды от системы отопления при $t_{н.о}$;

τ_{2v} — то же, от системы вентиляции при $t_{н.в}$;

c — теплоемкость воды, принимаемая равной $1 \text{ ккал/кг, } ^{\circ}\text{C}$.

При повышенном или скорректированном графиках температур в тепловых сетях значение τ_{1v} берется по повышенному или скорректированному графикам.

При присоединении местных систем отопления и вентиляции по независимой схеме через водонагреватель температура воды в обратном трубопроводе сети после водонагревателя принимается на 10°C выше температуры воды в обратном трубопроводе от систем отопления и вентиляции при непосредственном присоединении.

Расчетный часовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение отдельными потребителями зависит от принятой системы теплоснабжения, схемы включения местных водонагревателей, а также от того, установлены ли у потребителей баки-аккумуляторы. При установке у потребителей баков-аккумуляторов расход сетевой воды определяется во всех случаях и для всех звеньев теплоснабжения по среднечасовому расходу тепла $Q_{г.ср}$.

При закрытой системе теплоснабжения зимний расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение $G_{г.расч}$ для магистральных и распределительных тепловых сетей, обслуживающих жилые районы с числом жителей более 6 000 чел., равен среднечасовому расходу $G_{г.ср}$ и определяется по формулам, $\text{м}^3/\text{ч}$:

при параллельной схеме

$$G_{г.расч} = G_{г.ср} = \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3}{c (\tau_1'' - \tau_3'')} ; \quad (\text{VI.49})$$

при предвключенной схеме

$$G_{г.расч} = G_{г.ср} = \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3}{c (\tau_1'' - \tau_{20}'')} ; \quad (\text{VI.50})$$

при двухступенчатой смешанной и двухступенчатой последовательной схемам и отопительном графике температур воды

$$G_{г.расч} = G_{г.ср} = \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3}{c (\tau_1'' - \tau_{20}'')} \frac{t_r - t_{п}}{t_r - t_{х.з}} . \quad (\text{VI.51})$$

При повышенном графике температур воды в зависимости от отношения среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение потребителей к их максимальному часовому расходу тепла на отопление при $\frac{Q_{г.ср}}{Q_0} \leq \left(\frac{Q_{г.ср}}{Q_0} \right)_T$

$$G_{г.расч} = 0 ; \quad (\text{VI.52})$$

при $\frac{Q_{г.ср}}{Q_0} > \left(\frac{Q_{г.ср}}{Q_0} \right)_T$

$$G_{г.р} = \frac{Q_0 \cdot 10^3}{c (\tau_{1п}'' - \tau_{20}'')} \times \frac{t_r - t_{п}}{t_r - t_{х.з}} \left[\frac{Q_{г.ср}}{Q_0} - \left(\frac{Q_{г.ср}}{Q_0} \right)_T \right] . \quad (\text{VI.53})$$

Здесь τ_1'' — температура сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети при $t_{н}''$, $^\circ\text{C}$;

τ_{20}'' — температура воды в обратном трубопроводе систем отопления при $t_{н}''$;

τ_3'' — температура сетевой воды после нагревателя горячего водоснабжения при $t_{н}''$; принимается обычно равной 30°C ;

$t_{п}$ — температура местной воды после первой ступени нагревателя горячего водоснабжения, принимается на $5 \div 10^\circ \text{C}$ ниже температуры τ_{20}'' ;

t_r — температура горячей воды после нагревателя горячего водоснабжения; принимается равной 60°C ;

$t_{х.з}$ — температура воды в сети холодного водопровода, принимается равной 5°C ;

$\tau_{1п}''$ — температура сетевой воды в подающем трубопроводе по повышенному графику при $t_{н}''$;

$\left(\frac{Q_{г.ср}}{Q_0}\right)_T$ — отношение среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение к максимальному часовому расходу тепла на отопление, принятое за основу при построении повышенного графика температур (для типового потребителя данного района).

Зимний максимальный часовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение $G_{г.макс}$ при параллельной и двухступенчатой смешанной схемах включения водонагревателей определяется по формулам (VI.49) и (VI.51), но вместо среднечасового в этих формулах принимается максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение.

При открытой системе теплоснабжения среднечасовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение определяется по формуле, $м/ч$:

$$G_{г.ср} = \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3}{c(t_g - t_{х.з})} \quad (VI.54)$$

Расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение для гидравлического расчета магистральных и распределительных сетей двухтрубных открытых систем теплоснабжения с одновременной подачей тепла на отопление и вентиляцию составляет

$$G_{г.расч} = 0,6G_{г.ср}, \quad (VI.55)$$

где $G_{г.ср}$ определяется по формуле (VI.54).

При расчете ответвлений к отдельным зданиям, а также распределительных сетей обслуживающих жилые районы с числом жителей до 6000 чел., расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение при установке баков-аккумуляторов у потребителей тепла определяется по формулам (VI.48) — (VI.51) и (VI.54), при отсутствии аккумуляторов — по тем же формулам с заменой $Q_{г.ср}$ на $Q_{г.макс}$.

В соответствии с требованиями СНиП II-36-73 для тепловых сетей открытых систем теплоснабжения следует дополнительно определять потери давления для следующих режимов:

при максимальном водоразборе из подающих трубопроводов, которому соответствуют расходы сетевой воды, определяемые по формулам:

$$G_{под} = G_0 + C_v + (2 \div 2,4) G_{г.ср}; \quad G_{обр} = G_0 + G_v; \quad (VI.56)$$

при максимальном водоразборе из обратных трубопроводов, которому соответствуют расходы сетевой воды, определяемые по формулам:

$$G_{под} = G_0 + G_v; \quad G_{обр} = G_0 + G_v - (2 \div 2,4) G_{г.ср}. \quad (VI.57)$$

Здесь $G_{под}$ и $G_{обр}$ — расходы сетевой воды соответственно в подающих и обратных трубопроводах.

Летний расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение составит, $м/ч$: при закрытой системе теплоснабжения

$$G_{г.л} = (1,3 \div 1,5) \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3}{c(\tau_{1л} - \tau_{3л})}; \quad (VI.58)$$

при открытой системе теплоснабжения в подающих трубопроводах

$$G_{г.л} = (1,3 \div 1,5) \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3}{c(t_g - t_{х.л})}, \quad (VI.59)$$

где $\tau_{1л}$ — температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети в летний период, $^{\circ}C$;

$\tau_{3л}$ — температура сетевой воды после местного водоподогревателя в летний период;

$t_{х.л}$ — температура водопроводной воды в летний период.

Летний расчетный часовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение в обратном трубопроводе открытых систем теплоснабжения принимается в размере 20% соответствующего расчетного расхода сетевой воды в подающем трубопроводе.

Гидравлический расчет трубопроводов

Гидравлические расчеты трубопроводов для выбора диаметров труб производятся на расчетные суммарные зимние расходы теплоносителя.

Удельные потери давления для участков магистральных водяных тепловых сетей до наиболее удаленного потребителя рекомендуется принимать не выше $8 \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}$. Для ответвлений от расчетной магистрали (распределительные и квартальные сети) удельные потери давления принимаются по располагаемому перепаду давления, но не более $30 \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}$.

Гидравлический расчет трубопроводов производят по таблицам или номограммам. Табл. VI.6 разработана Теплоэлектропроектом для следующих условий: температура воды $t = 100^\circ \text{C}$, плотность $\rho = 958,4 \text{ кг/м}^3$, эквивалентная шероховатость труб $k_3 = 0,5 \text{ мм}$, кинематическая вязкость воды $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$. При других значениях внутренних диаметров труб и эквивалентных шероховатостей значения удельных потерь давления могут быть пересчитаны по формулам, $\text{кгс/см}^2 \cdot \text{м}$:

$$R' = R \left(\frac{D_B}{D'_B} \right)^{5,25}; \quad R' = R \sqrt[4]{\frac{k'_3}{k_3}}. \quad (\text{VI.60})$$

Пример VI.5. Определить расход теплоносителя, диаметры труб и потери давления двухтрубной закрытой и открытой тепловой сети. Расчетные температуры наружного воздуха и теплоносителя: $t_{н.о} = -22$, $t_{н.в} = -10$, $\tau_1 = 150$, $\tau_{20} = 70$, $\tau_{1в} = 114,5$, $\tau_{2в} = 58,5^\circ \text{C}$. В точке излома температурного графика для закрытой системы $\tau''_1 = 70$, $\tau''_{20} = 42,5^\circ \text{C}$, для открытой системы $\tau''_{20} = 60^\circ \text{C}$. Расчетные расходы тепла отдельными группами потребителей и длины участков от котельной K до потребителей №№ 1 ÷ 5 приведены в табл. VI.7. Бойлеры горячего водоснабжения присоединены по двухступенчатой смешанной схеме (закрытая система). Удельные потери давления приняты до $8 \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}$, а недогрев воды в нижней ступени нагревателя — $\Delta t''_н = 10^\circ \text{C}$. Коэффициент α для определения длины, эквивалентной местным сопротивлениям равен 0,3.

Расчетные расходы теплоносителя потребителем № 1 на отопление и вентиляцию определяем по формулам (VI.47) и (VI.48):

$$G_o = \frac{5 \cdot 10^3}{(150 - 70) \cdot 1} = 62,5 \text{ т/ч};$$

$$G_v = \frac{0,2 \cdot 10^3}{(114,5 - 58,5)} = 3,6 \text{ т/ч}.$$

Расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение потребителем № 1 при закрытой системе определяем по формуле (VI.51)

$$G_{г.расч} = \frac{1,3 [60 - (42,5 - 10)] \cdot 10^3}{(70 - 42,5) (60 - 5) \cdot 1} = 28,4 \text{ т/ч};$$

при открытой системе теплоснабжения для среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение по формуле (VI.55)

$$G_{г.расч} = 0,6 \frac{1,3 \cdot 10^3}{(10 - 5) \cdot 1} = 14,2 \text{ т/ч};$$

для максимального часового расхода тепла на горячее водоснабжение

$$G_{г.макс} = 2 \cdot \frac{1,3 \cdot 10^3}{(60 - 5) \cdot 1} = 47,3 \text{ т/ч}.$$

Аналогично определяются расходы теплоносителя остальными потребителями (табл. VI.7).

Таблица VI.6. Удельные потери давления в трубопроводах водяных тепловых сетей ($k_3 = 0,5$ мм, $\rho = 958,4$ кгс/м³)

G, т/ч	$D_n \times s, \text{мм}$											
	45 × 2,5		57 × 3,5		76 × 3,5		89 × 3,5		108 × 4		133 × 4	
	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$
3,5	0,81	32,6	0,52	9,88	0,27	1,82	0,19	0,71	0,13	0,27		
3,6	0,83	34,4	0,53	10,4	0,28	1,92	0,2	0,75	0,13	0,28		
3,7	0,85	36,4	0,55	11	0,29	2,02	0,2	0,79	0,14	0,29		
3,8	0,88	38,4	0,56	11,6	0,29	2,13	0,21	0,83	0,14	0,31		
3,9	0,9	40,4	0,58	12,3	0,3	2,22	0,21	0,88	0,14	0,33		
4	0,92	42,5	0,59	12,6	0,31	2,33	0,22	0,92	0,15	0,34		
4,2	0,97	46,9	0,62	14,2	0,33	2,48	0,23	1,01	0,16	0,38		
4,4	1,02	51,4	0,65	15,6	0,34	2,81	0,24	1,11	0,16	0,41	0,1	0,13
4,6	1,06	56,2	0,68	17,1	0,36	3,07	0,25	1,21	0,17	0,45	0,11	0,14
4,8	1,11	61,2	0,71	18,6	0,37	3,34	0,26	1,32	0,18	0,49	0,11	0,15
5	1,15	66,4	0,74	20,2	0,39	3,62	0,27	1,43	0,18	0,53	0,12	0,17
5,2	1,2	71,9	0,77	21,8	0,4	3,92	0,29	1,54	0,19	0,57	0,12	0,18
5,4	1,25	77,5	0,8	23,5	0,42	4,23	0,3	1,66	0,2	0,61	0,13	0,19
5,6	1,29	83,3	0,83	25,7	0,43	4,54	0,31	1,78	0,21	0,65	0,13	0,2
5,8	1,34	89,4	0,86	27,1	0,45	4,87	0,32	1,91	0,21	0,7	0,14	0,22
6	1,39	95,7	0,89	29	0,47	5,22	0,33	2,04	0,22	0,75	0,14	0,23
6,2	1,43	102,1	0,92	31	0,48	5,57	0,34	2,22	0,23	0,8	0,15	0,25
6,4			0,95	33	0,5	5,94	0,35	2,37	0,24	0,85	0,15	0,26
6,6			0,98	35,1	0,51	6,31	0,36	2,52	0,24	0,9	0,16	0,28
6,8			1	37,3	0,53	6,7	0,37	2,68	0,25	0,95	0,16	0,31
7			1,03	39,5	0,54	7,1	0,38	2,84	0,26	1,01	0,17	0,32
7,5			1,11	45,4	0,58	8,15	0,41	3,26	0,28	1,15	0,18	0,37
8			1,18	51,6	0,62	9,27	0,44	3,7	0,3	1,3	0,19	0,42
8,5			1,26	58,3	0,66	10,5	0,47	4,18	0,31	1,46	0,2	0,47
9			1,33	65,3	0,7	11,7	0,49	4,69	0,33	1,64	0,21	0,52
9,5			1,4	72,8	0,74	13,1	0,52	5,22	0,35	1,82	0,22	0,58
10			1,48	80,6	0,78	14,5	0,55	5,79	0,37	2,02	0,24	0,64
10,5			1,55	88,9	0,81	16	0,58	6,38	0,39	2,22	0,25	0,7
11			1,63	97,6	0,85	17,5	0,6	7	0,41	2,44	0,26	0,77
11,5			1,7	106,6	0,89	19,2	0,63	7,65	0,42	2,67	0,27	0,84
12					0,93	20,9	0,66	8,33	0,44	2,91	0,28	0,9
12,5					0,97	22,6	0,69	9,04	0,46	3,15	0,3	0,98
13					1,01	24,5	0,71	9,78	0,48	3,41	0,31	1,06
13,5					1,05	26,4	0,74	10,5	0,5	3,68	0,32	1,13
14					1,09	28,4	0,77	11,3	0,52	3,96	0,33	1,21
14,5					1,12	30,5	0,8	12,2	0,54	4,24	0,34	1,3
15					1,16	32,6	0,82	13	0,55	4,54	0,35	1,39
16					1,24	37,1	0,88	14,8	0,59	5,17	0,38	1,58
17					1,32	41,9	0,93	16,7	0,63	5,83	0,4	1,79
18					1,4	46,9	0,99	18,8	0,66	6,54	0,43	2,01
19					1,47	52,3	1,04	20,9	0,7	7,29	0,45	2,23
20					1,55	58	1,1	23,2	0,74	8,08	0,47	2,48
21					1,63	63,9	1,15	25,5	0,78	8,9	0,5	2,73
22					1,71	70,1	1,21	28	0,81	9,77	0,52	3
23					1,78	76,7	1,26	30,6	0,85	10,7	0,54	3,27
24					1,86	83,5	1,32	33,3	0,89	11,6	0,57	3,57
25					1,94	90,6	1,37	36,2	0,92	12,6	0,59	3,87

G, m/ч	D _H × s, мм											
	89 × 3,5		108 × 4		133 × 4		159 × 4,5		194 × 5		219 × 6	
	ω, м/с	R, кгс/м ² ·м	ω, м/с	R, кгс/м ² ·м	ω, м/с	R, кгс/м ² ·м	ω, м/с	R, кгс/м ² ·м	ω, м/с	R, кгс/м ² ·м	ω, м/с	R, кгс/м ² ·м
26	1,43	39,1	0,96	13,6	0,62	4,19	0,43	1,6	0,28	0,55		
27	1,48	42,4	1	14,7	0,64	4,51	0,44	1,72	0,29	0,59		
28	1,54	45,4	1,03	15,8	0,66	4,85	0,46	1,85	0,31	0,64		
29	1,59	48,7	1,07	17	0,69	5,21	0,48	1,99	0,32	0,68		
30	1,65	52,1	1,11	18,2	0,71	5,57	0,49	2,12	0,33	0,73		
31	1,7	55,6	1,15	19,4	0,73	5,95	0,51	2,27	0,34	0,77		
32	1,76	59,3	1,18	20,7	0,76	6,34	0,53	2,42	0,35	0,82		
33	1,81	63	1,22	22	0,78	6,74	0,54	2,57	0,36	0,87		
34	1,87	66,9	1,26	23,3	0,8	7,16	0,56	2,73	0,37	0,93		
35	1,92	70,9	1,29	24,7	0,83	7,58	0,57	2,89	0,38	0,98		
36	1,98	75	1,33	26,2	0,85	8,02	0,59	3,06	0,39	1,04		
37	2,03	79,2	1,37	27,6	0,87	8,48	0,61	3,23	0,4	1,1		
38	2,09	83,6	1,4	29,2	0,9	8,94	0,62	3,41	0,41	1,16		
39			1,44	30,7	0,92	9,42	0,64	3,59	0,43	1,22	0,34	0,66
40			1,48	32,3	0,95	9,91	0,66	3,78	0,44	1,28	0,35	0,69
41			1,51	33,9	0,97	10,4	0,67	3,97	0,45	1,35	0,35	0,72
42			1,55	35,6	0,99	10,9	0,69	4,16	0,46	1,42	0,36	0,76
43			1,59	37,3	1,02	11,4	0,71	4,36	0,47	1,48	0,37	0,8
44			1,63	39,1	1,04	12	0,72	4,57	0,48	1,55	0,38	0,83
45			1,66	40,9	1,06	12,5	0,74	4,78	0,49	1,62	0,39	0,87
46			1,7	42,7	1,09	13,1	0,76	4,99	0,5	1,7	0,4	0,91
47			1,74	44,6	1,11	13,7	0,77	5,21	0,51	1,77	0,41	0,95
48			1,77	46,5	1,13	14,3	0,79	5,44	0,52	1,85	0,41	0,99
49			1,81	48,5	1,16	14,9	0,8	5,67	0,53	1,93	0,42	1,04
50			1,85	50,5	1,18	15,5	0,82	5,90	0,55	2,01	0,43	1,08
52			1,92	54,6	1,23	16,7	0,85	6,38	0,57	2,17	0,45	1,17
54			1,99	58,9	1,28	18,1	0,89	6,88	0,59	2,34	0,47	1,26
56			2,07	63,3	1,32	19,4	0,92	7,4	0,61	2,52	0,48	1,35
58			2,14	67,9	1,37	20,8	0,95	7,94	0,63	2,7	0,5	1,45
60			2,22	72,7	1,42	22,3	0,98	8,5	0,65	2,89	0,52	1,55
62			2,29	77,6	1,47	23,8	1,02	9,07	0,68	3,08	0,53	1,66
64			2,36	82,7	1,51	25,4	1,05	9,67	0,7	3,29	0,55	1,77
66			2,44	87,9	1,56	27	1,08	10,3	0,72	3,5	0,57	1,88
68			2,51	93,4	1,61	28,6	1,12	10,9	0,74	3,71	0,59	1,99
70			2,59	98,9	1,65	30,3	1,15	11,6	0,76	3,93	0,6	2,11
72			2,66	104,7	1,7	32,1	1,18	12,2	0,79	4,16	0,62	2,23
74					1,75	33,9	1,21	12,9	0,81	4,39	0,64	2,36
76					1,8	35,8	1,25	13,6	0,83	4,63	0,66	2,49
78					1,84	37,7	1,28	14,4	0,85	4,88	0,67	2,62
80					1,89	39,6	1,31	15,1	0,87	5,14	0,69	2,76
85					2,01	44,7	1,4	17,1	0,93	5,8	0,73	3,11
90					2,13	51	1,48	19,1	0,98	6,5	0,78	3,49
95					2,25	55,9	1,56	21,3	1,04	7,24	0,82	3,89
100					2,36	61,9	1,64	23,6	1,09	8,02	0,86	4,31
105					2,48	68,3	1,72	26	1,15	8,55	0,91	4,75
110					2,6	74,9	1,81	28,6	1,2	9,71	0,95	5,22
115					2,72	81,9	1,89	31,2	1,25	10,6	0,99	5,7
120					2,84	89,1	1,97	34	1,31	11,6	1,03	6,21
125					2,95	96,7	2,05	36,9	1,36	12,5	1,08	6,74
130					3,07	104,6	2,13	39,9	1,42	13,6	1,12	7,29

G, т/ч	$D_H \times s, \text{мм}$											
	194 × 5		219 × 6		273 × 7		325 × 8		377 × 9		426 × 7	
	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$	$w, \text{м/с}$	$R, \text{кгс/м}^2 \cdot \text{м}$
135							0,52	0,95	0,39	0,43	0,29	0,22
140							0,54	1,03	0,4	0,47	0,3	0,23
145							0,56	1,1	0,42	0,5	0,32	0,25
150							0,58	1,18	0,43	0,53	0,33	0,27
155							0,6	1,26	0,44	0,57	0,34	0,28
160							0,62	1,34	0,46	0,61	0,35	0,3
165							0,64	1,42	0,47	0,65	0,36	0,31
170							0,66	1,51	0,49	0,69	0,37	0,33
175							0,68	1,6	0,5	0,73	0,38	0,35
180							0,7	1,69	0,52	0,77	0,39	0,37
190							0,74	1,89	0,54	0,86	0,41	0,42
200							0,77	2,09	0,57	0,95	0,44	0,46
210	2,29	35,4	1,81	19	1,16	5,84	0,81	2,31	0,6	1,05	0,46	0,51
220	2,4	38,8	1,9	20,9	1,21	6,41	0,85	2,53	0,63	1,15	0,48	0,56
230	2,51	42,4	1,98	22,8	1,27	7	0,89	2,77	0,66	1,26	0,5	0,61
240	2,62	46,2	2,07	24,8	1,32	7,63	0,93	3,01	0,69	1,37	0,52	0,66
250	2,73	50,2	2,16	26,9	1,38	8,27	0,97	3,27	0,72	1,49	0,54	0,72
260	2,84	54,2	2,24	29,1	1,43	8,95	1,01	3,54	0,75	1,61	0,57	0,78
270	2,95	58,5	2,33	31,4	1,49	9,65	1,04	3,81	0,77	1,73	0,59	0,84
280	3,05	62,9	2,41	33,8	1,54	10,4	1,08	4,1	0,8	1,86	0,61	0,9
290	3,16	67,5	2,5	36,3	1,6	11,1	1,12	4,4	0,83	2	0,63	0,97
300	3,27	72,2	2,59	38,8	1,65	11,9	1,16	4,71	0,86	2,14	0,65	1,04
320			2,76	44,1	1,76	13,6	1,24	5,36	0,92	2,43	0,7	1,18
340			2,93	49,8	1,87	15,3	1,32	6,05	0,97	2,75	0,74	1,33
360			3,10	55,9	1,98	17,2	1,39	6,78	1,03	3,08	0,78	1,5
380			3,28	62,3	2,09	19,1	1,47	7,55	1,09	3,43	0,83	1,67
400			3,45	69,0	2,2	21,2	1,55	8,37	1,15	3,8	0,87	1,85
420			3,62	76,0	2,31	23,4	1,62	9,23	1,2	4,19	0,91	2,04
440			3,79	83,5	2,42	25,6	1,7	10,1	1,26	4,6	0,96	2,23
460			3,97	91,2	2,53	28	1,78	11,1	1,32	5,03	1	2,44
480			4,14	99,3	2,64	30,5	1,86	12	1,38	5,48	1,04	2,66
500					2,75	34	1,93	13,1	1,43	5,94	1,09	2,88
520					2,86	36,8	2,01	14,1	1,49	6,43	1,13	3,12
540					2,97	39,6	2,09	15,3	1,55	6,93	1,18	3,36
560					3,08	42,6	2,17	16,4	1,6	7,46	1,22	3,62
580					3,19	45,6	2,24	17,6	1,66	8	1,26	3,88
600					3,3	48,8	2,32	18,8	1,72	8,56	1,31	4,15
620					3,41	50,9	2,4	20,1	1,78	9,14	1,35	4,43
640					3,52	54,2	2,48	21,4	1,83	9,74	1,39	4,73
660					3,63	57,7	2,55	22,8	1,89	10,4	1,44	5,03
680					3,74	61,2	2,63	24,2	1,95	11	1,48	5,33
700					3,85	64,9	2,71	25,6	2,01	11,7	1,52	5,65
720					3,96	68,6	2,79	27,1	2,06	12,3	1,57	5,98
740					4,07	72,5	2,86	28,6	2,12	13	1,61	7,32
760					4,18	76,5	2,94	30,2	2,18	13,7	1,65	6,66
780					4,29	80,5	3,02	31,8	2,24	14,5	1,7	7,02
800					4,41	84,7	3,09	33,5	2,29	15,2	1,74	7,38

Таблица VI.7. Расчетные расходы тепла и сетевой воды по отдельным группам потребителей

Номер потреби- теля	Расход тепла, Гкал/ч				Расход сетевой воды, т/ч							
	Q_0	Q_B	$Q_{Г\text{ ср}}$	ΣQ	G_0	G_B	$G_{Г\text{ ср}}$	$0,6G_{Г\text{ ср}}$	$2G_{Г\text{ ср}}$	$\Sigma G_{\text{закр}}$	$\Sigma G_{\text{откр}}$	$\Sigma G_{\text{макс}}$
1	5	0,2	1,3	6,5	62,5	3,6	28,4	14,2	47,3	94,5	80,3	113,4
2	10	0,5	2,6	13,1	125	9	56,8	28,4	94,6	190,8	162,4	228,6
3	4	0,2	1,1	5,3	50	3,6	24	12	40	77,6	65,6	93,6
4	7	0,4	1,8	9,2	87,5	7,2	39,3	19,6	65,5	134	114,3	160,2
5	10	0,5	2,6	13,1	125	9	56,8	28,4	94,6	191	162,4	228,6
Ито- го	36	1,8	9,4	47,2	450	32,4	205,3	102,6	342	687,9	585	824,4

Часовой расход сетевой воды на участке 4—5 находится суммированием соответствующих расходов на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение:

расчетный расход при закрытой системе

$$G_{4-5} = 125 + 9 + 56,8 = 191 \text{ т/ч};$$

расчетный расход при открытой системе

$$G_{4-5} = 125 + 9 + 28,4 = 162,4 \text{ т/ч};$$

расход при открытой системе и максимальном водоразборе из подающего трубопровода по формулам (VI.56)

$$G_{\text{под}} = 125 + 9 + 94,6 = 229 \text{ т/ч}; \quad G_{\text{обр}} = 125 + 9 = 134 \text{ т/ч},$$

расход при открытой системе и максимальном водоразборе из обратного трубопровода по формулам (VI.57)

$$G_{\text{под}} = 125 + 9 = 134 \text{ т/ч}; \quad G_{\text{обр}} = 125 + 9 - 94,6 = 40 \text{ т/ч}.$$

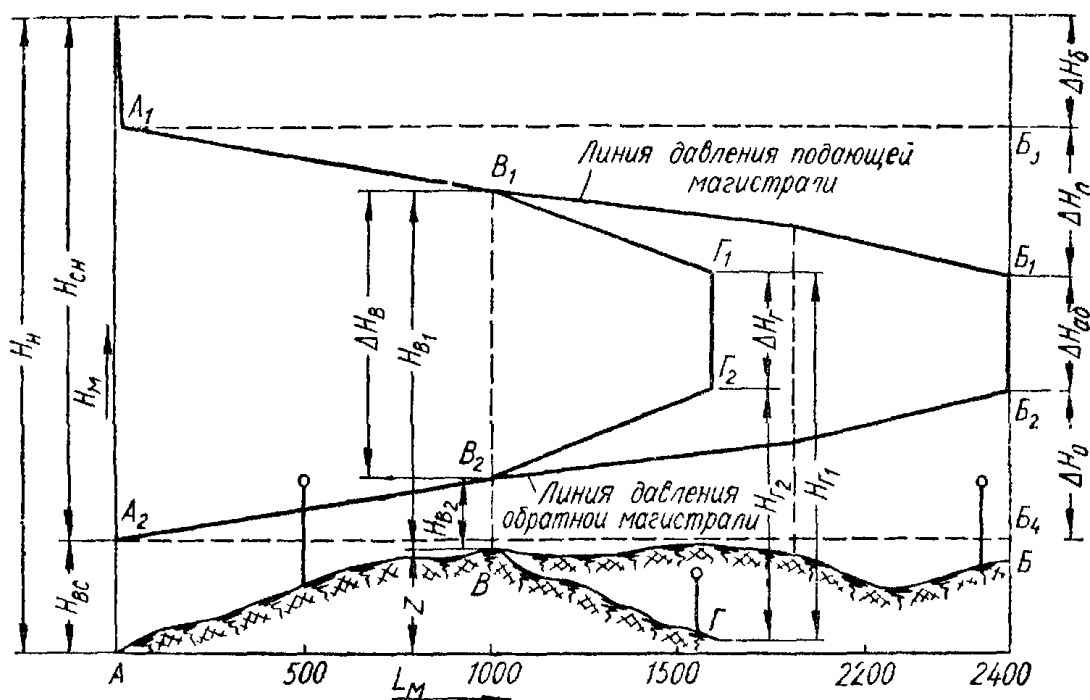
Аналогично определяем расходы по остальным участкам. Гидравлический расчет трубопроводов приведен в табл. VI.8.

Пьезометрический график

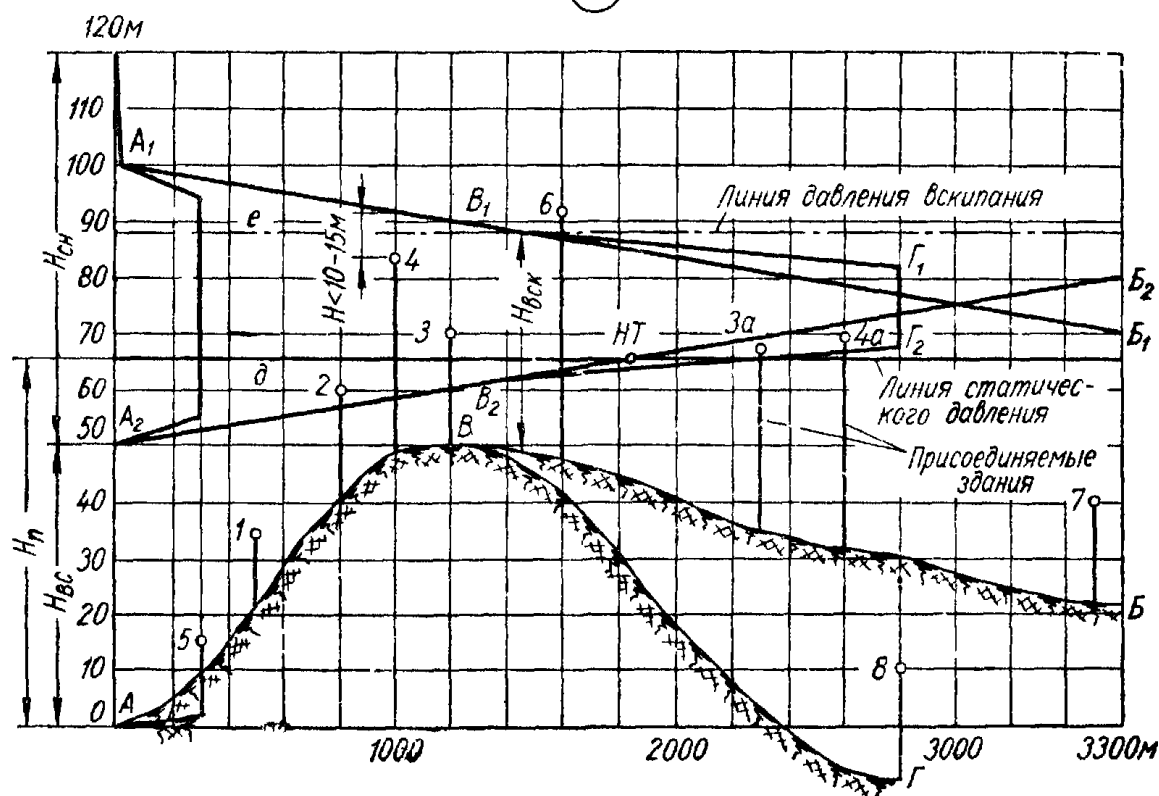
При проектировании и эксплуатации разветвленных тепловых сетей для учета взаимного влияния профиля района, высоты абонентских систем, потери давления в тепловой сети пользуются пьезометрическим графиком. По пьезометрическому графику можно легко определить давление и располагаемый перепад давлений в любой точке сети и абонентской системе.

Построение пьезометрического графика (лист VI.2, рис. 1) производится следующим образом. За начало координат рекомендуется принимать оси сетевых насосов. Приняв эту точку за условный нуль, строят профиль местности по трассе основной магистрали и по характерным ответвлениям, отметки которых отличаются от отметок основной магистрали. На профиле вычерчивают в масштабе высоты присоединяемых зданий. Предварительно напор на всасывающей стороне сетевых насосов $H_{\text{вс}}$ принимают равным 10—15 м и наносят горизонталь A_2B_4 . От точки A_2 откладывают по оси абсцисс длины расчетных участков теплопроводов (с нарастающим итогом), а по оси ординат из конечных точек — потери напора $\Sigma \Delta H$. Соединив верхние точки этих отрезков, получают линию A_2B_2 , которая и будет пьезометрической линией обратной магистрали. Каждый вертикальный отрезок от условного уровня A_2B_4 до пьезометрической линии A_2B_2 дает потери напора в обратной магистрали от насосной до соответствующей точки. От точки B_2 откладывают вверх необходимый располагаемый напор в конце магистрали $\Delta H_{\text{аб}}$, который принимается равным 15—25 м и более. Полученный отрезок B_2B_1 характеризует напор в конце подающей

1



2



Лист VI.2. Пьезометрический график:

1 — построение графика; 2 — пьезометрический график двухтрубной водяной сети.

Таблица VI.8. Гидравлический расчет трубопроводов (к примеру VI.5)

Номер участ- ка	Длина, м			$D_n \times s, \text{ мм}$	$w, \text{ м/с}$	Потери давления		Потери на по- ра $\Sigma \Delta H$ м вод. ст	
	$G, \text{ т/ч}$	l	l_3			$i + l_3$	$R, \text{ кгс/м}^2 \cdot \text{м}$		$\Delta p, \text{ кгс/м}^2$
Закрыва́тая система									
$K-1$	688	500	150	650	1,49	5,4	3510	3,51	
$1-2$	593	300	90	390	1,29	4	1560	5,07	
$2-3$	403	400	120	520	1,15	3,8	1975	7,05	
$3-4$	325	500	150	650	1,25	5,4	3510	10,56	
$4-5$	191	400	120	520	1,05	4,8	2490	13,05	
Откры́тая система; $G_{\text{расч}}$ по формуле (VI.55)									
$K-1$	585	500	150	650	1,66	8	5200	5,2	
$1-2$	505	300	90	390	1,43	5,95	2320	7,52	
$2-3$	342	400	120	520	1,32	6	3120	10,64	
$3-4$	276	500	150	650	1,04	3,9	2530	13,17	
$4-5$	176	400	120	520	0,88	3,35	1740	14,91	
Откры́тая система; $G_{\text{под}}$ по формуле (VI.56)									
$K-1$	825	500	150	650	2,42	16,2	10 530	10,53	
$1-2$	711	300	90	390	2,06	12,3	4800	15,33	
$2-3$	483	400	120	520	1,86	12	6200	21,53	
$3-4$	389	500	150	650	1,5	7,9	5160	26,69	
$4-5$	229	400	120	520	1,27	7	3640	30,33	
Откры́тая система; $G_{\text{обр}}$ по формуле (VI.56)									
$K-1$	482	500	150	650	1,38	5,5	3570	3,57	
$1-2$	416	300	90	390	1,18	4,1	1600	5,17	
$2-3$	282	400	120	520	1,08	4,1	2130	7,3	
$3-4$	229	500	150	650	0,89	2,77	1800	9,1	
Откры́тая система; $G_{\text{обр}}$ по формуле (VI.57)									
$K-1$	140	500	150	650	0,4	0,47	310	0,31	
$1-2$	122	300	90	390	0,34	0,33	130	0,44	
$2-3$	82	400	120	520	0,31	0,35	180	0,62	
$3-4$	69	500	150	650	0,26	0,2	130	0,75	
$4-5$	40	400	120	520	0,22	0,23	120	0,87	

магистральной. От точки B_1 откладывают вверх потерю напора в подающем трубопроводе ΔH_n и проводят горизонтальную линию A_1B_3 . От линии A_1B_3 откладывают (вниз) потери напора по подающей линии от источника тепла до конца отдельных расчетных участков и строят аналогично предыдущему пьезометрическую линию A_1B_1 подающей магистрали. При закрытых системах и равных диаметрах труб подающей и обратной линий пьезометрическая линия A_1B_1 является зеркальным отображением линии A_2B_2 . От точки A_1 откладывается вверх потеря напора в бойлерной ТЭЦ или котельной ΔH_6 ($10 \div 20$ м).

Построенный таким образом пьезометрический график позволяет легко установить давление в любой точке подающего и обратного трубопроводов. Оно определяется величиной отрезка между данной точкой и линией давления (в подающем или обратном трубопроводе).

При непосредственном присоединении местных систем обратный трубопровод теплосети гидравлически соединен с местной системой. Поэтому давление в обратном трубопроводе целиком передается местной системе и наоборот.

При первоначальном построении пьезометрического графика напор на всасывающей стороне сетевых насосов $H_{вс}$ был принят произвольным. Перемещение пьезометрического графика параллельно вверх или вниз позволяет принять любые давления на всасывающей стороне сетевых насосов и соответственно в местных системах. Выбор положения пьезометрического графика производится исходя из следующих условий:

давление в любой точке обратной магистрали не должно быть выше допустимого рабочего давления в местных системах. Для новых систем отопления рабочее давление 6, для старых, оборудованных радиаторами «Гамма», «Польза» и др. — 5 кгс/см^2 ;

давление в обратном трубопроводе должно обеспечить залив верхних приборов местных систем отопления;

напор в обратной магистрали во избежание образования вакуума не должен быть ниже $5 \div 10$ м вод. ст.;

напор на всасывающей стороне сетевого насоса не должен быть ниже 5 м вод. ст.;

давление в любой точке подающего трубопровода должно быть выше давления вскипания при максимальной (расчетной) температуре теплоносителя;

располагаемый напор в конечной точке сети должен быть равен или больше расчетной потери напора на абонентском вводе при расчетном пропуске теплоносителя.

В большинстве случаев как при закрытой, так и при открытой системе теплоснабжения перемещением пьезометра вверх или вниз не представляется возможным установить такой гидравлический режим в протяженных тепловых сетях, при котором все подключаемые местные системы отопления могли бы быть присоединены по самой простой зависимой схеме. В этом случае следует ориентироваться на установку на вводах у потребителей в первую очередь регуляторов подпора, насосов на перемычке, на обратной или подающей линиях ввода или выбрать присоединение по независимой схеме с установкой у потребителей отопительных водоводяных подогревателей (бойлеров).

На пьезометрическом графике необходимо нанести положение линии статического давления в тепловых сетях. При остановке сетевых насосов давление в подающем и обратном трубопроводах выравнивается. График давлений в сети при этом режиме (статическое состояние) изображается прямой горизонтальной линией.

Статическое давление в системе может быть установлено либо по высшей точке трубопровода местной системы отопления, присоединенной к тепловым сетям по зависимой схеме, либо по давлению паров перегретой воды в высшей точке трубопровода с перегретой водой. Большее из этих давлений и определяет уровень статического давления.

Аварийная остановка системы при температуре в подающем трубопроводе тепловой сети выше 100°C не учитывается.

Пьезометрический график при открытой системе теплоснабжения для отопительного периода разрабатывается для трех режимов: при расчетном расходе воды и при режимах максимального водоразбора из подающего и обратного трубопроводов.

Гидравлический режим

При проектировании и эксплуатации тепловых сетей необходимо учитывать, что расход теплоносителя в сетях никогда не бывает постоянным, даже при так называемом качественном регулировании отпуска тепла. Присоединение новых

потребителей обычно происходит в течение всего отопительного периода. В осеннее и весеннее время присоединение и отключение потребителей занимают от 2 до 3 недель в зависимости от мощности системы. Возникает резко переменный расход тепла на горячее водоснабжение и бытовую вентиляцию. Вследствие этого должен быть разработан режим работы сети, начиная от максимального расчетного расхода тепла до минимального и до статического состояния.

Кроме того, в сети всегда имеются утечки теплоносителя через фланцевые соединения, сальники, в абонентских системах, а также имеет место непосредственный водоразбор при открытых системах теплоснабжения. Для обеспечения надежной работы тепловых сетей и местных систем необходимо ограничить возможные изменения давлений в тепловой сети допустимыми пределами. Для поддержания требуемого уровня давления в тепловой сети и местных системах в одной точке тепловой сети (а при сложных условиях рельефа — в нескольких точках) искусственно сохраняют постоянное давление при всех режимах работы сети и при статическом состоянии.

Точки, в которых давление поддерживается постоянным, называются нейтральными точками системы. Как правило, закрепление давления осуществляется на обратной линии; нейтральная точка располагается в месте пересечения обратного пьезометра с линией статического давления.

Поддержание постоянного давления в нейтральной точке, а также компенсация утечки теплоносителя в большинстве случаев осуществляется путем подпитки тепловой сети на ТЭЦ или в котельной. На линии подпитки устанавливаются автоматы подпитки, работающие по принципу регуляторов «после себя». При наличии дополнительных нейтральных точек на трассе постоянное давление в них поддерживается путем дросселирования, причем регуляторы работают по принципу «до себя».

Напор сетевых насосов принимается равным сумме гидравлических потерь давления при максимальном (расчетном) расходе воды: в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, в системе абонента (включая узел ввода в здание), в бойлерной установке ТЭЦ или в котельной. Напор подпиточных насосов определяется принятым в проекте статическим давлением.

Должно быть установлено не менее двух сетевых и двух подпиточных насосов; один насос из каждой пары должен быть резервным.

В закрытых системах водяных тепловых сетей расчетный часовой расход подпиточной умягченной деаэрированной воды принимается равным 0,5% от объема воды в трубопроводах тепловых сетей и присоединенных к ним по зависимой (непосредственной) схеме местных систем потребителей. При этом обеспечивается возможность временной (аварийной) подпитки технической водой в количестве до 2% от объема воды в системе.

В открытых системах теплоснабжения расчетный часовой расход подпиточной воды на ТЭЦ в котельных принимается равным сумме среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение за неделю и расхода воды на компенсацию утечки в размере 0,5% от объема воды в трубопроводах тепловых сетей и присоединенных к ним местных систем. Производительность рабочих подпиточных насосов и всех устройств, связанных с подачей подпиточной воды из баков-аккумуляторов в тепловую сеть, принимается равной сумме максимального часового расхода воды на бытовое горячее водоснабжение и расхода воды на компенсацию утечки.

Объем воды в трубопроводах тепловых сетей и местных системах отопления и вентиляции определяется по удельным объемам, приведенным в табл. VI.9 и VI.10.

Удельный объем воды в местных системах горячего водоснабжения принимают равным 6 м³ на 1 Гкал/ч среднечасовой нагрузки горячего водоснабжения.

Таблица VI.9. Удельная емкость трубопроводов V , м³/км, в зависимости от диаметра условного прохода D_y , мм

D_y	V	D_y	V	D_y	V	D_y	V	D_y	V
25	0,57	70	3,74	150	17,7	300	75	500	210
32	0,86	80	5,28	175	26,6	350	101	600	298
40	1,26	100	7,85	200	33,7	400	135	700	392
50	1,96	125	12,3	250	52,7	450	171	800	508

Таблица VI.10. Удельная емкость местных систем V, м³/км *

Характеристика теплового оборудования системы	Перепад температур, °С				
	95—70	110—70	130—70	140—70	150—70
Система отопления, оборудованная радиаторами высотой 500 мм	19,5	17,6	15,1	14,6	13,3
То же, оборудованная ребристыми трубами	14	12,8	11,6	10,4	9,2
То же, с конвекторами плинтусными и панельными	9,2	6	4	3,5	3
То же, оборудованная регистрами из гладких труб	37	32	27	26	24
Отопительно-вентиляционная система, оборудованная калориферами	8,5	7,5	6,5	6	5,5

При отсутствии точных данных о типе нагревательных приборов допускается ориентировочно принимать удельный объем воды в местных системах отопления зданий по всему объекту на 1 Гкал/ч суммарного расчетного часового расхода тепла для жилых районов 30 м³, для промышленных предприятий — 15 м³.

Суммарный объем воды в системе теплоснабжения допускается ориентировочно принимать на 1 Гкал/ч суммарного расчетного расхода тепла для жилых районов 45—50 м³, для промышленных предприятий 25—35 м³.

**Требования, предъявляемые к воде для подпитки тепловых сетей
при максимальной температуре теплоносителя
101÷200°С (СНиП II-36-73**)**

Растворенный кислород, мг/кг	0,05
Взвешенные вещества, мг/кг	5
Карбонатная жесткость, мг-экв/кг	0,7
Значение pH	7 ÷ 9
Остаточная общая жесткость при использовании воды для продувки котлов (допускается только в закрытых системах), мг-экв/кг	0,05
Свободная углекислота	0
Условная сульфатнокальциевая жесткость . . .	В пределах, исключающих выпадение из растворов CaSO ₄

ПРИСОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ ТЕПЛА К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Выбор схем присоединения потребителей к тепловым сетям зависит в основном от пьезометрических напоров в отдельных точках тепловой сети при динамическом и статическом ее состоянии.

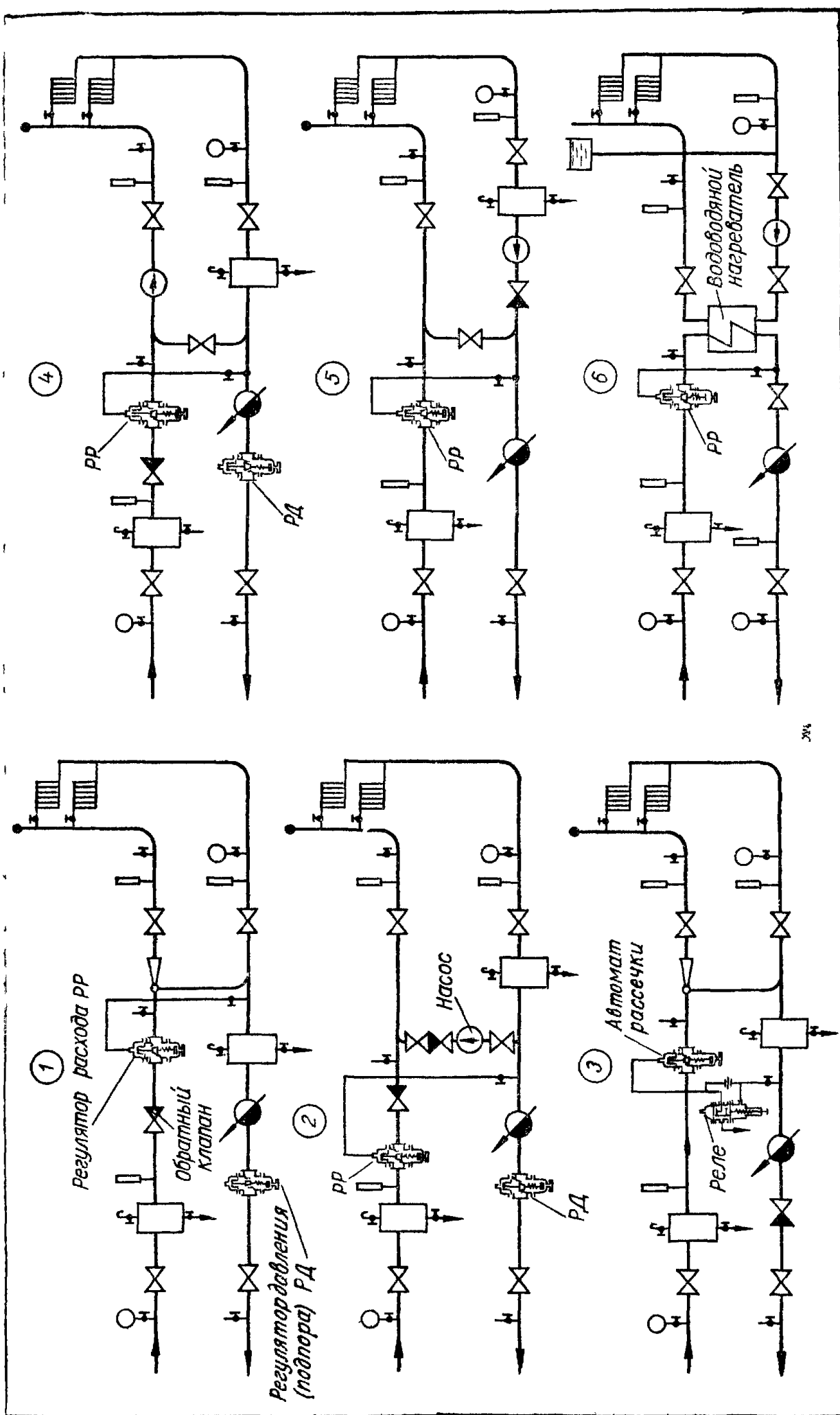
Для разработки проекта присоединения необходимо получить технические условия от теплоснабжающей или ведущей проектной организации, которая выполняет проект магистральных и распределительных тепловых сетей. В технических условиях должны быть указаны место присоединения абонентского ответвления, давление в подающей и обратной магистралях тепловой сети, статическое давление, а также возможные пределы колебания этих давлений, расчетный график температур в сети, принципиальная схема присоединения горячего водоснабжения, тепловые нагрузки, которые должны быть учтены в проекте абонентского ответвления.

Местные системы отопления могут быть присоединены к тепловым сетям по независимой и зависимой схемам.

Наиболее простым и удобным в эксплуатации является присоединение по **з а в и с и м о й** схеме. Для применения такой схемы необходимо, чтобы давление в

* Инструкции по эксплуатации тепловых сетей. М., «Энергия», 1972.

** При открытой системе теплоснабжения подпиточная вода, кроме того, должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая».



Лист VI.3. Схемы присоединения потребителей.

1 — непосредственное с элеватором и защитой от опорожнения, 2 — то же, с насосом на переключке, 3 — непосредственная с элеватором и защитой от повышенного давления при статическом состоянии системы, 4 — то же, с насосом на подающей линии ввода; 5 — непосредственная с элеватором и защитой от повышенного давления при статическом состоянии системы, 6 — независимая.

Таблица VI.11. Область применения различных схем присоединения отопительных систем

Схема присоединения (лист VI.3)	Напор, м вод. ст.			статический $H_{ст}$	располагаемый на вводе H_p
	пьезометрический				
	в подающем трубопроводе $H_{под}$	в обратном трубопроводе $H_{обр}$			
Рис. 1	$H_{под} > H_r$	$H_{обр.} < H_r, H_{обр.} < H_{от}$	$H_{ст} < H_r, H_{ст} < H_{от}$	$H_p \geq H_1$	
То же, без регулятора подпора		$H_{обр.} < H_{от}, H_{обр.} < H_r$	$H_{от} \geq H_{ст} \geq H_r$		
То же, без обратного клапана и регулятора подпора		$H_{от} > H_{обр.} \geq H_r$	$H_{от} \geq H_{ст} \geq H_r$		
Рис. 2 и 6		$H_{обр.} < H_r, H_{обр.} < H_{от}$	$H_{ст} < H_r, H_{ст} < H_{от}$	$H_p < H_1$	
Рис. 3		$H_{от} > H_{обр.} \geq H_r$	$H_{ст} > H_{от}$	$H_p \geq H_1$	
Рис. 4 и 6	$H_{под} < H_r$	$H_{обр.} < H_{от}$	$H_{ст} < H_{от}$	Не ограничивается	
Рис. 5	$H_{под} < H_{обр}$	$H_{обр.} < H_{от}$	$H_{ст} < H_{от}$		
Рис. 6	Не ограничивается	$H_{обр.} < H_v$	$H_{ст} \leq H_v$	$H_p \leq H_r$	

Примечание. $H_{от}$ и H_v — допускаемый напор соответственно в системе отопления и в трубках водоводяного нагревателя; H_1 — требуемый располагаемый напор перед элеватором; H_r — потеря напора в трубках водоводяного нагревателя; H_r — геометрическая высота системы отопления, м.

обратном трубопроводе тепловой сети не превышало допустимого рабочего давления для отопительной системы.

Независимая схема присоединения позволяет обеспечить работу местной системы под гидростатическим давлением собственного расширительного бака. Такая схема присоединения изолирует местную систему от неизбежных колебаний давления в наружных сетях и полностью защищает местную систему от повышенных аварийных давлений. Независимые схемы присоединения в обязательном порядке применяются в тех зданиях, где даже случайные и небольшие повреждения (связанные с колебаниями давления в тепловых сетях) могут привести к катастрофическим последствиям (музеи, архивы, склады и пр.). По независимой схеме присоединяются системы отопления зданий в 12 и больше этажей и при обосновании — системы отопления других потребителей тепла.

Присоединение калориферов вентиляционных систем и воздушного отопления осуществляется по схеме с непосредственной подачей перегретой воды в калориферы. Так же присоединяются к теплосети системы отопления промышленных зданий.

Системы горячего водоснабжения при закрытой системе теплоснабжения присоединяются через водоводяные скоростные подогреватели.

В зависимости от соотношения тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления применяются такие схемы:

двухступенчатая последовательная при $\frac{Q_{г\text{ макс}}}{Q_0} \leq 0,6$;

двухступенчатая смешанная при $0,6 < Q_{г\text{ макс}}/Q_0 < 1,2$;

одноступенчатая параллельная при $Q_{г\text{ макс}}/Q_0 \geq 1,2$.

При открытой системе теплоснабжения местная разводка горячего водоснабжения присоединяется через автомат-смеситель к подающему и обратному трубопроводу тепловой сети.

При закрытых и открытых системах теплоснабжения системы горячего водоснабжения жилых домов, как правило, присоединяются без баков-аккумуляторов горячей воды. В банях, прачечных, больницах устанавливаются баки.

Наиболее часто встречающиеся схемы присоединения абонентских систем отопления и горячего водоснабжения и рекомендации по их выбору приведены на листе VI.3 и в табл. VI.11.

На листе VI.4, рис. 1, 2 даны схемы с параллельным и двухступенчатым последовательным и смешанным включением нагревателей горячего водоснабжения. Для поддержания постоянной температуры расходуемой воды установлен регулятор. У крупных потребителей горячего водоснабжения (бани, прачечные, гостиницы, больницы) на чердаке или внизу (на первом этаже или в подвале) устанавливаются баки-аккумуляторы горячей воды. Схема с расположением бака внизу показана на листе VI.4, рис. 3. При непосредственном водоразборе в качестве смесителя устанавливаются автоматическое устройство ТРЖ-3 ОРГРЭС и обратный клапан на обратной линии (лист VI.4, рис. 4).

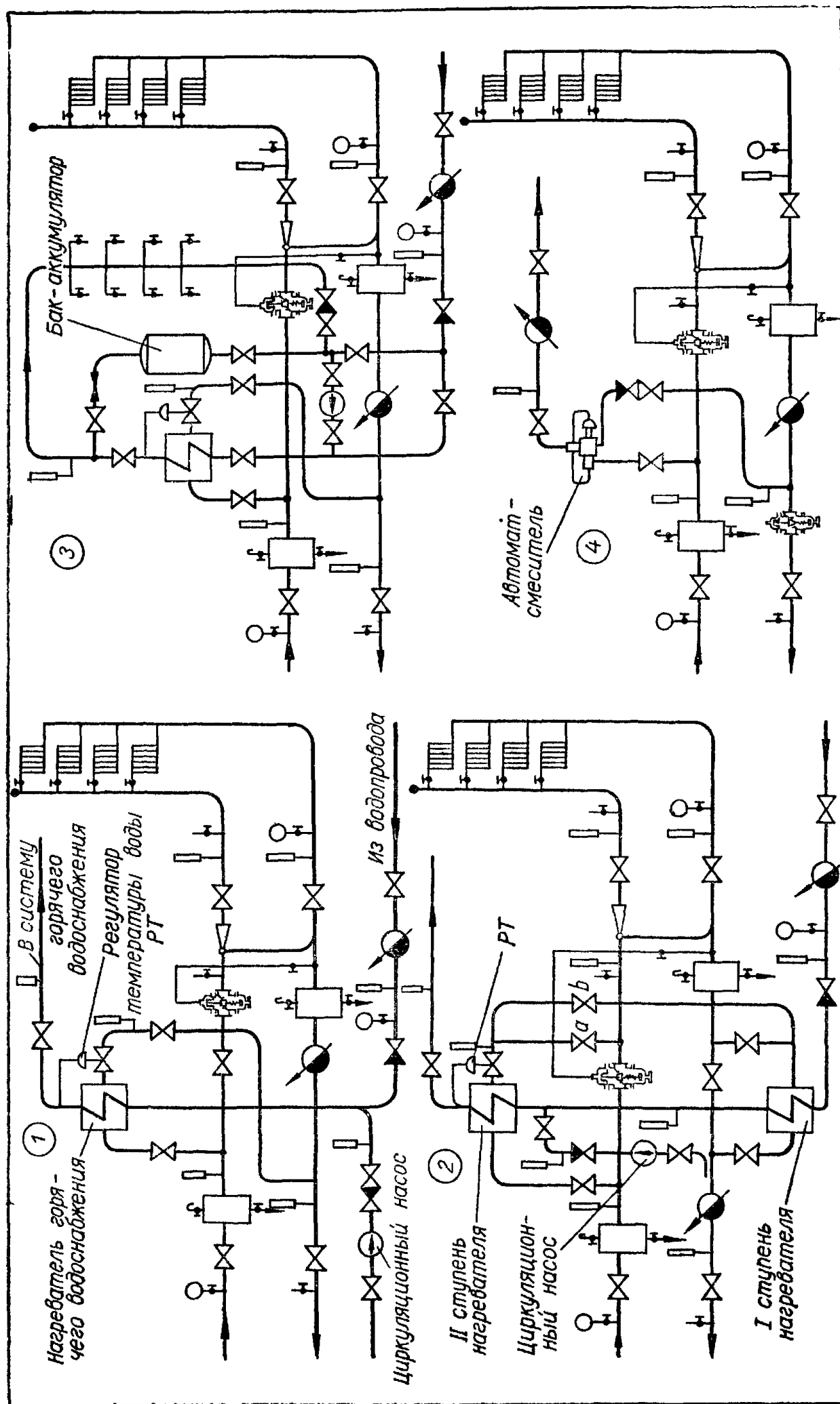
ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВВОДОВ

Элеваторы

Элеваторы применяются при непосредственном присоединении водяных систем отопления жилых и общественных зданий к тепловым сетям с перегретой водой; они понижают температуру воды, поступающей в местную систему, и обеспечивают ее циркуляцию.

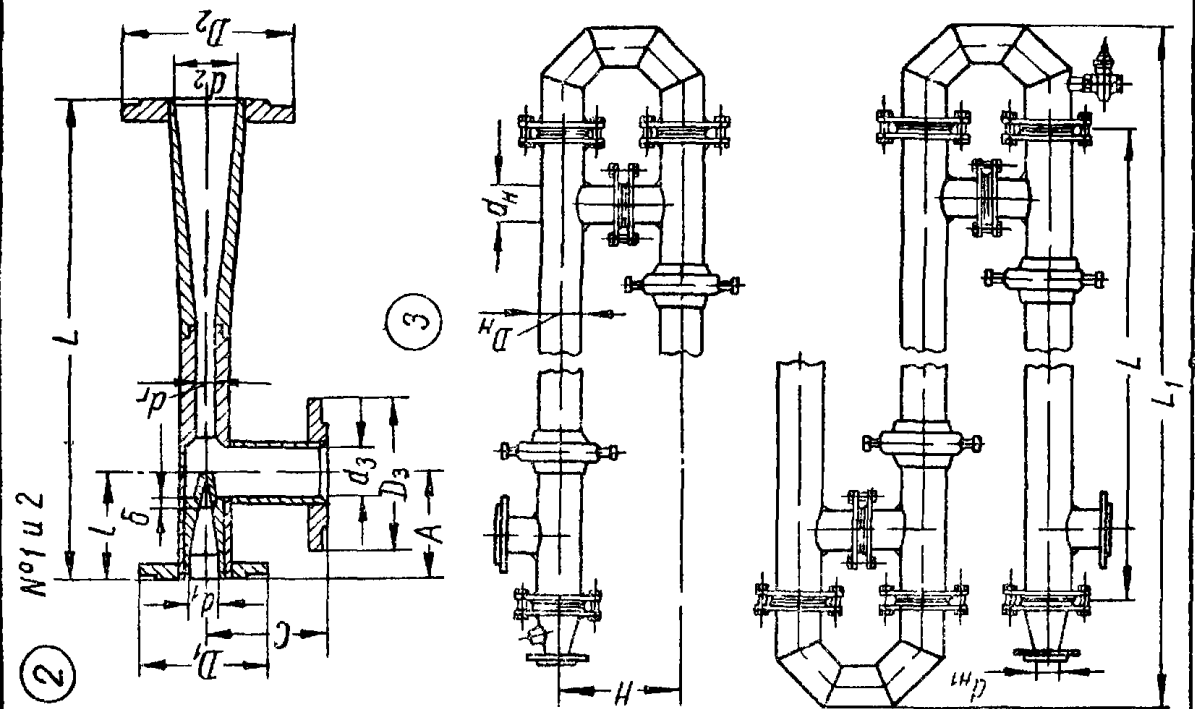
Элеватор состоит из цилиндрической камеры смешения, диффузора, сопла и предкамеры, соединяющей камеру смешения с входными патрубками и соплом (лист VI.5, рис. 2, табл. VI.12). Работа элеватора заключается в подмешивании к перегретой воде обратной воды местной системы и повышении давления смешанной воды до величины большей, чем давление в обратном трубопроводе.

Для нормальной работы элеватора необходимо, чтобы разность давлений в подающей и обратной трубах тепловой сети на вводе была достаточна для преодоления гидравлических сопротивлений элеватора и местной системы отопления. Наиболее совершенен по конструкции элеватор типа ВТИ (Всесоюзного теплотехнического института) теплосети Мосэнерго.



Лист VI.4. Схемы присоединения систем горячего водоснабжения.

1 — параллельное включение нагревателя, 2 — двухступенчатое последовательное (задвижка а — открыта, б — закрыта) и смешанное (задвижка а — открыта, б — закрыта) включение нагревателей, 3 — параллельное включение нагревателя с аккумулятором, расположенным выше, 4 — непосредственный разбор воды на горячее водоснабжение (открытая схема).



Лист VI.5. Элеваторы и водонагреватели

1 — номограмма для подбора элеватора, 2 — стальные элеваторы ВТИ теплосети Мосэнерго, 3 — водоводяные нагреватели.

Таблица VI.12. Основные размеры стальных элеваторов конструкции

Номер элеватора	L	A	C	d_r	Фланцы	
					входной D_1	выходной D_2 , и подсоса D_3
1	425	90	110	15	145	160
2				20		
3	625	135	155	25	160	195
4				30		
5				35		
6	720	180	175	47	195	215
7				59		

Примечание. Элеваторы рассчитаны на $P_{\text{раб}} = 10 \text{ кгс/см}^2$, $P_{\text{исп}} = 15 \text{ кгс/см}^2$

Основной расчетной характеристикой для элеватора является коэффициент смешения (инжекции)

$$u' = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{т}}} = \frac{\tau_1 - \tau_{\text{см}}}{\tau_{\text{см}} - \tau_{20}}, \quad (\text{VI.61})$$

где $G_{\text{п}}$ — количество подмешиваемой обратной воды, т/ч ;

$G_{\text{т}}$ — количество горячей сетевой воды;

$\tau_{\text{см}}$ — температура смешанной воды, поступающей в местную систему, $^{\circ}\text{C}$;

τ_{20} — температура обратной воды местной системы;

τ_1 — температура горячей сетевой воды.

Расчетный коэффициент подмешивания принимается равным

$$u = 1,15 \cdot u'. \quad (\text{VI.62})$$

Расход воды, поступающей из тепловой сети, определяется по формуле, т/ч

$$G_{\text{т}} = \frac{Q}{(\tau_1 - \tau_{20}) \cdot 1000}, \quad (\text{VI.63})$$

где Q — расход тепла на отопление, ккал/ч

Приведенный расход смешанной воды равен

$$G_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{см}}}{\sqrt{h_2}} = \frac{Q}{(\tau_{\text{см}} - \tau_{20}) \sqrt{h_2} \cdot 1000}, \quad (\text{VI.64})$$

где h_2 — гидравлическое сопротивление местной системы, м вод. ст. ;

$G_{\text{см}}$ — количество смешанной воды, поступающей в местную систему отопления, определяемое по формуле

$$G_{\text{см}} = \frac{Q}{(\tau_{\text{см}} - \tau_{20}) \cdot 1000}. \quad (\text{VI.65})$$

Диаметр горловины (камера смешения) элеватора, см

$$d_r = 0,874 \sqrt{G_{\text{пр}}}. \quad (\text{VI.66})$$

Диаметр сопла элеватора, мм

$$d_c = \frac{10d_r}{\sqrt{\frac{0,78}{G_{\text{пр}}^2} (1+u)^2 d_r^4 + 0,60 (1+u)^2 - 0,4u^2}}. \quad (\text{VI.67})$$

Внутренние диаметры присоединительных па- трубков			Длина сопла		Масса элева- тора, кг
			полная <i>l</i>	сменная часть	
входного <i>d</i> ₁	выходного <i>d</i> ₂	подсоса <i>d</i> ₃			
37	51		110	55	10
			100	45	
49	82	70	145	50	15
			135	40	
			125	30	
80	100		175	60	23
			155	40	

Для расчета элеватора, т. е. для определения диаметров горловины и сопла по заданным величинам $G_{пр}$ и u , удобно пользоваться номограммой, приведенной на листе VI.5, рис. 1.

По расходу воды, поступающей из тепловой сети G_T и диаметру сопла d_c , определяется требуемый напор перед элеватором, m вод. ст

$$H_1 = 0,64 \frac{G_T^2}{d_c^4} . \quad (VI.68)$$

Если известен располагаемый напор перед элеватором H_p , диаметр сопла можно найти по формуле

$$d' = \sqrt[4]{\frac{0,64G^2}{H_p}} \text{ см.} \quad (VI.69)$$

Если элеватор работает с коэффициентом подмешивания u_1 , то для получения в этой же системе коэффициента подмешивания u_2 необходимо установить новое сопло с диаметром

$$d'' = d' \frac{1 + n_1}{1 + u_2} . \quad (VI.70)$$

Пример VI.6. 1. Дано: $G_{см} = 10 \text{ м/ч}$; $h_2 = 1 \text{ м вод. ст}$; $\tau_1 = 150$, $\tau_{см} = 70$, $\tau_{см} = 95^\circ \text{С}$. Определить номер элеватора (диаметр камеры смешения) и диаметр сопла.

Находим расчетный коэффициент подмешивания по формуле (VI.62)

$$u = \frac{150 - 95}{95 - 70} \cdot 1,15 = 2,53.$$

Приведенный расход смешанной воды находим по формуле (VI.64)

$$G_{пр} = \frac{10}{\sqrt{1}} = 10 \text{ м/ч}.$$

По номограмме на листе VI.5, рис. 1 для $u = 2,53$ и $G_{пр} = 10 \text{ м/ч}$ принимаем элеватор № 3 с $d_r = 25 \text{ мм}$ и $d_c = 8,5 \text{ мм}$ (ход решения показан линией ABC со стрелками).

2. Дано: $G_{см} = 4,47 \text{ м/ч}$; $h_2 = 1,5 \text{ м вод. ст}$; $\tau_1 = 130$; $\tau_2 = 70$; $\tau_3 = 95^\circ \text{С}$. Найти номер элеватора и диаметр сопла:

$$u = \frac{130 - 95}{95 - 70} \cdot 1,15 = 1,61;$$

$$G_{пр} = \frac{4,47}{\sqrt{1,50}} = 3,65.$$

По номограмме на листе VI.5, рис. 1 принимаем для $u = 1,61$ и $G_{пр} = 3,65$ элеватор № 1 с $d_r = 15$ мм и соплом $d = 6,7$ мм (ход решения указан линией ДЕМ со стрелками).

Для поглощения избыточных напоров на абонентских вводах устанавливают дроссельные шайбы.

Расчет диаметра шайб производится по приближенной формуле *, мм

$$d_{ш} = 11,3 \sqrt{\frac{G}{\sqrt{H}}}, \quad (VI.71)$$

где G — расход воды, $m^3/ч$;

H — избыточный напор на вводе, m вод. ст.

Шайбы изготовляют из 2—3-миллиметровой стали и устанавливают между фланцами двух задвижек, чтобы можно было сменить шайбу, не спуская воды из системы.

Скоростные водонагреватели

По первичному теплоносителю водонагреватели разделяются на водоводяные и пароводяные. В системах горячего водоснабжения и отопления обычно применяются поверхностные скоростные секционные нагреватели. На листе VI.5, рис. 3 даны водоводяные нагреватели; основные размеры их приведены в табл. VI.13 и VI.14.

Поверхность нагрева водонагревателей определяется по формуле, m^2

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{ср}}, \quad (VI.72)$$

где Q — теплопроизводительность $ккал/ч$;

$\Delta t_{ср}$ — средняя разность температур греющей и нагреваемой среды, определяемая по формуле

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t'_m}}. \quad (VI.73)$$

Здесь Δt_6 — большая разность температур греющей и нагреваемой среды;
 Δt_m — то же, меньшая, принимаемая для водоводяных нагревателей 5—10, а для пароводяных — не менее $5^\circ C$;
 k — коэффициент теплопередачи, $ккал/м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{нак}}{\lambda_{нак}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (VI.74)$$

где $\delta_{ст}$ и $\delta_{нак}$ — толщина стенки трубы и слоя накипи, m ;

$\lambda_{ст}$ и $\lambda_{нак}$ — коэффициенты теплопроводности стенки трубы и слоя накипи, $ккал/м \cdot ч \cdot ^\circ C$;

α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи между первичным и вторичным теплоносителями и стенкой, $ккал/м^2 \cdot ^\circ C$.

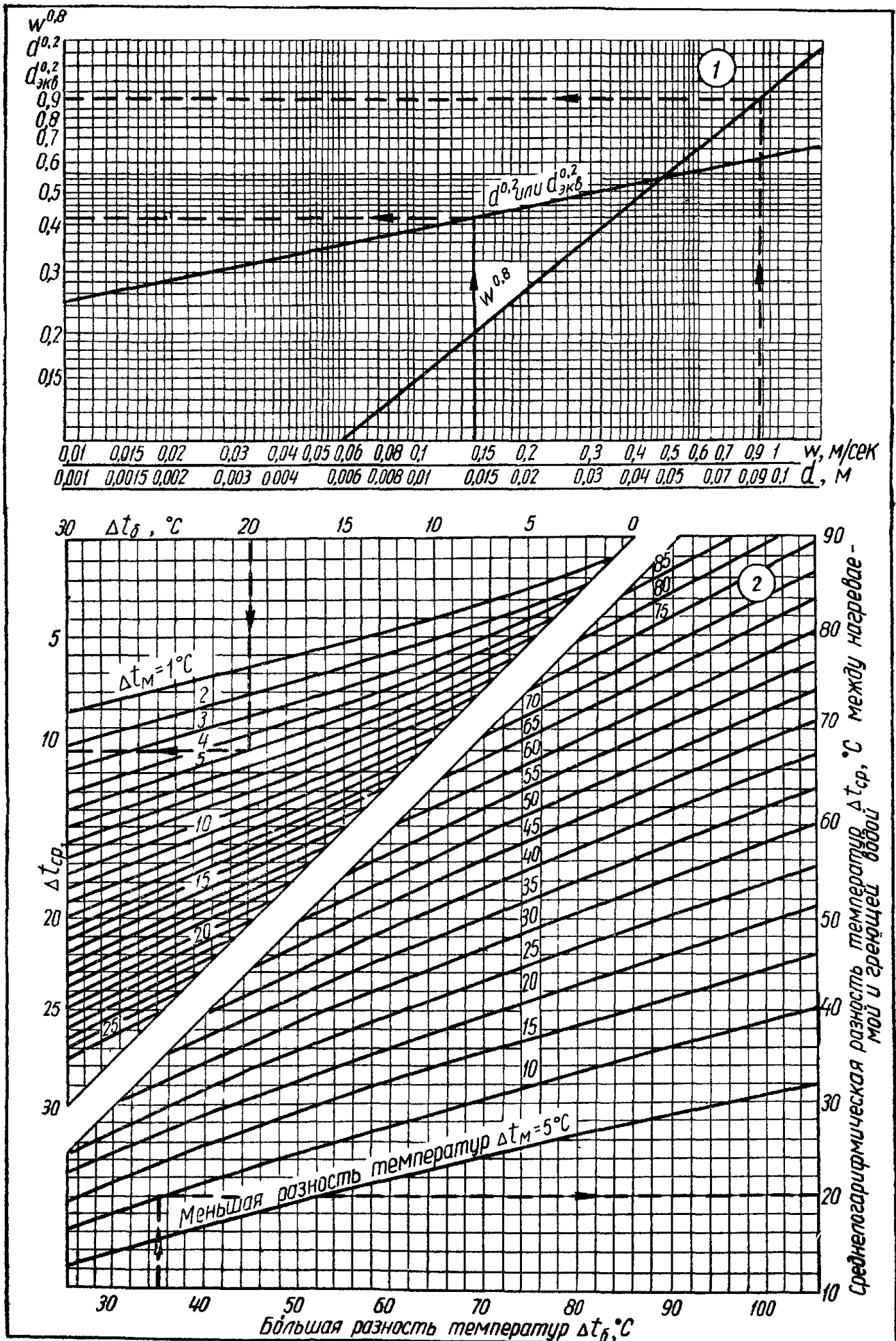
Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке определяется по формулам: при турбулентном движении воды вдоль трубок (снаружи или внутри)

$$\alpha = (1400 + 18t - 0,035t^2) \frac{w^{0,8}}{d^{0,2}}; \quad (VI.75)$$

при турбулентном движении воды поперек пучка трубок

$$\alpha = (1000 + 15t - 0,04t^2) \frac{w^{0,64}}{d^{0,36}}; \quad (VI.76)$$

* Уточненные формулы для расчета шайб см. И. Е. И д е л ь ч и к «Справочник по гидравлическим сопротивлениям» (М.—Л., Госэнергоиздат, 1960).



Лист VI.6. Номограммы:

1 — для определения $w^{0.8}$ и $d^{0.2}$; 2 — для определения $\Delta t_{\text{ср}}$.

Таблица VI.13. Подогреватели водоводяные секционные без линзовых и сварные

№ п.п	Обозначение при p_y , кгс/см ²		Основные размеры, мм		Количество тру- бок, з, шт	Поверхность нагрева одной секции F , м ² , при p_y , кгс/см ²	
	10	16	D_H	L		10	16
1	01	26	57	2000	4	0,37	0,36
2	02	27		4000		0,75	0,74
3	03	28	76	2000	7	0,65	0,64
4	04	29		4000		1,31	1,3
5	05	30	89	2000	12	1,11	1,1
6	06	31		4000		2,24	2,22
7	07	32	114	2000	19	1,76	1,74
8	08	33		4000		3,54	3,52
9	09	34	168	2000	37	3,4	3,39
10	10	35		4000		6,9	6,88
11	11	36	219	2000	64	5,89	5,85
12	12	37		4000		12	11,9
13	13	38	273	2000	109	10	9,9
14	14	39		4000		20,3	20,2
15	15	40	325	2000	151	13,8	13,7
16	16	41		4000		28	27,9
17	17	42	377	2000	216	19,8	19,6
18	18	43		4000		40,1	39,9
19	19	44	426	2000	283	25,8	25,5
20	20	45		4000		52,5	52,2
21	21	46	530	2000	450	41	40,3
22	22	47		4000		83,4	82,7

Примечания. 1. Нагревательные трубки латунные Л-68 (ГОСТ 494—52) диаметром 16 × 10-57 × 2000-4-01 ОСТ 34-588—68, то же, сварной конструкции на $p_y = 16$ кгс/см² подогреватель

при ламинарном движении

$$\alpha = (80 + 0,6t - 0,0015t^2) \frac{w^{0,2}}{\alpha^{0,5}} \Delta t^{0,1}; \quad (\text{VI.77})$$

при свободной конвекции (емкостные нагреватели)

$$\alpha = 90 + 10t^{0,75} \sqrt[3]{\Delta t}; \quad (\text{VI.78})$$

при пленочной конденсации пара на вертикальной стенке и малой скорости пара ($w_{\Pi} = 1 \div 2$ м/сек)

$$\alpha = \frac{5500 + 65t_k - 0,2t_k^2}{(H\Delta t)^{0,25}}; \quad (\text{VI.79})$$

при пленочной конденсации пара снаружи горизонтального пучка трубок

$$\alpha = \frac{4230 + 50t_k - 0,154t_k^2}{(md\Delta t)^{0,25}}. \quad (\text{VI.80})$$

Здесь t — средняя температура воды, °С;

t_k — температура пленки конденсата — средняя между температурой насыщенного пара и стенки;

Δt — разность температур стенки и воды, насыщенного пара и стенки;

компенсаторов для горячего водоснабжения разъемные (ОСТ 34-588—68)
(ОСТ 34-602—68)

Живое сечение, м ²		Размеры, мм (лист VI.5, рис 3)				
F_{MT}	F_{TP}	$d_{MT.ЭКВ}$	d_H	d_{H1}	H	L_1
0,00116	0,00062	13	45		150	2220
0,00233	0,00108	16,4	57		200	4220
0,00287	0,00185	13,3	76		240	2300
0,005	0,00293	15,5	89		300	4300
0,0122	0,0057	20,7	133	108	400	2340
0,02079	0,00985	21,5	168	159	500	4340
0,03077	0,01679	19,6	219		600	2424
0,04464	0,02325	20,9	273	219	700	4424
0,05781	0,003325	19	325	273	800	2620
0,07191	0,04356	18,6	377	325	900	4620
0,11544	0,06927	19	426	377	900	2832
						4832
						3032
						5032
						3232
						5232
						3430
						5430
						3624
						5624
						3552
						5552

1 мм.
кгс/см², диаметром 57 мм, длиной $L = 2000$ мм с числом секций $Z = 4$ следующее: подогреватель
16-57 × 2000-4-01 ОСТ 34-602 — 68.

w — скорость воды, м/с;

d — диаметр трубки, или эквивалентный гидравлический диаметр, м;

H — высота трубки, м;

m — среднее число трубок в вертикальном ряду горизонтального пучка, шт.

При тепловом расчете двухступенчатой смешанной схемы присоединения водонагревателей предварительно определяется теплопроизводительность первой и второй ступени по формулам, ккал/ч:

$$Q_1 = \frac{Q_{Г.макс} (t_{II} - t_x)}{t_{Г} - t_x}; \quad (VI.81)$$

$$Q_2 = \frac{Q_{Г.макс} (t_{Г} - t_{II})}{t_{Г} - t_x}.$$

Расходы сетевой воды для каждой ступени определяются по формулам, т/ч:

$$G_1 = \frac{Q_{Г.макс}}{(\tau_1'' - \tau_{20}'') \cdot 10^3}; \quad G_2 = G_1 + G_0. \quad (VI.82)$$

Температура сетевой воды за водонагревателем первой ступени равна, °С

$$\tau_2'' = \tau_{20}'' - \frac{Q_1}{(G_0 + G_1) \cdot 10^3}, \quad (VI.83)$$

где $t_{\text{п}}$ — температура водопроводной воды за водонагревателем первой ступени;
 τ_{20} — температура сетевой воды после системы отопления в точке излома температурного графика.

Последующий тепловой расчет каждой ступени производится аналогично расчету водонагревательной установки, присоединенной по параллельной схеме.

Сопротивление водонагревателя определяется по формуле, кгс/см^2

$$H = \left(0,025 + \sum \zeta \frac{d}{l_z} \right) \frac{w^2 \rho l z}{19,62 d}, \quad (\text{VI.84})$$

где ρ — плотность теплоносителя, кгс/м^3 ;

$\sum \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений теплообменного аппарата.

Таблица VI.14. Подогреватели водоводяные секционные с линзовыми компенсаторами на $p_y = 10 \text{ кгс/см}^2$ для отопления (ОСТ 34-603—68)

№ п.п	Обозначение в зависимости от материала трубок		Секция подогревателя со стальными трубами	
	латунных	стальных	Поверхность нагрева F , м^2	Живое сечение $F_{\text{тр}}$, м^2
1	01	31	0,36	0,00055
2	02	32	0,73	
3	03	33	0,63	0,00096
4	04	34	1,27	
5	05	35	1,08	0,00164
6	06	36	2,18	
7	07	37	1,7	0,0025
8	08	38	3,45	
9	09	39	3,31	0,00506
10	10	40	6,71	
11	11	41	5,73	0,00876
12	12	42	11,6	
13	13	43	9,74	0,01492
14	14	44	19,7	
15	15	45	13,6	0,02066
16	16	46	27,3	
17	17	47	19,3	0,02956
18	18	48	39,1	
19	19	49	25,2	0,03873
20	20	50	51,1	
21	21	51	39,9	0,06158
22	22	52	81,2	

Примечания. 1. Значения F и $F_{\text{тр}}$ при латунных нагревательных трубках, а также значения D_H , L , $F_{\text{мт}}$, $d_{\text{экв.мт.}}$, d_H , d_{H1} , H , L и z независимо от материала трубок см. соответственно табл. VI.13 и примечание 1.

2. Условное обозначение подогревателя разъемной конструкции с линзовым компенсатором и латунными трубками диаметром $D_H = 57 \text{ мм}$, длиной 2000 мм с числом секций $z = 4$ следующее: подогреватель 57 X 2000-4-01 ОСТ 34-589—68; то же, сварной конструкции со стальными трубками — подогреватель 57 X 2000-4-31 ОСТ 34-603—68.

**Коэффициенты местных сопротивлений ζ
для скоростных нагревателей в зависимости от
вида местного сопротивления**

Входная и выходная камеры	1,5
Поворот на 180° при переходе из одной секции в другую через промежуточную камеру	2,5
То же, через колено	2
Вход в межтрубное пространство	1,5
Поворот на 180° (U-образные трубки)	0,5
Переход одной секции в другую для межтрубного потока	2,5
Поворот на 180° в межтрубном пространстве	1,5
Огиб перегородок, поддерживающих трубки	0,5
Выход из межтрубного пространства под углом 90°	1

Потери напора, m , в скоростных нагревателях могут быть определены по упрощенным формулам ВТИ:

$$H_T = 0,53\omega_T^2 z; H_{MT} = 1,10\omega_{MT}^2 z, \quad (VI.85)$$

где ω_T и ω_{MT} — скорость воды в трубках и в межтрубном пространстве, m/c ;
 z — количество секций подогревателя.

Необходимые для вычисления коэффициентов теплоотдачи вспомогательные величины $\omega^{0,8}$ и $d^{0,2}$, а также $\Delta t_{ср}$ можно определить по номограммам (см. лист VI.6), выражение $(1400 + 18t - 0,035t^2) = A$ — по табл. VI.15.

**Т а б л и ц а VI.15. Значение величины $A = (1400 + 18t - 0,035t^2)$
в зависимости от t**

t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A
15	1666	35	1987	55	2284	75	2553	95	2794	115	3007	135	3192
20	1746	40	2066	60	2354	80	2616	100	2850	120	3056	140	3274
25	1828	45	2139	65	2422	85	2687	105	2902	125	3103		
30	1908	50	2212	70	2488	90	2736	110	2956	130	3148		

Пример VI.7. Произвести тепловой и гидравлический расчеты бойлерной установки горячего водоснабжения при одноступенчатой параллельной схеме включения бойлера.

Исходные данные: максимальный расход тепла на горячее водоснабжение $Q_{г макс} = 350\,000$, на отопление $Q_0 = 500\,000$ $ккал/ч$; расчетные температуры сетевой воды $\tau_1 = 150^\circ C$, $\tau_2 = 70^\circ C$; температура сетевой воды в точке излома графика при $t''_н = 4,5^\circ C$, $t'_н = 70^\circ C$, $\tau_{20} = 42,5^\circ C$; температура холодной водопроводной воды $t_{х.с} = 5^\circ C$, горячей $t_г = 60^\circ C$.

Принимаем температуру сетевой воды после подогревателя $\tau_3 = 30^\circ C$ (при $t''_н$) и находим расход сетевой воды на горячее водоснабжение

$$G_{г макс} = \frac{350 \cdot 10^3}{1 \cdot (70 - 30) \cdot 10^3} = 8,75 \text{ } m/ч.$$

Аналогично определяем расход водопроводной воды на горячее водоснабжение

$$G_{г.вод} = \frac{350 \cdot 10^3}{1 \cdot (60 - 5) \cdot 10^3} = 6,36 \text{ } m/ч.$$

Задаемся скоростью воды в нагревателе порядка $0,5-1$ m/c и по площади сечения трубок и межтрубного пространства (табл. IV.13) подбираем бойлер (диаметр

корпуса 89 мм). Затем находим действительные скорости воды, учитывая, что сетевая вода проходит по межтрубному пространству, а водопроводная — по трубкам:

$$w_{\text{мт}} = \frac{8,75}{3600 \cdot 0,00287} = 0,85 \text{ м/сек};$$

$$w_{\text{тр}} = \frac{6,36}{3600 \cdot 0,00185} = 0,95 \text{ м/сек}.$$

Средние температуры греющей и нагреваемой воды равны:

$$t_{\text{ср}} = 0,5 (70 + 30) = 50^\circ \text{C}, \quad t_{\text{ср}} = 0,5 (5 + 60) = 32,5^\circ \text{C}.$$

Эквивалентный диаметр межтрубного пространства $d_{\text{экв}} = 0,013 \text{ м}$.

Коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенкам труб, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ по формуле (VI.75)

$$\alpha_1 = (1400 + 18 \cdot 50 - 0,035 \cdot 50^2) \frac{0,85^{0,8}}{0,013^{0,2}} = 4620;$$

коэффициент теплоотдачи от стенки ко вторичному теплоносителю

$$\alpha_2 = (1400 + 18 \cdot 32,5 - 0,035 \cdot 32,5^2) \frac{0,95^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 4400 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C};$$

коэффициент теплопередачи по формуле (VI.74)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{4620} + \frac{1}{4400} + \frac{0,001}{90} + \frac{0,0002}{2}} = 1760 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Среднелогарифмическая разность температур по формуле (VI.73)

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(30 - 5) - (70 - 60)}{2,3 \lg \frac{30 - 5}{70 - 60}} = 16,4^\circ \text{C}.$$

Поверхность нагрева подогревателя по формуле (VI.72)

$$F = \frac{350 \cdot 10^3}{1760 \cdot 16,4} = 12,13 \text{ м}^2.$$

Число секций подогревателя при длине секции 4 м $z = 12,13 : 2,24 = 5,42$; принимаем 6 секций.

Потери напора по сетевой $\Delta H_{\text{мт}}$ и по водопроводной $\Delta H_{\text{тр}}$ воде определяем по формуле (VI.85):

$$\Delta H_{\text{мт}} = 1,1 \cdot 0,85^2 \cdot 6 = 4,8 \text{ м}; \quad \Delta H_{\text{тр}} = 0,51 \cdot 0,95^2 \cdot 6 = 2,8 \text{ м}.$$

Пример VI.8. Определить поверхность нагрева нагревателя для условий, указанных в примере VI.7, при двухступенчатой смешанной схеме включения нагревателя.

Принимаем разность между температурой греющей сетевой воды t''_{20} и нагреваемой водопроводной воды после первой ступени нагревателя $t_{\text{п}}$ при $t''_{\text{н}}$ равной $5,5^\circ \text{C}$. Отсюда

$$t_{\text{п}} = 42,5 - 5,5 = 37^\circ \text{C}.$$

Производительность первой и второй ступеней нагревателя определяем по формулам (VI.81):

$$Q_1 = \frac{350 \cdot 10^3 \cdot (37 - 5)}{60 - 5} = 204 \cdot 10^3 \text{ ккал/ч};$$

$$Q_2 = \frac{350 \cdot 10^3 (60 - 37)}{60 - 5} = 146 \cdot 10^3 \text{ ккал/ч}.$$

Расход сетевой и водопроводной воды на горячее водоснабжение определяем по формуле (VI.82):

$$G_1 = \frac{146 \cdot 10^3}{(70 - 42,5) \cdot 10^3} = 5,3 \text{ м/ч}; G_{\text{г. вод}} = \frac{350 \cdot 10^3}{(60 - 5) \cdot 10^3} = 6,36 \text{ м/ч}.$$

Расход сетевой воды на отопление по формуле (VI.47)

$$G_0 = \frac{500 \cdot 10^3}{(150 - 70) \cdot 10^3} = 6,25 \text{ м/ч}.$$

Суммарный расход сетевой воды

$$G_{\text{сум}} = 6,25 + 5,3 = 11,55 \text{ м/ч}.$$

Температура сетевой воды на выходе из первой ступени нагревателя определяется по формуле (VI.83)

$$t_3'' = 42,5 - \frac{204 \cdot 10^3}{11,55} = 24,8^\circ \text{С}.$$

Тепловой и гидравлический расчет нагревателя первой и второй ступеней производится аналогично примеру VI.7.

ТРУБЫ, АРМАТУРА И ОПОРЫ

Трубы и запорная арматура

В соответствии с указаниями СНиП II-36—73 выбор материалов для трубопроводов и арматуры тепловых сетей должен производиться в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» Госгортехнадзора СССР в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха и условий работы тепловых сетей (табл. VI.16 и VI.17).

Таблица VI.16. Марки стали для труб при $t = 115^\circ \text{С}$ (для воды) и $p_{\text{изб}} \leq 0,7 \text{ кгс/см}^2$ (для пара)

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, $^\circ\text{С}$	Марка стали для труб
Не ниже -30	ВСтЗспЗ; ВСтЗГпс4; ВСтЗпс4; ВСтЗкпЗ
Не ниже -40	ВСтЗсп4; ВСтЗГпс5; ВСтЗпс5
Ниже -40	ВСтЗсп5 или низколегированные

Примечание. Для стали марки ВСтЗкпЗ нормы ударной вязкости при $+20^\circ \text{С}$ должны приниматься в соответствии с нормами для спокойной стали марки ВСтЗспЗ.

Трубы водогазопроводные (газовые) легкие неоцинкованные (ГОСТ 3262—62) допускается применять для тепловых сетей с параметрами теплоносителя $p_y \leq 10 \text{ кгс/см}^2$ и $t \leq 200^\circ \text{С}$. Для тепловых сетей горячего водоснабжения должны применяться оцинкованные стальные трубы. Область применения арматуры из ковкого чугуна в тепловых сетях ограничена следующими условиями:

избыточное рабочее давление пара (для паровых сетей) не более $0,7 \text{ кгс/см}^2$, температура воды (для водяных сетей) — не более 115°С , температура наружного воздуха для проектирования отопления — не ниже -30°С ;

марка чугуна (ГОСТ 1215—59) — не ниже КЧ 30—6.

Допускается применение арматуры из серого чугуна марки не ниже СЧ-15-32 (ГОСТ 1412—70) при температуре наружного воздуха для проектирования отопления не ниже -10°С и при других ограничениях для применения арматуры из ковкого чугуна.

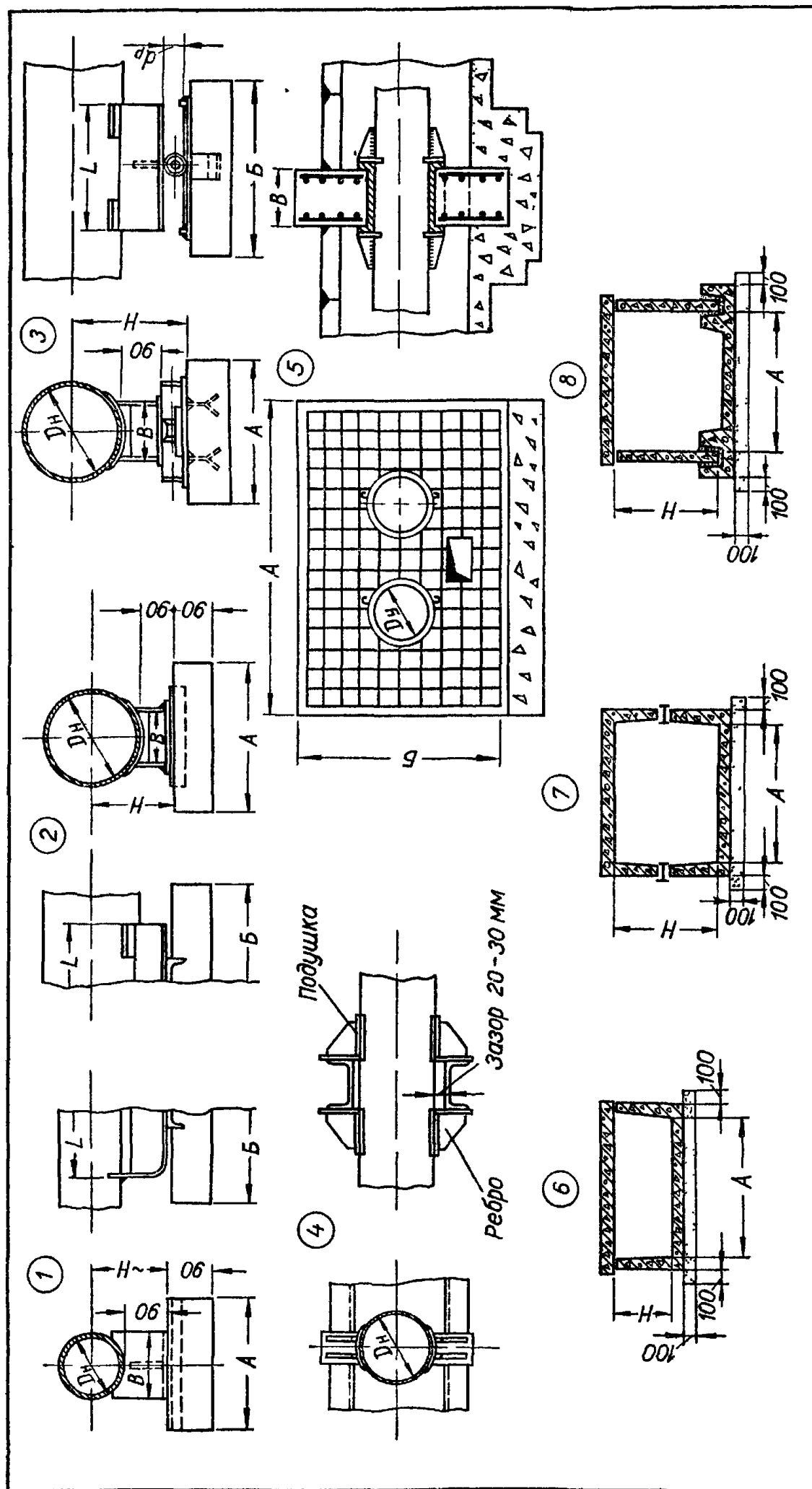
Таблица VI.17. Сортамент труб тепловых сетей для надземной и подземной прокладки по МВН 1225—59, МВН 1233—59 и МВН 1234—59

Диаметр, мм		Трубопроводы		Патрубки для соединения с плоскими приварными фланцами		Тип прокладки
D_y	D_n	толщина стенки, мм	масса 1 м трубы, кг	толщина стенки, мм	масса 1 м трубы, кг	
ГОСТ 8732—70*						
25 *	32	2,5	1,76	3,5	2,46	Надземная, в тоннелях, в непроходных каналах и бесканальная
32 *	38	2,5	2,19	3,5	2,98	
40 *	45	2,5	2,62	3,5	3,58	
50	57	3,5	4,62	3,5	4,62	
70	76	3,5	6,26	4	7,1	
80	89	3,5	7,38	4	8,38	
100	108	4	10,26	4	10,26	
125	133	4	12,73	4	12,73	
150	159	4,5	17,15	4,5	17,15	
175	194	5	23,31	6	27,82	
200	219	6	31,52	6	31,52	
250	273	7	45,92	8	52,28	
300	325	8	62,54	8	62,54	
350	377	9	81,68	9	81,68	
ГОСТ 10704—63*						
25	32	2	1,48	3	2,15	Надземная, в тоннелях и в непроходных каналах
32	38	2	1,78	3	2,59	
40	45	2,5	2,62	3	3,11	
50	57	3	4	3,5	4,62	
70	76	3	5,4	4	7,1	
80	89	3	6,36	4	8,38	
100	108	3	7,77	4	10,26	
125	133	3,5	11,18	4	12,73	
400	426	6	62,14		92,56	Надземная, в тоннелях, в непроходных каналах и бесканальная при $p_{\text{раб}} \leq 16 \text{ кг/см}^2$, $t = 150^\circ \text{C}$
		7	72,33			
450	480	6	70,13		104,52	
		7	81,65			
500	530	6	77,53	9	115,62	
		7	90,28			

Чугунная арматура должна быть защищена от изгибающих и осевых нагрузок. Задвижки диаметром 350 мм и более должны иметь обвод. Если в конструкции задвижки обвод не предусмотрен, устраивают специальную обводную линию диаметром 50 мм (при $D_{\text{зав}} = 350—600 \text{ мм}$). Задвижки диаметром 500 мм и более устанавливаются с электроприводом. Детали трубопроводов, применяемые в тепловых сетях (отводы, переходы, фланцы и крепежные детали), а также соединения труб должны удовлетворять требованиям правил Госгортехнадзора.

Опоры трубопроводов

Подвижные опоры в зависимости от способа прокладки и диаметров трубопроводов могут быть скользящие, катковые, подвесные и др. (лист VI.7, рис. 1—3). При подземной прокладке трубопроводов и непроходных каналов применяются только скользящие опоры на бетонных подушках, при надземной — катковые.



Лист VI.7. Опоры подвижные и неподвижные.

1 — скользящие (МВН 1301-60) для труб $D_H = 32 \div 194$ мм, 2 — то же (МВН 1305-60), для труб $D_H = 219 \div 1020$ мм, 3 — катковая (МВН 1309-60) для труб $D_H = 219 \div 1020$ мм, 4 — неподвижная лобовая опора (МВН 1322-56), тип III для труб $D_H = 273 \div 1020$ мм, 5 — шптовая неподвижная опора, 6 — непроходной канал типа КЛ, 7 — то же, типа КЛс, 8 — то же, типа КС.

Таблица VI.18. Пролеты между подвижными опорами трубопроводов, м

Диаметр условного прохода, D_y , мм	Прокладка надземная и в проходных каналах при компенсаторах				Прокладка в непроходных каналах на бетонных по- душках
	П-образных		сальниковых		
	Параметры теплоносителя (p в $кгс/см^2$, t в $^{\circ}C$)				
	$p = 8 \div 16$ $t = 100 \div 150$	$p = 8 \div 13$ $t = 250 \div 300$	$p = 8 \div 16$ $t = 100 \div 150$	$p = 8 \div 13$ $t = 250 \div 300$	
25	—	2	—	2	1,7
32	2	2	2	2	2
40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
50	3	3	3	3	3
70	3,5	3,5	3,5	3,5	3
80	4	4	4	4	3,5
100	5	5	5	5	4
125	6	6	6	6	4,5
150	7	8	7	8	5
175	8	9	8	9	5,5
200	9	11	9	11	6
250	11	12	11	12	7
300	12	14	12	14	8
350	14	16	14	16	8
400	14	15	13	15	8,5

Таблица VI.19. Скользящие опоры и опорные подушки

Наружный диаметр тру- бы, D_n , мм	Обозначение опоры по МВН	Размеры опоры, мм, (лист VI.7, рис. 1, 2)			Масса опоры, кг	Размеры по- душки, мм	
		H	L	B		A	B
32	1301-11	106	250	40	1,21	200	
38	1301-12	110					
45	1301-13	113	300	50	1,57		
57	1301-14	118			1,6		
76	1301-15	128			1,9		
89	1301-16	135	400	80	2,59	200	300
108	1301-17	145					
133	1301-18	157			2,76		
159	1301-19	170			2,95		
219	1305-21	200			3,14		
273	1305-22	226	500	150	7,62	400	500
325	1305-23	253		160	7,95		
377	1305-24	278		210	11,6		
426	1305-25	303		230	12,2		
				260	13,9		

Основные размеры и вес скользящих и катковых опор и рекомендуемые пролеты между подвижными опорами при их прокладке приведены в табл. VI.18—VI.20*.

Таблица VI.20. Катковые опоры

D_n , мм	Обозначение опоры по МВН	Размеры опоры, мм (лист VI.7, рис. 3)						Масса опоры, кг
		d_p	H	L	B	A	B	
219	1309-21	50	255	250	136	200	250	11
273	1309-22		283		148	230		12,2
325	1309-23		310	300	190	270	280	16
377	1309-24		355		202	280		16,8
426	1309-25	80	360		237	320		19,4

Вертикальные нагрузки на подвижные опоры определяют по формуле, кгс

$$P = ql, \quad (VI.86)$$

где q — масса 1 м трубопровода (трубы, изоляции и воды), кг (табл. VI.20);

l — пролет между опорами, м.

Горизонтальные нагрузки, возникающие за счет реакции трения опоры при тепловом удлинении трубопровода, определяют по формуле, кгс

$$N_{тр} = \mu ql, \quad (VI.87)$$

где μ — коэффициент трения подвижных опор, равный для скользящих опор 0,3, для катковых — 0,1.

Неподвижные опоры (лист VI.7, рис. 4) закрепляют отдельные точки трубопроводов, делят его на независимые в отношении температурных удлинений участки и воспринимают усилия, возникающие в трубопроводах этих участков при разных схемах компенсации тепловых удлинений.

Неподвижные опоры в камерах при подземной прокладке труб выполняются металлическими и могут быть с вертикальными упорами (МВН 1316—56, 1322—56), лобовыми (МВН 1316—60) и хомутовыми (МВН 2347—63).

Данные по щитовым железобетонным неподвижным опорам приведены на листе VI.7, рис. 5 и в табл. VI.21 и VI.22.

Таблица VI.21. Неподвижные щитовые опоры (лист VI.7, рис. 5)

D_y , мм	Размеры опоры, мм			Осевое усилие от двух труб, т	D_y , мм	Размеры опоры, мм			Осевое усилие от двух труб, т
	A	Б	B			A	Б	B	
50	1100	700	150	1	200	2000	1100	200	15
70	1400	900		1	250	2500	1400	250	20
100				3	300			300	30
125				5	350			350	40
150		5		400	400			50	

* Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. М., Госстройиздат, 1965.

Таблица VI.22. Расстояния, м, между неподвижными опорами трубопроводов с П-образными (П) и сальниковыми (С) компенсаторами

$D_y, \text{ мм}$	Теплоноситель (p в кгс/см ² , t в °С)					
	Вода		Пар			
	$p = 8 \div 16$ $t = 100 \div 150$		$p = 8$ $t = 250$		$p = 13$ $t = 300$	
	П	С	П	С	П	С
25	—		50		50	
32	50		50		50	
40—50	60	—	60	—	60	—
70	70		70		70	
80	80		80		80	
100	80	70	80	60	80	50
125	90		90		90	
150	100		100		90	
175	100	80	100			
200				70	100	60
250	120	100				
300		100	120		120	
350	140	120			120	
400	160	140	140	100	140	80

Примечание Расстояние между неподвижными опорами трубопроводов на участках самокомпенсации рекомендуется принимать не более 60% от указанных для П-образных компенсаторов

Расчет труб на прочность

Расчет трубопроводов тепловых сетей на прочность на основную и дополнительную нагрузки производится в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» Госгортехнадзора СССР*. Основной нагрузкой является внутреннее давление теплоносителя, дополнительными — нагрузки от собственного веса трубопровода, ветровая нагрузка (при надземной прокладке) и нагрузки, возникающие при компенсации тепловых удлинений.

Определение толщины стенки трубы или проверка заданной толщины стенки производится на основную нагрузку. Расчет труб на дополнительные нагрузки проверяются принятые конструктивные размеры (пролеты между опорами, габариты компенсаторов) по допускаемым эквивалентным напряжениям, определяются компенсационные напряжения при известных пролетах между опорами и заданной толщине стенки трубы, определяются допускаемые пролеты.

Толщина стенки трубы s' , находящейся под внутренним давлением p , определяется в зависимости от типа устанавливаемых компенсаторов по формулам, мм:

при гибких компенсаторах

$$s' = \frac{pD_n}{230\sigma_{\text{доп}}\Phi + p} + C; \quad (\text{VI.88})$$

при сальниковых компенсаторах

$$s' = \frac{pD_n}{200\sigma_{\text{доп}}\Phi + p} + C, \quad (\text{VI.89})$$

* Сборник правил и руководящих материалов по котлонадзору. М., «Недра», 1974.

где p — рабочее давление среды, кгс/см^2 ;
 $\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемое напряжение от внутреннего давления, кгс/см^2 ;
 D_n — наружный диаметр трубы, мм ;
 φ — коэффициент прочности продольного шва, принимаемый: для бесшовных труб — 1, для сварных с продольным швом — 0,8, для сварных со спиральным швом — 0,6;
 C — прибавка к расчетной толщине стенки трубы, мм .

Величина прибавки C для бесшовных труб по ГОСТ 8732—70* обычной точности изготовления с допускаемым минусовым отклонением по толщине стенки трубы 15% принимается равной 0,167 s' .

Величина прибавки C для сварных труб принимается по ГОСТ 5681—57* в зависимости от толщины стальных листов, мм :

Толщина листа	5—5,5	6—7	8 и более
C	0,5	0,6	0,8

Допускаемое напряжение $\sigma_{\text{доп}}$ от внутреннего давления принимается равным номинальному допускаемому напряжению $\sigma_{\text{доп}}^*$ (табл. VI.23).

Таблица VI.23. Номинальные допускаемые напряжения $\sigma_{\text{доп}}^*$, кгс/мм^2 , для углеродистых сталей

Расчетная температура стенки, °C	Марка стали			
	Ст 2	10	Ст 3	20
20	13	13	14	14,7
250	10,9	11,2	12	13,2
275	10,3	10,6	11,4	12,6
300	9,8	10	10,8	11,9

Примечание. Для промежуточных значений температуры стенки величина $\sigma_{\text{доп}}^*$ определяется путем интерполяции с округлением до 0,05 кгс/мм^2 в сторону меньшей величины.

Проверка заданной толщины стенки трубы, находящейся под внутренним давлением, должна удовлетворять условию

$$\sigma_{\text{пр}} \leq \sigma_{\text{доп}},$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ — приведенное напряжение от внутреннего давления, кгс/мм^2 .

Приведенное напряжение от внутреннего давления в зависимости от типа устанавливаемых компенсаторов определяется по формулам, кгс/мм^2 :

при гибких компенсаторах

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{p (D_n - s_{\text{расч}})}{230 \cdot s_{\text{расч}} \varphi}; \quad (\text{VI.90})$$

при сальниковых компенсаторах

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{p (D_n - s_{\text{расч}})}{200 \cdot s_{\text{расч}} \varphi}, \quad (\text{VI.91})$$

где s — принятая номинальная толщина стенки трубы, мм (табл. VI.24);

$s_{\text{расч}}$ — расчетная толщина стенки трубы, равная $s - C'$;

C' — минусовый допуск на толщину стенки по соответствующему ГОСТу на трубы.

Для бесшовных труб по ГОСТ 8732—70* обычной прочности изготовления $C' = 0,15 s$; для сварных труб принимается $C' = C$, но не менее 0,5 мм .

Таблица VI.24. Основные расчетные характеристики труб

Диаметры, мм			Масса 1 м трубы с во- дой, кг	Площадь се- чения трубы, F , см ²	Толщина стенки трубы, мм		Площадь стенки трубы, см ²		Момент инерции, см ⁴		Момент сопротив- ления, см ⁴	
наружный D_H	внутрен- ний D_B	внутренний при расчетной толщи- не стенки трубы D_B расч			номи- наль- ная s	расчет- ная $s_{расч}$	f	$f_{расч}$	I	$I_{расч}$	W	$W_{расч}$
32	27	28	2,33	8,04	2,5	2	2,31	1,88	2,54	2,13	1,59	1,33
38	33	34	3,05	11,34	2,5	2	2,79	2,26	4,41	3,68	2,32	1,93
45	40	41	3,88	15,9	2,5	2	3,30	2,70	7,56	6,26	3,36	2,78
57	50	51,06	6,58	25,52	3,5	2,97	5,92	5,04	21,1	18,4	7,42	6,46
76	69	70,06	10,0	45,36	3,5	2,97	7,96	6,81	52,5	45,5	13,8	11,96
89	82	83,06	12,66	62,21	3,5	2,97	9,41	8,02	86,1	74,7	19,3	16,8
108	100	101,2	18,11	91,61	4	3,4	13,11	11,17	177	153	32,8	28,3
133	125	126,2	25,0	138,9	4	3,4	16,2	13,8	338	291	50,8	43,8
159	150	151,4	34,82	198,6	4,5	3,82	21,9	18,5	652	560	82	70,5
219	207	208,8	65,17	376,7	6	5,1	40,2	34,2	2279	1960	208	119
273	259	261,1	98,61	585,3	7	5,95	58,4	49,9	5177	4450	379	326
325	309	311,4	137,58	829,6	8	6,8	79,7	68,8	10014	8600	616	529
	307	309,7			9	7,65		76,3				
377	359	361,7	182,88	1116	9	7,65	104	89	17624	15140	935	803
	357	360			10	8,5		98				
426	408	410,7	227,15	1425	9	7,65	118	100	25640	21990	1204	1032
	414	415,2			6	5,4		71				

Примечание. Номинальная толщина стенок труб s принята по сортаменту труб тепловых сетей. Расчетная толщина стенок труб $s_{расч}$, которая принимается для расчета на прочность от внутреннего давления и внешних нагрузок, дана с учетом допускаемого минусового отклонения по толщине стенок трубы, предусмотренного ГОСТами на трубы.

Компенсация тепловых удлинений трубопроводов

Величина теплового удлинения трубопровода определяется по формуле, мм

$$\Delta l = \alpha l (t_1 - t_2), \quad (\text{VI.92})$$

где α — коэффициент линейного расширения углеродистых трубных сталей, мм/м · °С (табл. VI.25);

l — длина рассматриваемого участка трубопровода, м;

t_1 — максимальная температура стенки трубы, принимаемая равной максимальной температуре теплоносителя, °С;

t_2 — минимальная температура стенки трубы, принимаемая равной расчетной температуре наружного воздуха для отопления ($t_2 = t_{н.о.}$).

Таблица VI.25. Коэффициенты линейного расширения трубных сталей α и модуль упругости E

Температура стенки трубы, °С	$\alpha \cdot 10^2$, мм/м · °С	$E \cdot 10^{-6}$, кгс/см ²	Темпера- тура стен- ки трубы, °С	$\alpha \cdot 10^2$, мм/м · °С	$E \cdot 10^{-6}$, кгс/см ²	Темпера- тура стен- ки трубы, °С	$\alpha \cdot 10^2$, мм/м · °С	$E \cdot 10^{-6}$, кгс/см ²
20	1,18	2,05	150	1,25	1,93	250	1,31	1,82
75	1,20	1,99	175	1,27	1,915	275	1,32	1,79
100	1,22	1,975	200	1,28	1,875	300	1,34	1,755
125	1,24	1,95	225	1,30	1,847	325	1,35	1,727

Для компенсации тепловых удлинений трубопроводов применяются сальниковые и гибкие П-образные компенсаторы, а также используются повороты трассы (самокомпенсация).

Для обеспечения правильной работы компенсаторов и самокомпенсации трубопроводы делятся неподвижными опорами на отдельные участки, независимые один от другого в отношении теплового удлинения. На каждом участке трубопровода, ограниченном смежными неподвижными опорами, предусматривается установка компенсатора или самокомпенсация.

Установка компенсаторов (сальниковых, гибких) вызывает дополнительные затраты при монтаже и в период эксплуатации, поэтому при разработке монтажной схемы необходимо стремиться к минимальному количеству их.

При расстановке по трассе неподвижных опор нужно иметь в виду следующее: неподвижные опоры устанавливаются в первую очередь в местах ответвлений трубопровода;

самокомпенсацию теплового удлинения можно использовать при величине образуемого трубами угла не более 120°; при больших углах трубы должны быть закреплены;

при расстановке неподвижных опор на остальных прямых участках исходят из допускаемых расстояний между неподвижными опорами в зависимости от диаметра труб, типа компенсаторов и параметров теплоносителя (см. табл. VI.22).

При подземной прокладке за пределами населенных мест и при надземной прокладке применяются гибкие компенсаторы. В тепловых сетях городов и поселков на трубопроводах диаметром более 100 мм обычно применяются сальниковые компенсаторы стальные односторонние и двусторонние по МВН 2593—61 и МВН 2598—61 на условное давление до 16 кгс/см² (лист VI.8, рис. 1, 2, табл. VI.26).

Расчетную компенсирующую способность сальниковых компенсаторов принимают меньше указанной в табл. VI.26 на величину Z , которая учитывает возможное смещение неподвижных опор и неточность изготовления. Значение величины Z принимают равным 40—50 мм для односторонних и 100 мм для двусторонних компенсаторов.

При определении габаритов камер в случае неполного использования компенсирующей способности компенсатора установочную его длину $L_{уст}$ находят по формуле

Таблица VI 26 Основные характеристики сальниковых компенсаторов по МВН 2593—61 и 2598—61 (см лист VI.8, рис. 1, 2)

D_y , мм	D_H , мм	Наружный диаметр расточки стакана $D_{C H}$, мм	Площадь сечения стакана F_C , см ²	Наружный диаметр фланцев $D_{Ф H}$, мм	Наружный диаметр корпуса $D_{К H}$, мм	Длина компенсатора A_M , мм	Наибольшая компенсирующая способность l_K , мм	Масса, кг
100	108	104	85	190	133	820/1620	250/2 × 250	20,5/41,6
125	133	128	129	115	159	835/1620		25,4/49,9
150	159	154	186	250	194	990/1900		43,8/86,4
200	219	212	353	345	273	1160/2160		92/177
250	273	265	552	395	325	1210/2160	300/2 × 300	125,9/243
300	325	318	794	450	377	1170/2160		158/305
350	377	370	1075	500	426	1175/2160		167/318
400	426	418	1372	560	478	1360/2560	400/2 × 400	212/405

Примечание. В числителе указаны размеры для одностороннего компенсатора (МВН 2593—61), в знаменателе — для двустороннего (МВН 2598—61)

$$L_{уст} = A - Z - (L_{расч} - \Delta l), \quad (VI.93)$$

где $L_{расч}$ — расчетная компенсирующая способность компенсатора, мм

Монтажная длина сальникового компенсатора L_M определяется с учетом температуры наружного воздуха при монтаже трубопроводов по формуле

$$L_M = L_{уст} - 0,0125 (t_M - t_{H O}) l, \quad (VI.94)$$

где t_M — температура наружного воздуха, при которой производится монтаж трубопровода, °С.

Пример VI.9. Определить тепловое удлинение участка трубопровода, установочную и монтажную длину одностороннего сальникового компенсатора. Длина участка между неподвижными опорами $l = 80$ м, $D_y = 400$ мм, максимальная температура теплоносителя $t = 150$, $t_{H O} = -21$, $t_M = +10^\circ$ С.

По табл. VI.26 находим максимальную длину компенсатора $A_M = 1360$ мм и наибольшую его компенсирующую способность $l_K = 400$ мм.

Определяем тепловое удлинение участка по формуле (VI.92)

$$\Delta l = 1,25 \cdot 10^{-2} (150 + 21) 80 = 170 \text{ мм.}$$

Расчетная компенсирующая способность компенсатора

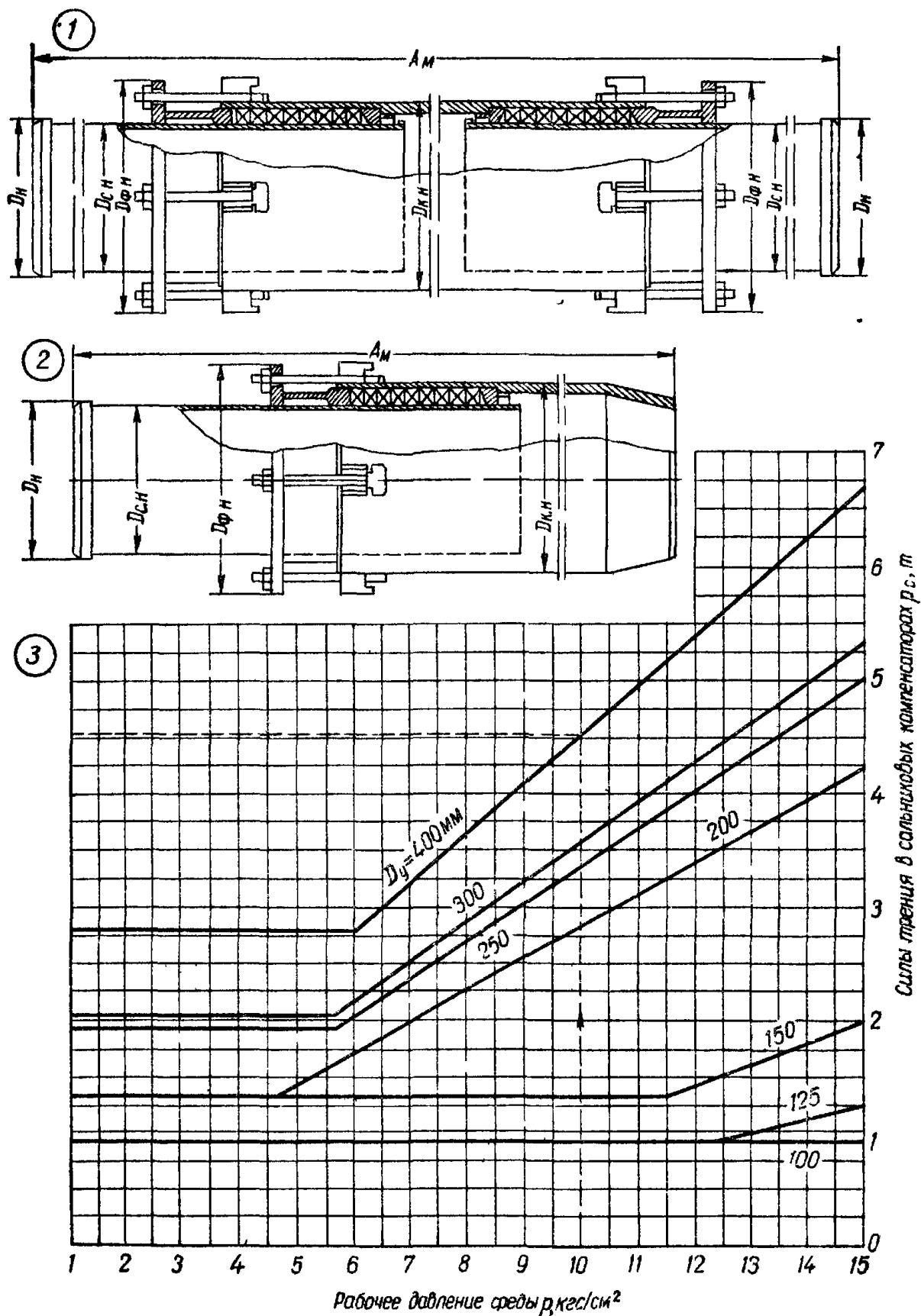
$$L_{расч} = 400 - 40 = 360 \text{ мм}$$

Установочная длина компенсатора по формуле (VI 93)

$$L_{уст} = 1360 - 40 - (360 - 170) = 1130 \text{ мм}$$

Монтажная длина компенсатора по формуле (VI.94)

$$L_M = 1130 - 0,0125 (10 + 21) 80 = 1100 \text{ мм.}$$



Лист VI.8. Компенсаторы

1 — сальниковый двухсторонний по МВН 2998 61, 2 — то же, односторонний по МВН 2593 61, 3 — номограмма для определения сил трения сальниковых компенсаторов.

Расчет трубопроводов на компенсацию тепловых удлинений с гибкими компенсаторами и при самокомпенсации производят на допускаемое изгибающее компенсационное напряжение $\sigma_{\text{доп}}$, которое зависит от способа компенсации, схемы участка и других расчетных величин. Определяется $\sigma_{\text{доп}}$ расчетом. Для труб тепловых сетей (ГОСТ 8732—70* и ГОСТ 10704—63*) величину $\sigma_{\text{доп}}$ для усредненных условий можно принимать равной:

для расчета П-образных компенсаторов на холодное состояние (с предварительной растяжкой) при $p_{\text{раб}} = 16 \text{ кгс/мм}^2$, $t = 150^\circ \text{C}$ и $p = 14 \text{ кгс/мм}^2$; $t = 300^\circ \text{C}$ $\sigma_{\text{доп}} = 11 \text{ кгс/мм}^2$;

для расчета участков самокомпенсации на рабочее состояние при $p_{\text{раб}} = 16 \text{ кгс/мм}^2$, $t = 150^\circ \text{C}$ $\sigma_{\text{доп}} = 8 \text{ кгс/мм}^2$.

Расчеты компенсации трубопроводов весьма трудоемки, поэтому для их облегчения обычно пользуются номограммами и вспомогательными таблицами.

На листах VI.9—VI.13 приведены разработанные ВГПИ «Теплоэлектропроект» номограммы для определения вылетов и сил упругой деформации П-образных компенсаторов в зависимости от величины расчетного теплового удлинения Δl и размера спинки компенсатора B . При составлении номограмм приняты следующие условия:

допускаемое изгибающее компенсационное напряжение на спинке компенсатора в холодном состоянии $\sigma_{\text{доп}} = 11 \text{ кгс/мм}^2$;

модуль упругости трубной стали при температуре 20°C $E = 2,05 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$;

длина прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете, с каждой стороны компенсатора одинакова и равна $l_{\text{п}} = 40 D_y$;

для компенсаторов со сварными отводами коэффициент гибкости отводов k и коэффициент концентрации напряжений m приняты равными единице, а радиус оси отвода — условно равным нулю ($R = 0$);

предварительная растяжка компенсатора не учтена.

Для увеличения компенсирующей способности П-образного компенсатора и снижения компенсационных напряжений в трубопроводе в проектах, как правило, предусматривается предварительная растяжка компенсатора в размере 50% теплового удлинения (при $t < 250^\circ \text{C}$). Таким образом, расчетное тепловое удлинение участка, мм

$$\Delta l_{\text{расч}} = 0,5 \Delta l. \quad (\text{VI.95})$$

При длине прилегающих свободных плеч меньше $40 D_y$ следует вводить поправочные коэффициенты на величину компенсирующей способности компенсатора n_1 и на силу упругой деформации n_2 . Для длины прилегающих плеч $l_{\text{п}} = 10 D_y$ эти коэффициенты равны соответственно 0,9 и 1,3; при $l_{\text{п}} = 0$ — соответственно 0,8 и 1,7. При промежуточных значениях $l_{\text{п}}$ величина поправочных коэффициентов определяется методом интерполяции.

Искомые величины определяются по формулам:

$$\Delta l'_{\text{расч.к}} = \Delta l_{\text{расч.к}} n_1; \quad (\text{VI.96})$$

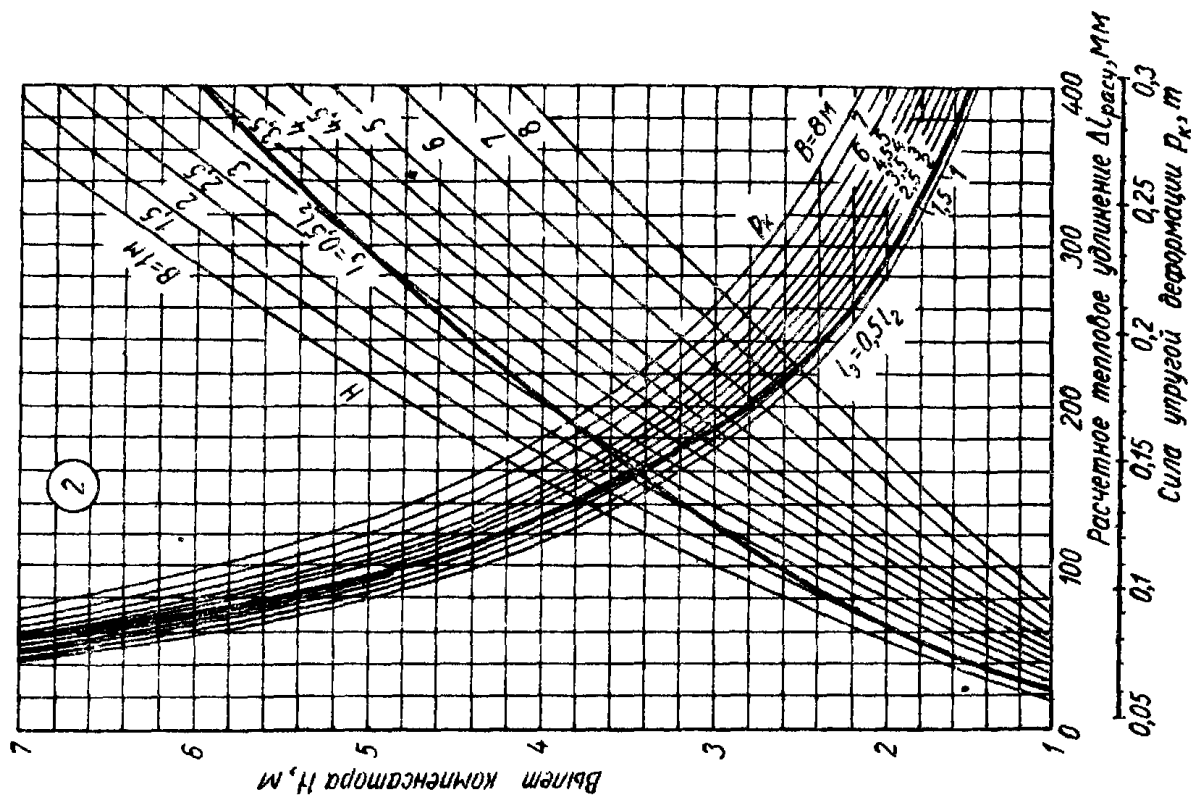
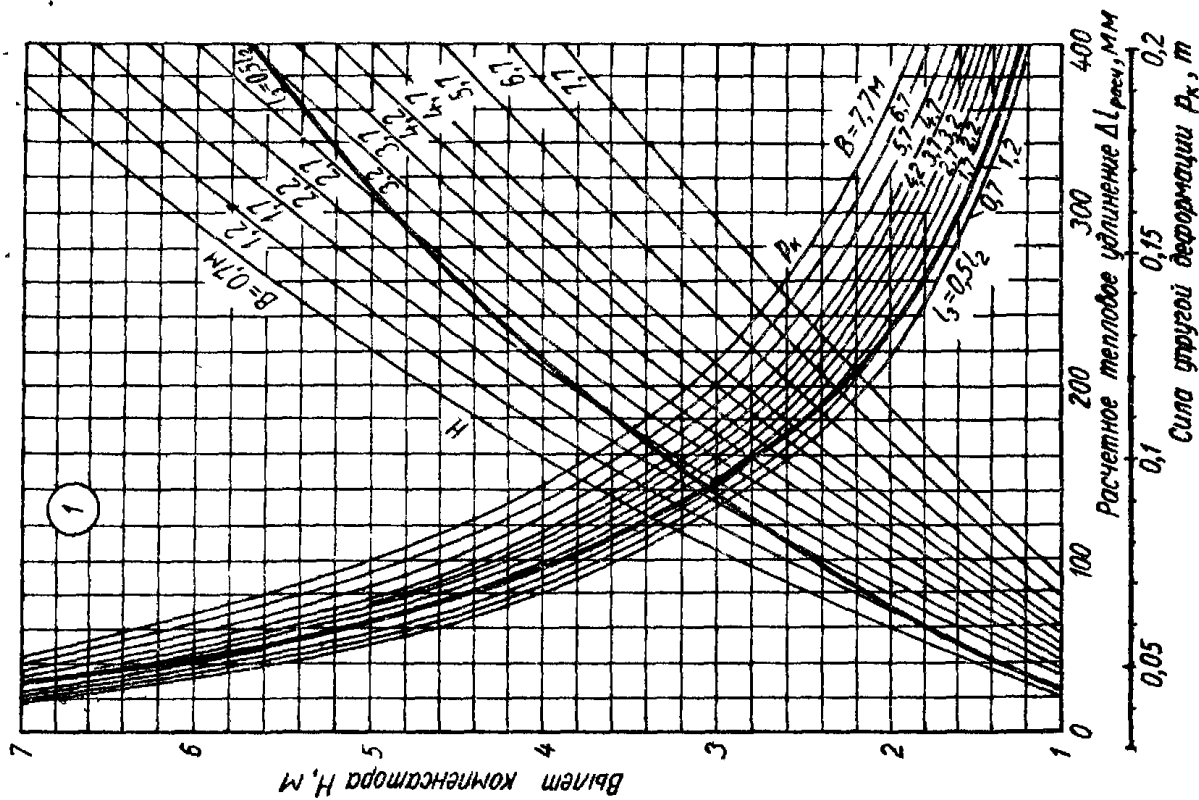
$$p'_k = p_k n_2, \quad (\text{VI.97})$$

где $\Delta l'_{\text{расч.к}}$ — расчетная компенсирующая способность компенсатора, мм.

Если П-образный компенсатор расположен не посередине участка, а смещен в сторону одной из неподвижных опор, значение силы упругой деформации и напряжения по сравнению с компенсатором, расположенным посередине, увеличивается примерно на 20—40%.

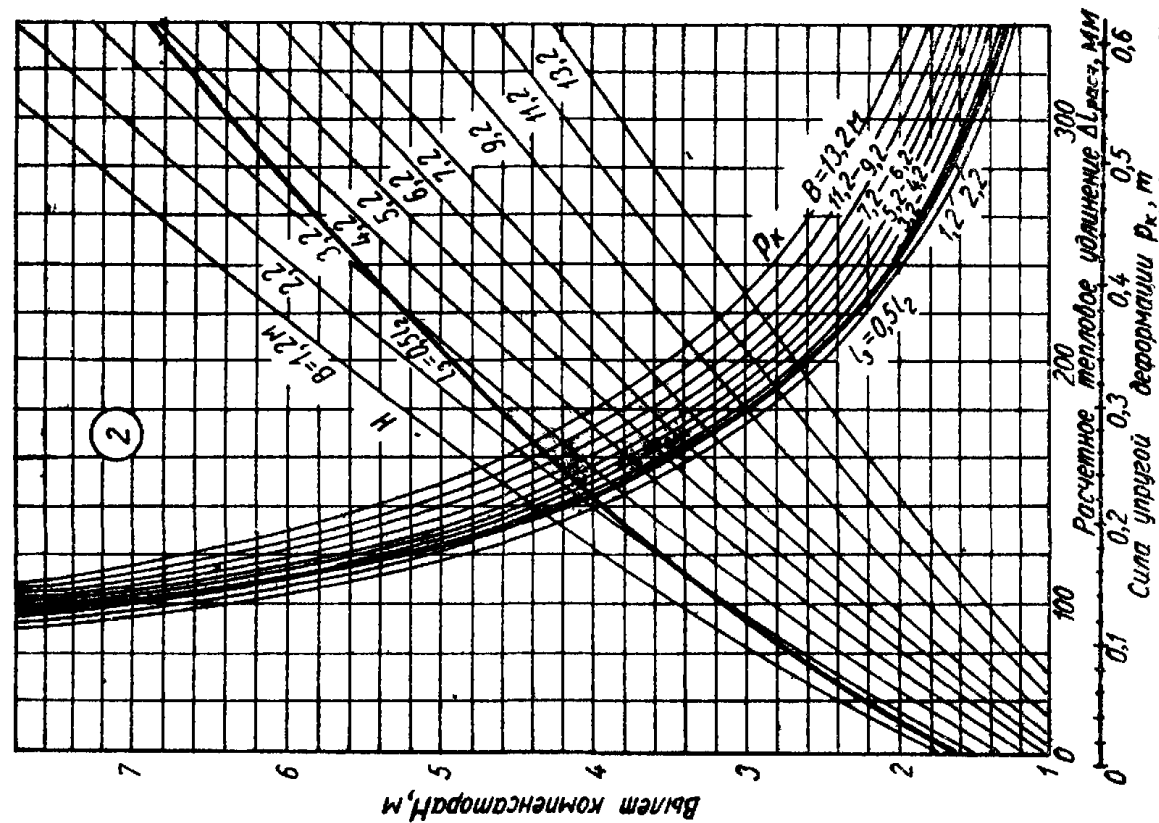
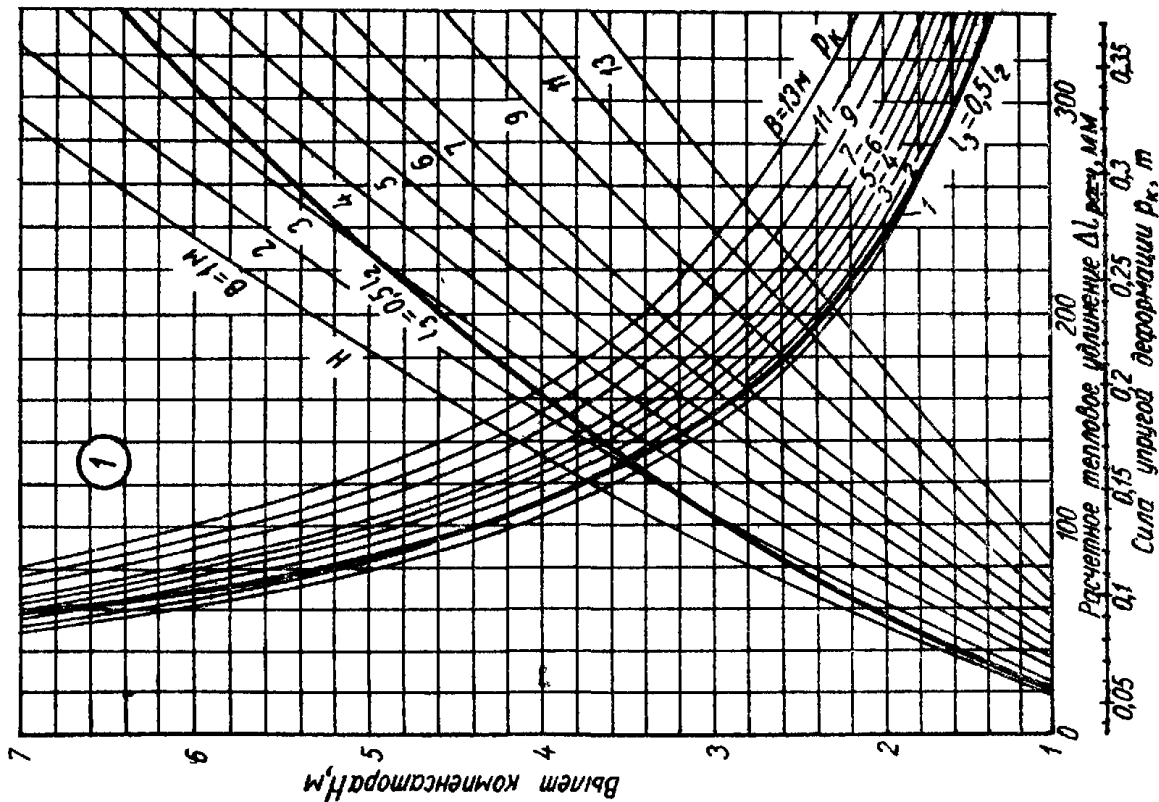
Для расчетов трубопроводов при самокомпенсации в табл. VI.27 приведены упрощенные формулы для определения изгибающего компенсационного напряжения σ и сил упругой деформации в зависимости от схемы участка, длин плеч и диаметров трубопроводов. Для облегчения этих расчетов на листе VI.14 и в табл. VI.28 приведены вспомогательные данные для вычисления величин σ и p .

При Z-образной конфигурации участка трубопровода максимальное напряжение в зависимости от значения коэффициентов p и n может быть в точках c , b или d (лист VI.15).



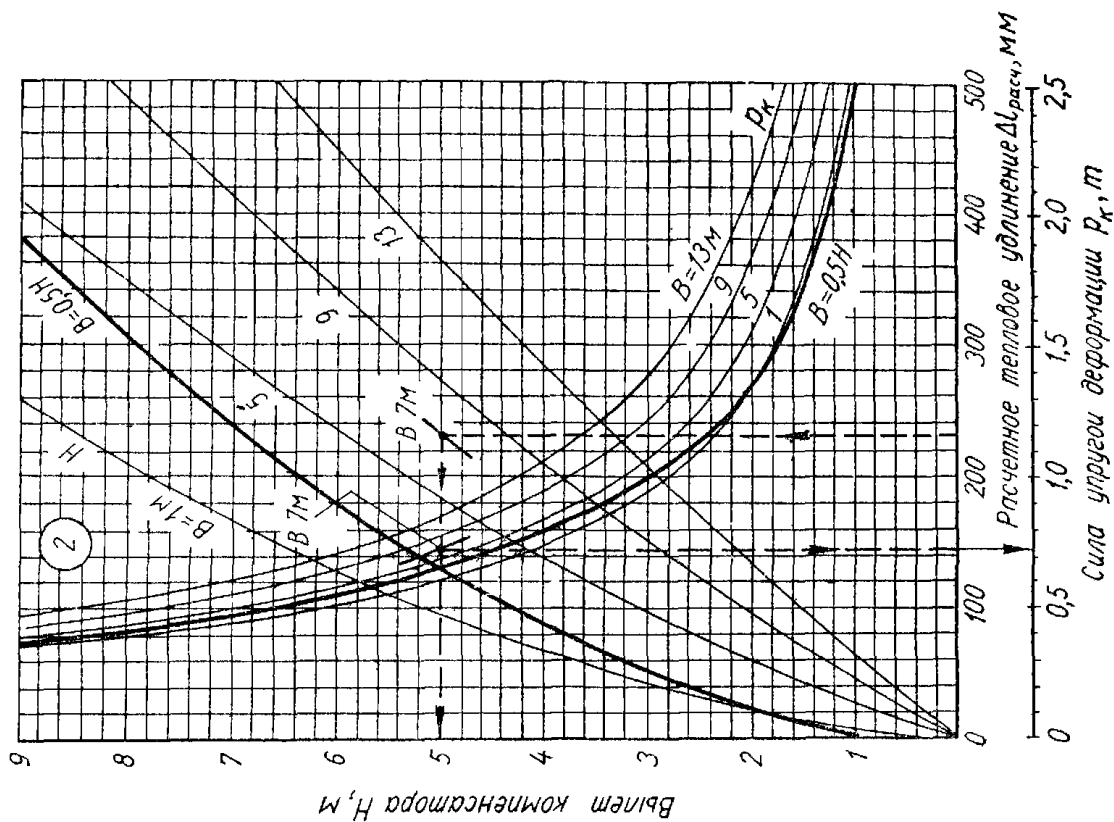
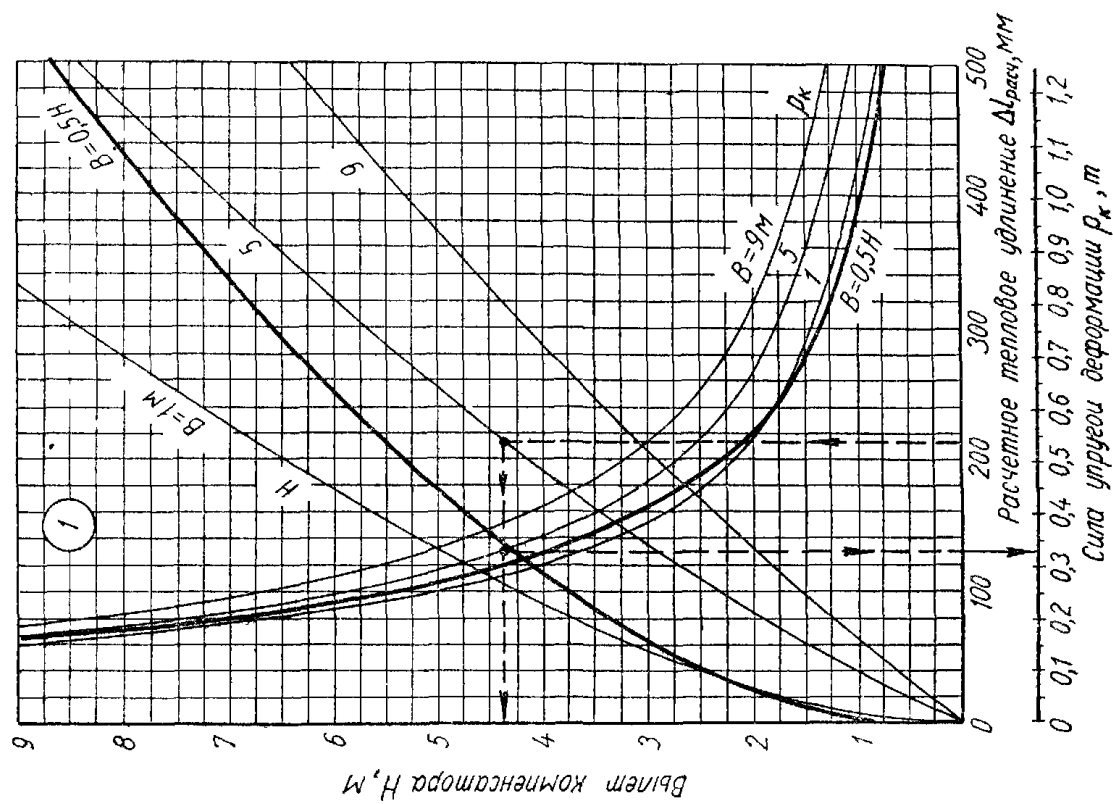
Лист VI.10. Номограммы для расчета П-образных компенсаторов с гнутыми гладкими отводами:

1 — $D_B = 89, s = 3,5, R = 350 мм$; 2 — $D_B = 108, s = 4, R = 500 мм$.



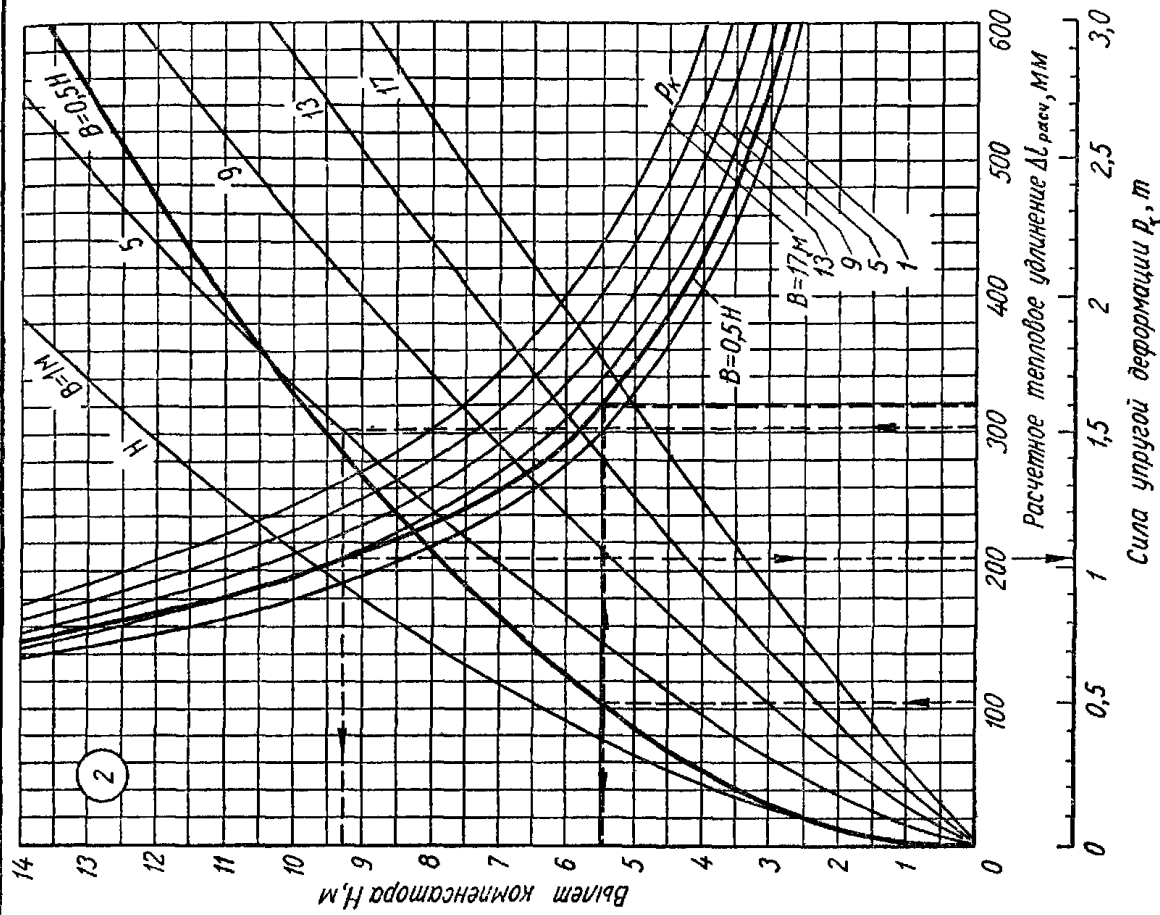
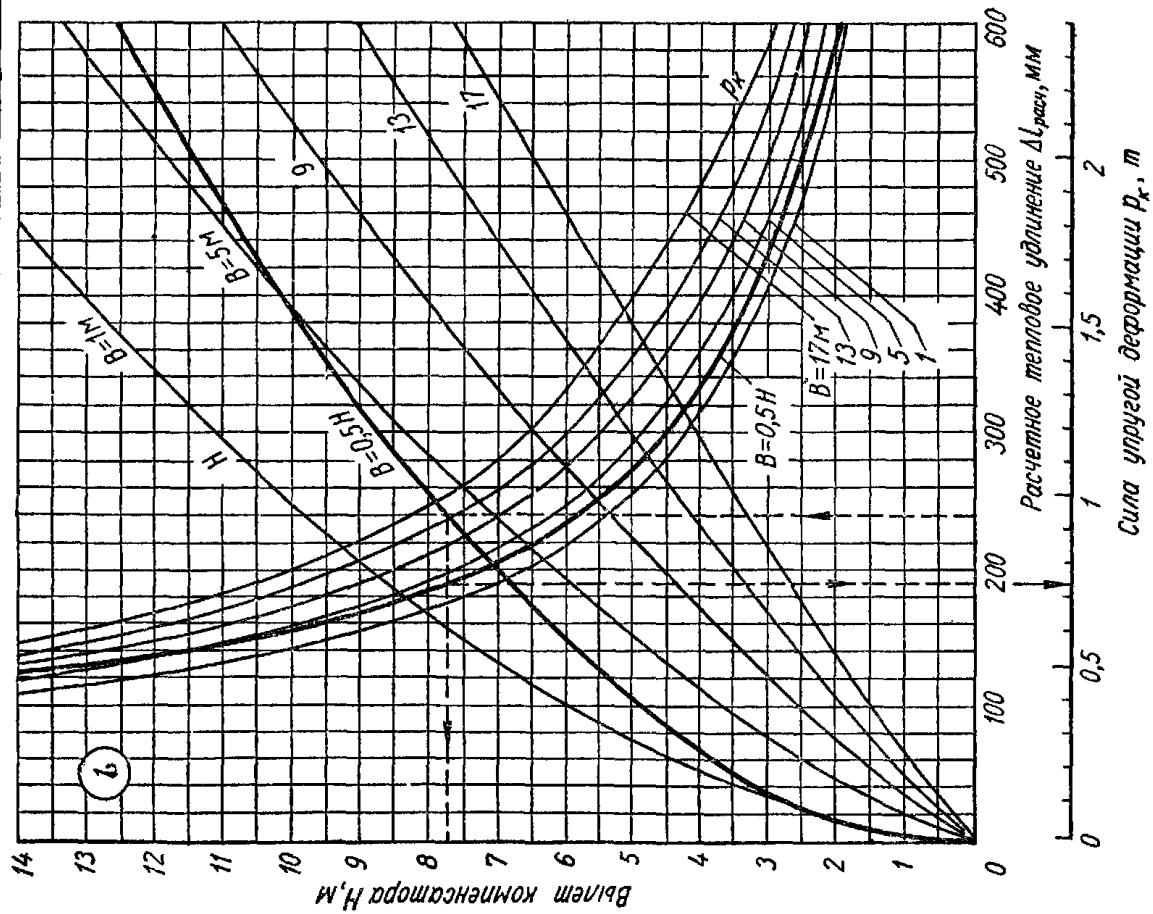
Лист VI.11. Номограммы для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами:

1 — $D_B = 133$, $s = 4$, $R = 500$ мм; 2 — $D_B = 159$, $s = 4.5$, $R = 600$ мм.



Лист VI.12. Номограммы для расчета П-образных компенсаторов со сварными отводами;

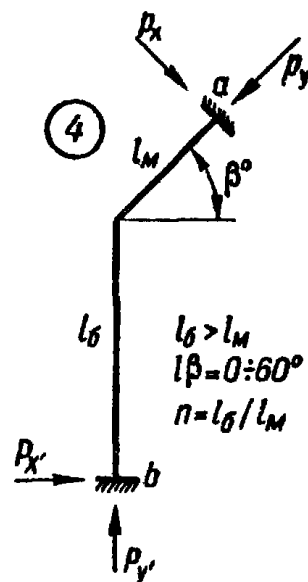
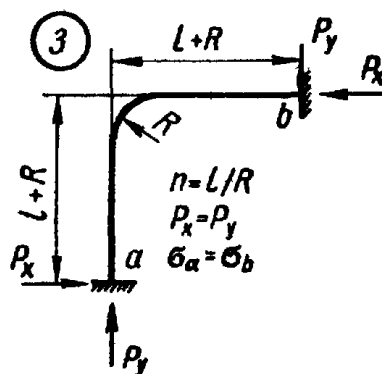
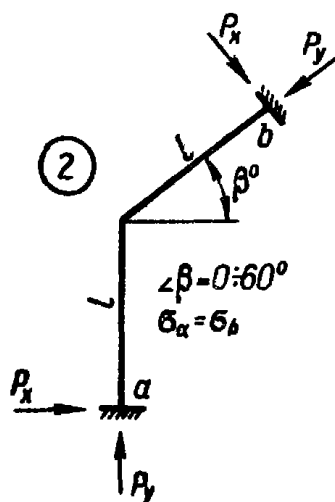
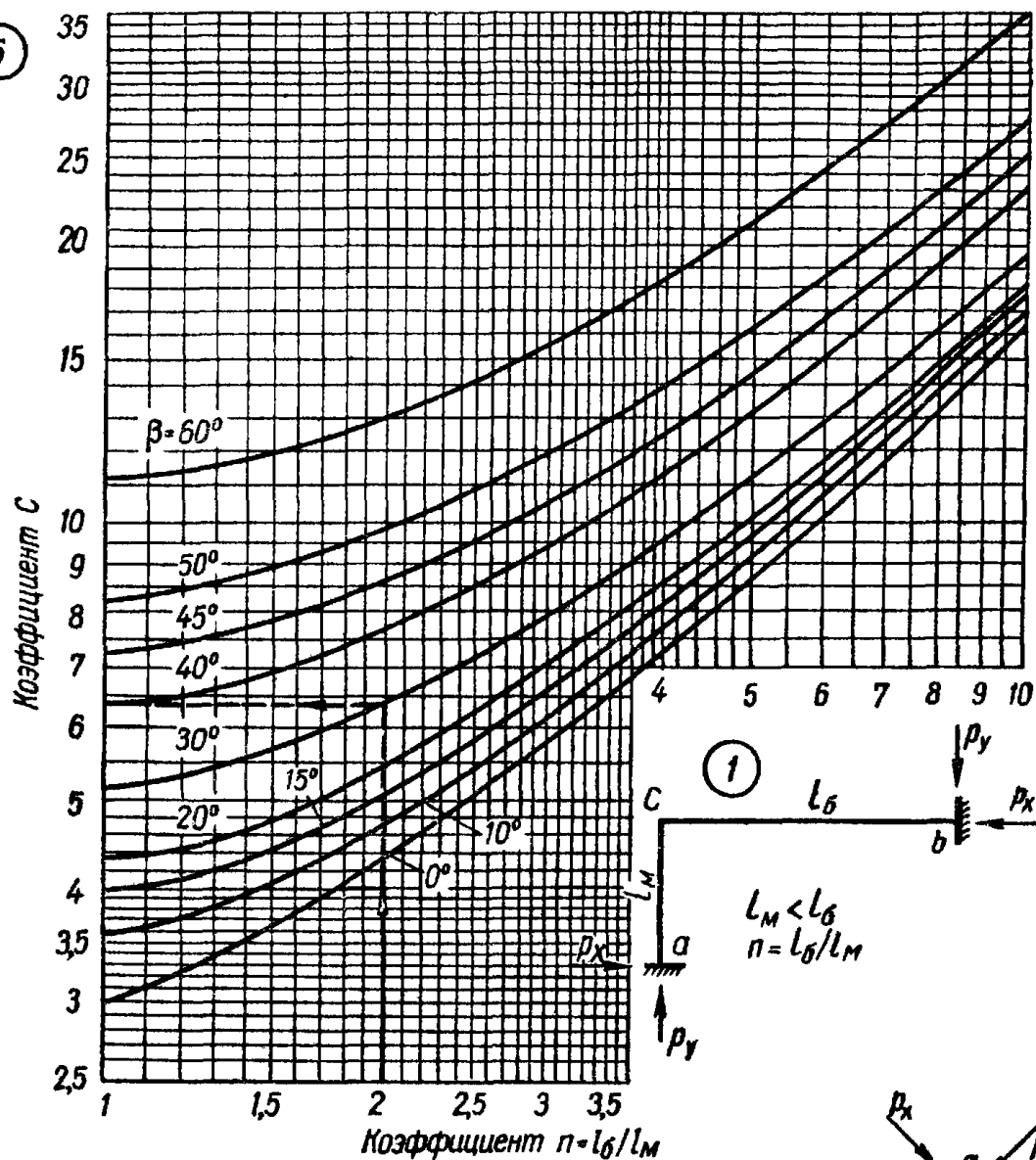
$t \leftarrow D_H = 159, s = 4.5, 2 \leftarrow D_H = 219, s = 6 \text{ мм.}$



Лист VI.13. Номограммы для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами:

1 — $D_H = 273$, $s = 7$ мм; 2 — $D_H = 325$, $s = 8$ мм.

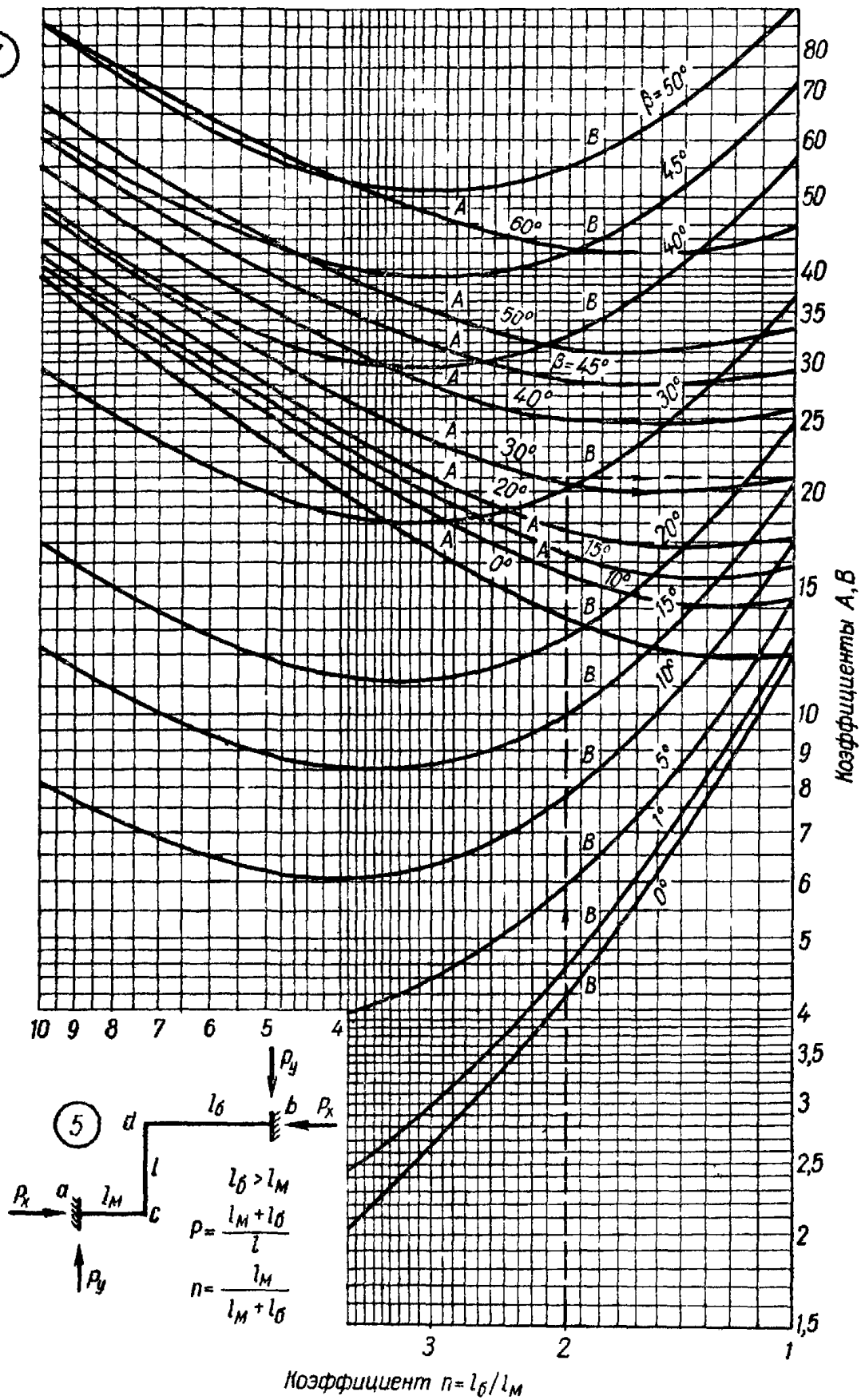
6



Лист VI.14. Расчет участков тру

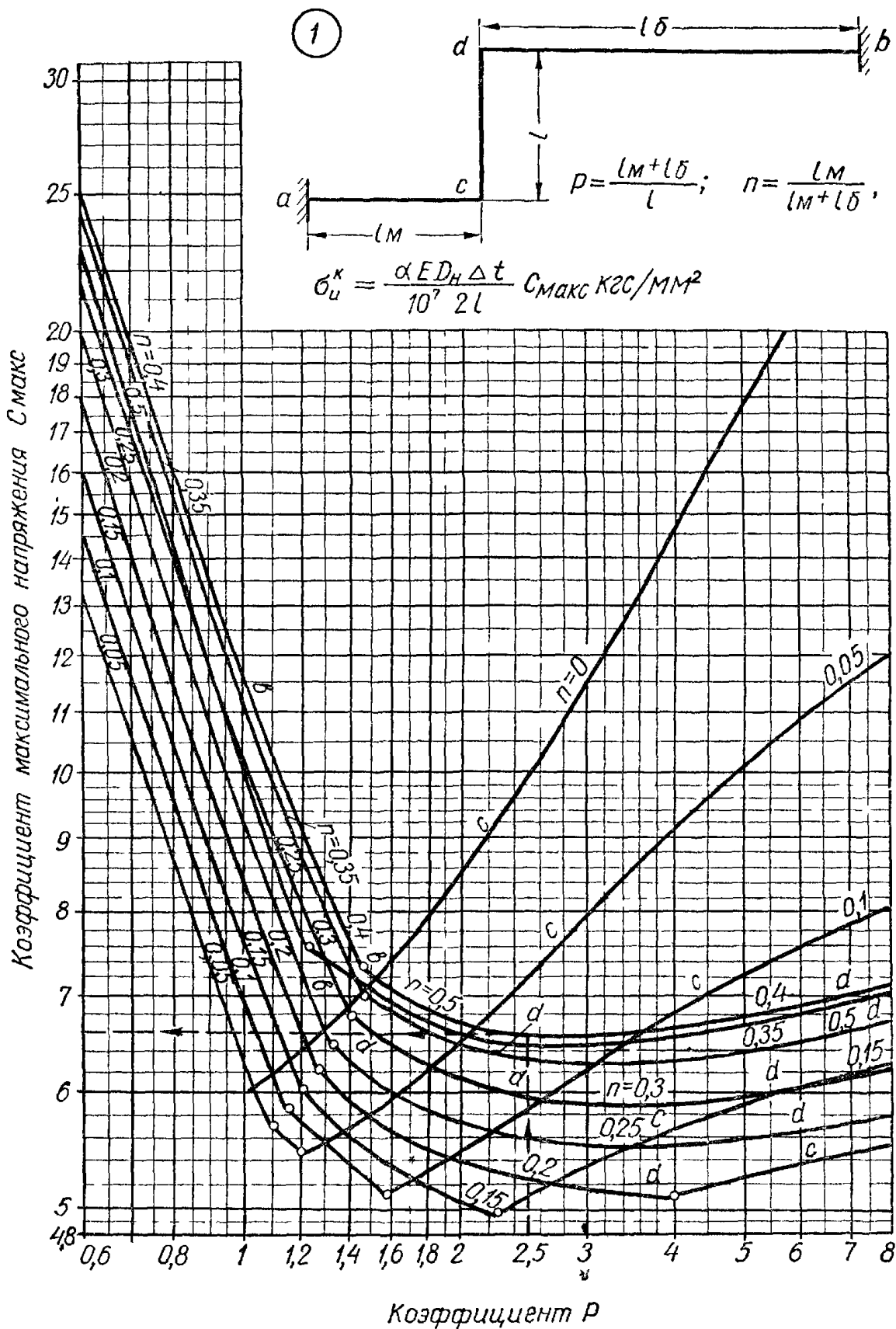
1, 2, 3, 4 и 5 — схемы расчетных участков, 6 — номограмма для определения безразмер-
90° без учета гибкости отвода, 7 — то же, коэффициентов A и B

7

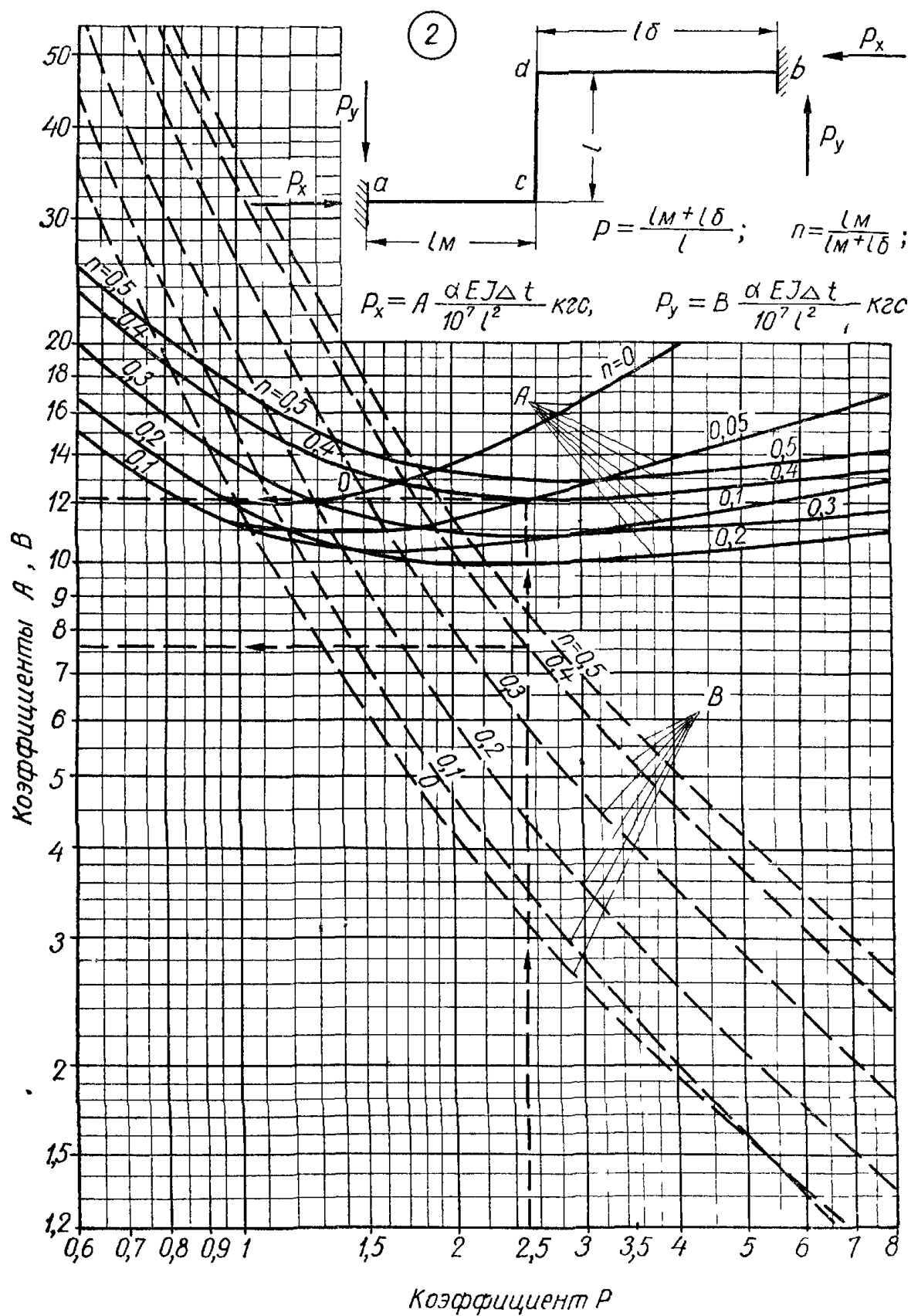


Сопроводов на самокомпенсацию:

ного коэффициента C для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше при определении упругой деформации в заделке меньшего плеча.



Лист VI.15. Номограммы для определения коэффициентов при рас
 l — коэффициента $C_{\text{макс}}$



чете Z-образного участка трубопровода без учета гибкости отвода;

2 — коэффициентов A и B .

Таблица VI.27. Формулы для определения сил упругой деформации p_x и p_y , кгс, и изгибающих компенсационных напряжений σ , кгс/мм²

Схема расчетного участка (лист VI.14)	Расчетные формулы
1	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; \sigma_a = C_b \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M}; \sigma_b = C_b \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M};$ $\sigma_c = C_c \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M}$
2	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; \sigma_a = C \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l}$
3	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot R^2}; \sigma_a = C \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 R}$
4	$p_x^I = A^I \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_y^I = B^I \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2};$ $\sigma_a = C \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M}$
5	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; \sigma_a = C_a \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l}; \sigma_c = C_c \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l};$ $\sigma_d = C_d \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l}; \sigma_b = C_b \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l}$

Примечание. Индексами a, b, c и d обозначены точки на схеме, для которых определяют изгибающие компенсационные напряжения σ и коэффициенты A, B, C (лист VI.14), R —радиус оси гнутой трубы

Таблица VI.28. Вспомогательные величины для вычисления p_x, p_y и σ

D_H , см	s , мм	R , м	$\frac{\alpha E l}{10^7}$, кгс · м ² /°С	$\frac{\alpha E D}{10^7}$, кгс · м/мм ² · С	$\frac{\alpha E l}{10^7 \cdot R^2}$, кгс/°С	$\frac{\alpha E D_H}{10^7 \cdot R}$, кгс/мм ² · °С
3,2	2,5	0,15	0,0361	0,00768	0,271	0,0512
3,8	2,5	0,15	0,0106	0,00912	0,46	0,0608
4,5	2,5	0,2	0,0181	0,0108	0,454	0,054
5,7	3,5	0,2	0,0506	0,0137	1,27	0,0685
7,6	3,5	0,35	0,126	0,0182	1,03	0,0521
8,9	3,5	0,35	0,206	0,0214	1,69	0,0611
10,8	4	0,5	0,425	0,0259	1,7	0,0518
13,3	4	0,5	0,809	0,0319	3,24	0,0633
15,9	4,5	0,6	1,56	0,0382	4,35	0,0636
19,4	5	0,7	3,18	0,0466	6,5	0,0665
21,9	6	0,85	5,47	0,0526	7,57	0,0618
27,3	7	1	12,4	0,0655	12,4	0,0655
32,5	8	1,2	24	0,078	16,7	0,065
37,7	9	1,5	42,3	0,0905	18,8	0,0604
42,6	9	1,7	61,6	0,102	21,3	0,0601

Пример VI.10. Определить вылет П-образного компенсатора со сварными отводами и силу упругой деформации при следующих данных:

D_y , мм	300
Расстояние между неподвижными опорами, мм	100
Максимальная температура теплоносителя, t_1 °C	150
Расчетная температура наружного воздуха $t_{н\ o}$, °C	—20

Тепловое удлинение определяем по формуле (VI.92).

$$\Delta l = 1,25 \cdot 10^{-2} \cdot 100 (150 + 20) = 212,5 \text{ мм.}$$

Расчетное тепловое удлинение с учетом предварительной растяжки в размере 50% (температура теплоносителя до 250° C) составит

$$\Delta l_{\text{расч}} = 0,5 \cdot 212,5 = 106 \text{ мм.}$$

При спинке компенсатора, равной половине вылета компенсатора, т. е. при $B = 0,5 H$ и при $\Delta l_{\text{расч}} = 106 \text{ мм}$, по номограмме на листе VI.13, рис. 2 находим вылет компенсатора $H = 5,5 \text{ м}$ и силу упругой деформации $p_k = 1,6 \text{ Т}$.

Пример VI.11. Проверить возможность использования для самокомпенсации Г-образного участка трубопровода при следующих данных:

Наружный диаметр D_n , см	32,5
Толщина стенки трубы s , мм	8
Угол поворота, град	120
Длина большого плеча l_b , м	30
Длина меньшего плеча l_m , м	15
Максимальная температура теплоносителя, °C	150
Расчетная температура наружного воздуха t_n , °C	—30

Решаем задачу по формулам для схемы 4 (табл. VI.27): расчетный угол $\beta = 120 - 90 = 30^\circ$; соотношение плеч $n = \frac{30}{15} = 2$; расчетная разность температур $\Delta t = 150 - (-30) = 180^\circ \text{ C}$.

По номограммам (лист VI.14, рис. 6,7) определяем значения вспомогательных коэффициентов при $n = 2$ и $\beta = 30^\circ$: $C = 6,4$; $A = 21$; $B = 20$.

Определяем значения вспомогательных величин для $D_n = 32,5 \text{ см}$ и $s = 8 \text{ мм}$ по табл. VI.28:

$$\frac{\alpha E j}{10^7} = 24 \text{ кгс/}^\circ\text{C}; \quad \frac{\alpha E D_n}{10^7} = 0,078 \text{ кгс} \cdot \text{м/мм}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Продольное изгибающее компенсационное напряжение в заделке меньшего плеча

$$\sigma_a = 6,4 \cdot 0,078 \frac{180}{15} = 5,98 \text{ кгс/мм}^2.$$

Полученное значение σ_a не превышает заданного предела 8 кгс/мм^2 , следовательно, размеры плеч достаточны.

Силы упругой деформации в заделке меньшего плеча составляют:

$$p_x = 21 \cdot 24 \frac{180}{15^2} = 405 \text{ кгс}; \quad p_y = 20 \cdot 24 \frac{180}{15^2} = 385 \text{ кгс}.$$

Пример VI.12. Проверить возможность использования для самокомпенсации Z-образного участка трубопровода, исходные данные следующие:

Максимальная температура теплоносителя, °C	150
Наружный диаметр трубопровода D_n , см	42,6
Толщина стенки трубы s , мм	6
Длина меньшего параллельного плеча l_m , м	24
То же, большего l_b , м	36
Длина перпендикулярного плеча l , м	24
Расчетная температура наружного воздуха t_n , °C	—20

Решение выполняется по формулам для схемы 5 (см. табл. VI.27): соотношение плеч

$$p = \frac{24 + 36}{24} = 2,5; \quad n = \frac{24}{24 + 36} = 0,4;$$

расчетная разность температур

$$\Delta t = 150 + 20 = 170^\circ \text{C}.$$

По номограммам (лист VI.15) определяем вспомогательные коэффициенты A , B и C при $p = 2,5$ и $n = 0,4$. $C_{\text{макс}} = 6,6$. Из графика следует, что максимальное напряжение будет в точке d (см. лист VI.14, рис. 5), т. е. $C_{\text{макс}} = C_{(d)}$; $A = 12,1$; $B = 7,6$.

По табл. VI.28 находим вспомогательные величины для $D_n = 42,6 \text{ см}$ и $s = 6 \text{ мм}$

$$\frac{\alpha EI}{10^7} = 41,9 \text{ кгс/м}^2/^\circ\text{C}; \quad \frac{\alpha E D_n}{10^7} = 0,102 \text{ кгс/мм}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Продольное изгибающее компенсационное напряжение в точке d

$$\sigma_d = 6,6 \cdot 0,102 \frac{170}{2 \cdot 24} = 2,38 \text{ кгс/мм}^2.$$

Полученное значение σ не превышает заданного предела 8 кгс/мм^2 , следовательно, Z-образный участок трубопровода может быть использован для самокомпенсации.

Определяем силы упругой деформации

$$p_x = 12,1 \cdot 41,9 \frac{170}{24^2} = 150 \text{ кгс};$$

$$p_y = 7,6 \cdot 41,9 \frac{170}{24^2} = 92 \text{ кгс}.$$



Определение усилий на неподвижные опоры

Усилия, воспринимаемые неподвижными опорами, складываются из неуравновешенных сил внутреннего давления, сил трения в сальниковых компенсаторах и в подвижных опорах и сил упругой деформации П-образных компенсаторов и самокомпенсации. При определении усилий на неподвижные опоры учитывается схема участка трубопровода, тип подвижных опор и компенсирующих устройств, расстояния между неподвижными опорами и наличие запорных органов и ответвлений.

Коэффициент трения для скользящих опор $\mu = 0,3$, для катковых $\mu = 0,1$. Рабочее давление принимается максимально возможным (с учетом рельефа местности).

В табл. VI.29 приведены наиболее характерные схемы расчетных участков трубопроводов и расчетные формулы. Неравномерность затяжки сальников компенсаторов и работы подвижных опор учитывается коэффициентом 0,3.

Силы трения в сальниковых компенсаторах определяют по формулам, m :
от затяжки болтов

$$p_c = \frac{400n}{f_n} \pi D_{c.n} b \mu \cdot 10^{-3}; \quad (\text{VI.98})$$

от внутреннего давления

$$p_c = 2p \pi D_{c.n} b \mu \cdot 10^{-3}, \quad (\text{VI.99})$$

где n — число болтов, шт.;

f_n — площадь кольца набивки, см^2 ; $\frac{400n}{f_n}$ принимается не менее 10 кгс/см^2 ;

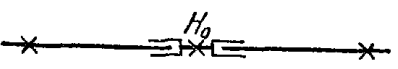
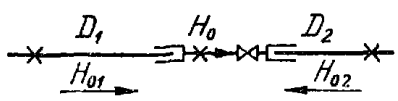
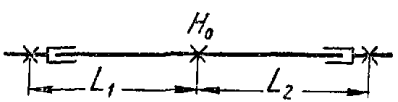
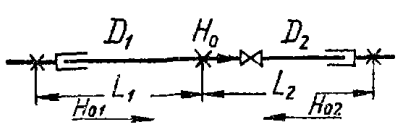
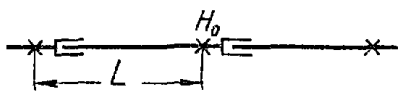
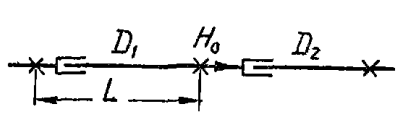
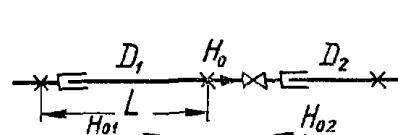
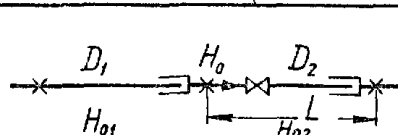
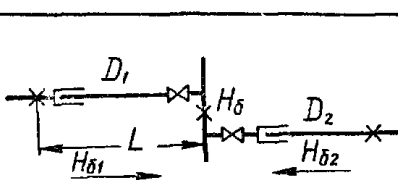
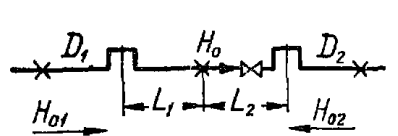
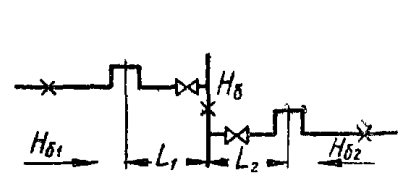
b — длина набивки по оси компенсатора, см ;

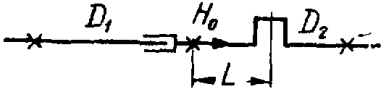
$D_{c.n}$ — наружный диаметр стакана компенсатора, см ;

μ — коэффициент трения набивки (принят равным 0,15);

p — рабочее давление среды, кгс/см^2 .

Таблица VI.29. Расчетные формулы для определения осевых и боковых сил на неподвижные опоры трубопроводов (от одной трубы)

Номер схемы	Схема расчетного участка трубопроводов	Расчетные формулы
1		$H_0 = 0,3p_c$
2		При $D_1 > D_2$ При $D_1 < D_2$ $H_{01} = p_{c1} + pF_{ch1}$ $H_{02} = p_{c2} + pF_{ch2}$
3		При $L_1 > L_2$ $H_0 > 0,3 p_c + q\mu (L_1 - 0,7L_2)$
4		При $D_1 > D_2$ При $D_1 < D_2$ $H_{01} = p_{c1} + q_1\mu L_1 + pF_{ch1}$ $H_{02} = p_{c2} + q_2\mu L_2 + pF_{ch2}$
5		$H_0 = 0,3p_c + q\mu L$
6		При $D_1 > D_2$ $H_0 = p_{c1} + q_1\mu L + p(F_{ch1} - F_{ch2}) - 0,7p_{c2}$
7		При $D_1 > D_2$ При $D_1 < D_2$ $H_{01} = p_{c1} + q_1\mu L + pF_{ch1}$ $H_{02} = p_{c2} + pF_{ch2}$
8		При $D_1 > D_2$ При $D_1 < D_2$ $H_{01} = p_{c1} + pF_{ch1}$ $H_{02} = p_{c2} + q_2\mu L + pF_{ch2}$
9		$H_{\delta 1} = p_{c1} + q_1\mu L + pF_{ch1};$ $H_{\delta 2} = p_{c2} + pF_{ch2}$
10		При $D_1 > D_2$ При $D_1 < D_2$ $H_{01} = p_{k1} + q_1\mu L_1$ $H_{02} = p_{k2} + b_2\mu L_2$
11		$H_{\delta 1} = p_{k1} + q_1\mu L_1; H_{\delta 2} = p_{k2} + q_2\mu L_2$

Номер схемы	Схема расчетного участка трубопроводов	Расчетные формулы
12		При нагревании $D_1 > D_2 \quad H_0 = p_c + pF_{сн} - p_k - 0,7q_2\mu L$ При охлаждении $D_1 = D_2 \quad H_0 = q_2\mu L + pF_{сн} + p_k - 0,7p_c$

Примечание. В формулах приняты следующие обозначения: H_0 — суммарная осевая сила на неподвижную опору, т; μ — коэффициент трения, p_c — сила трения в сальниковом компенсаторе, т; p — рабочее давление среды, кгс/см²; $F_{сн}$ — площадь сечения стакана компенсатора, см²; q — вес 1 м трубопровода, кгс; p_k — сила упругой деформации П-образных компенсаторов, т; $p_{ск}$ — сила упругой деформации при самокомпенсации, направленная вдоль оси трубопровода, т; L_1, L_2 — длина трубопровода по обе стороны неподвижной опоры, м.

Для расчетов принимается большее значение p_c , получающееся от затяжки болтов или от внутреннего давления (см. номограмма на листе VI.8, рис. 3).

Пример VI.13. Определить усилие на неподвижную опору участка трубопровода, изображенного на схеме 12 табл. VI.29.

Диаметр условного прохода трубопровода на участке с сальниковым компенсатором $D_y = 400$ мм; на участке с П-образным компенсатором $D_y = 300$ мм, длина участка $L = 50$ м, рабочее давление теплоносителя $p = 10$ кгс/см².

Силу трения в сальниковом компенсаторе определяем по номограмме (лист VI.8, рис. 3). При $D_y = 400$ мм и $p = 10$ кгс/см² $p_c = 4,5$ т.

Силу упругой деформации П-образного компенсатора $D_y = 300$ мм принимаем из примера VI.10 $p_k = 1,6$ т; вес 1 м трубы с водой — по табл. VI.29 $q_{гр} = 137,5$, вес изоляционной конструкции $q_{из} = 17$, общий вес $q_2 = 155$ кгс.

Коэффициент трения $\mu = 0,3$, сечение стакана сальникового компенсатора по табл. VI.26 $F_{сн} = 1372$ см².

Осевое усилие на неподвижную опору трубопровода определяем по формуле для схемы 12 (табл. VI.29):

при нагревании

$$H_0 = p_c + pF_{сн} - p_k - 0,7q_2\mu L = 4,5 + 10 \cdot 1372 \cdot 10^{-3} - 1,6 - 0,7 \cdot 155 \cdot 0,3 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ т.}$$

при охлаждении

$$H_0 = q_2\mu L + pF_{сн} + p_k - 0,7p_c = 155 \cdot 0,3 \cdot 50 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 1372 \cdot 10^{-3} + 1,6 - 0,7 \cdot 4,5 = 14,5 \text{ т.}$$

Принимаем большее значение $H_0 = 15$ т.

ПРОКЛАДКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Наружные тепловые сети являются одним из наиболее трудоемких и дорогостоящих элементов систем централизованного теплоснабжения, поэтому правильный выбор трассы тепловой сети, способа прокладки и конструкции теплопроводов определяют основную стоимость работ. Проектное решение принимается на основании материалов гидрогеологических изысканий и съемки местности, перспективного развития системы теплоснабжения и очередности строительства тепловых сетей, а также технико-экономического сравнения отдельных возможных решений с учетом последних достижений в данной области техники.

В городах и поселках, исходя из архитектурных требований, применяется подземная прокладка тепловых сетей: бесканальная; в непроходных, полупроходных и проходных каналах (тоннелях); в общих коллекторах совместно с другими коммуникациями и в технических коридорах подвалов, подпольях зданий (при диаметре труб не более 300 мм).

Трасса тепловых сетей выбирается параллельно линиям застройки или оси дорог в соответствии с требованиями СНиП II-36-73. Не рекомендуется прокладывать тепловые сети параллельно трамвайным путям и отсасывающим кабелям постоянного тока, а также в полосе отчуждения железной дороги. Пересечение тепловых сетей с железнодорожными, трамвайными путями и автомобильными дорогами должно быть под прямым углом.

В пределах проездов трасса тепловых сетей обычно прокладывается под тротуарами или полосами зеленых насаждений, а при невозможности такого размещения — под проезжей частью дороги или на территории кварталов.

Расстояния в плане и по вертикали от конструкции тепловых сетей до зданий, сооружений и инженерных сетей должны быть выдержаны в соответствии с требованиями СНиП II-36-73.

Особое внимание при выборе трассы и заглубления теплопроводов должно быть уделено местам с параллельной прокладкой и пересечениями с электрокабелями. При параллельной прокладке температура грунта в месте прокладки электрокабеля в любое время года для кабельных линий напряжением до 10 кВ не должна повышаться более чем на 10° С, для линий напряжением 35—220 кВ — на 5° С. В местах пересечений температура грунта в месте прокладки электрокабеля не должна повышаться более чем на 10° С по сравнению с низшей температурой грунта в зимний период и на 15° С — в летний период.

Глубина заложения тепловых сетей от дневной поверхности в свету принимается не менее:

- до верха перекрытий каналов и тоннелей — 0,5 м;
- до верха перекрытий камер — 0,3 м;
- до верха оболочки бесканальной прокладки — 0,7 м.

В непроезжих местах допускается сооружать камеры выступающими над поверхностью земли на высоту не менее 0,4 м. При прокладке тепловых сетей на низких опорах расстояние в свету от поверхности земли до низа изоляции рекомендуется принимать 0,35—0,5 м.

Уклон тепловых сетей независимо от способа прокладки должен быть не менее 0,002.

Расстояния в свету между трубопроводами, арматурой и строительными конструкциями, м

От пола или перекрытия камеры до поверхности изоляции труб (для перехода)	0,7
Боковые проходы для обслуживания арматуры и сальниковых компенсаторов (от стенки камеры до фланца арматуры и до компенсатора) при $D_y \leq 500$ мм	0,6
То же, при $D_y \geq 600$ мм	0,7
От поперечной стенки камеры до корпуса сальникового компенсатора (со стороны стакана) при $D_y \leq 500$ мм	0,6
То же, при $D_y \geq 600$ мм	0,8
От пола или перекрытия камеры до фланца арматуры или сальникового компенсатора при $D_y \leq 500$ мм	0,3
То же, при $D_y \geq 600$ мм	0,4
От пола или перекрытия до поверхности изоляции труб ответвлений	0,2

Высота камер принимается 2 м. В камерах предусматривается не менее 2 люков и монтажные окна (в тех случаях, когда для спуска и подъема арматуры размер входных люков недостаточен).

Для дренажа трубопроводов предусматриваются в низших точках устройства для выпуска воды, а в высших точках — для выпуска воздуха (воздушники). Диаметры вентилей или задвижек для выпуска воды и воздуха назначаются в зависимости от диаметра условного прохода трубопровода D_y (табл. VI.30).

Надземная прокладка на эстакадах, на отдельно стоящих высоких мачтах или низких опорах (столбиках), а также по стенам зданий может применяться только на загородных магистралях в местах перехода через железные дороги, в особо тяжелых грунтовых условиях при соответствующем согласовании с архитектурным управлением города и другими заинтересованными организациями.

Наиболее распространенным способом прокладки трубопроводов тепловой сети является подземный в непроходных унифицированных каналах серии ИС-01-04 Госстроя СССР. Этот тип прокладки может применяться в любых грунтовых условиях.

в зоне грунтовых вод устраивается попутный фильтрующий дренаж или оклеечная гидроизоляция.

Каналы рассчитаны на действие автомобильной нагрузки по классу Н-30 и колесной нагрузки по классу НК-80 при заглублении верха перекрытия от 0,7 до 2 м. Каналы марки КЛ высотой 300, 450 и 600 мм собираются из лотковых элементов, перекрываемых плоскими плитами; каналы марки КЛс высотой 900 и 1200 мм собираются из двух лотковых элементов, укладываемых один на другой (см. лист VI.7, рис. 6, 7, табл. VI.31).

Промежуточные опоры трубопроводов в непроходных каналах выполняются в виде плоских прямоугольных сборных железобетонных подушек. Опорные подушки укладывают на пол канала на цементном растворе. В верхней части опорных подушек устанавливают закладные металлические детали, выступающие из бетона на высоту до 20 мм (см. лист VI.7, рис. 2,3).

Таблица VI.30. Диаметры арматуры (вентилей и задвижек)
 D_a , мм

Выпуск воды		Выпуск воздуха	
D_y	D_a	D_y	D_a
До 70	25	25—80	15
80—125	40	100—150	20
150—175	50		
200—250	80	175—300	25
300—400	100	350—450	31
450—500	150		

Таблица VI.31. Размещение двухтрубных водяных тепловых сетей в непроходных одноячейковых каналах

D_y трубы, мм	Марка канала	Размеры канала, мм		Примерные расстояния, мм		
		ширина	высота	между осями труб	от оси труб до стенки канала	от дна канала до низа трубы
25; 32 40; 50; 70; 80	КЛ60-45	600	450	250 300	175 150	196
100; 125; 150	КЛ90-45	900		450	225	
175; 200; 250	КЛ120-60	1200	600	600	340	
175; 200; 250 300; 350	КЛс150-90	1500	900	600 700	450 400	246

Примечание. Канал КЛ120-60 для труб с $D_y = 175; 200, 250$ мм собирается на плоской плите и перекрывается лотковым элементом.

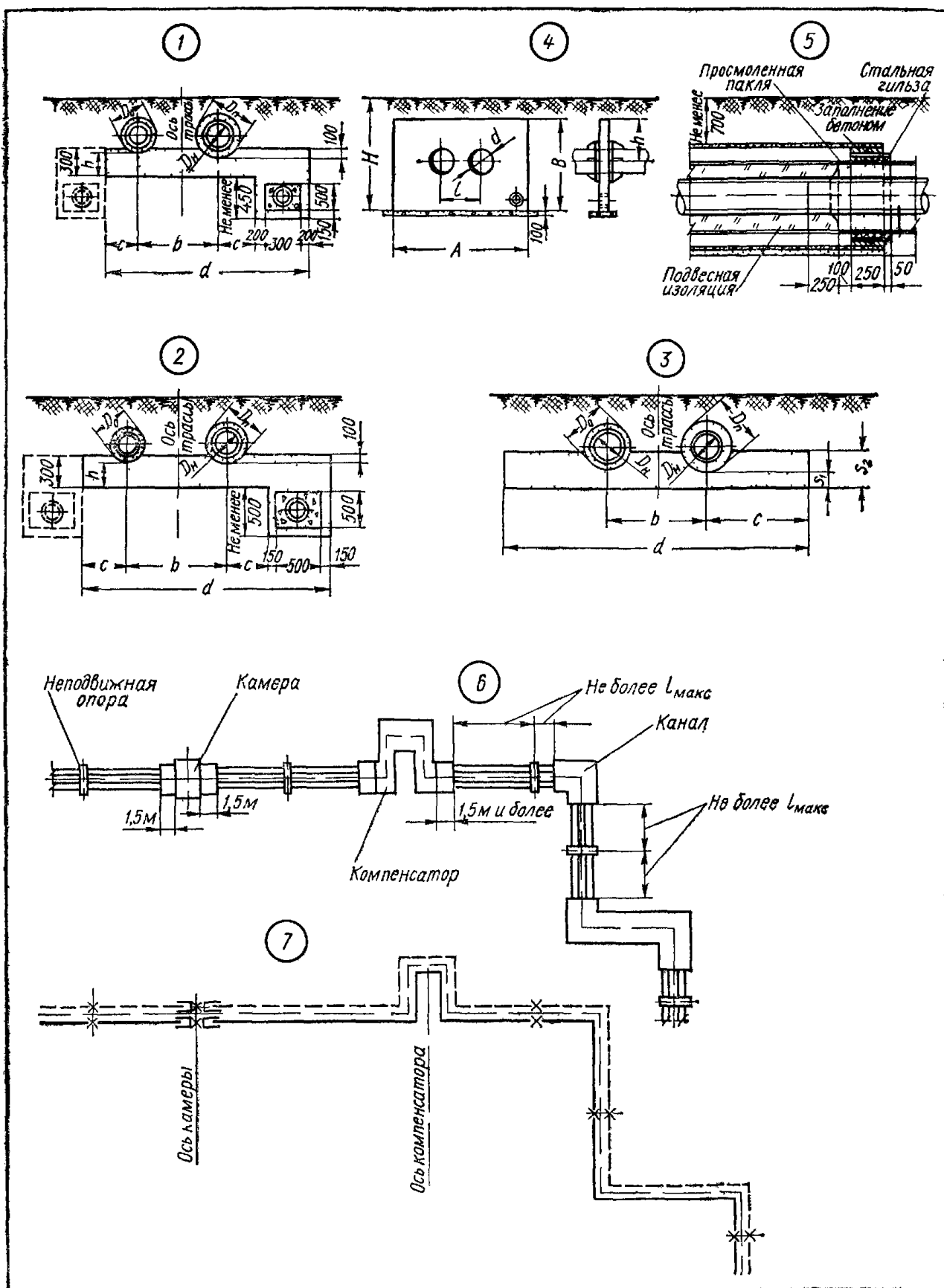
В полупроходных каналах и проходных тоннелях нижний ряд трубопроводов также опирают на подушки, применяемые в непроходных каналах. Верхние ярусы труб опирают на металлические консоли или рамы.

Неподвижные опоры для трубопроводов в непроходных каналах выполняют щитовыми (см. лист VI.8, рис. 5 и табл. VI.23). неподвижные опоры в камерах при подземной прокладке труб выполняются металлическими (см. лист VI.8, рис. 4).

При прокладке тепловых сетей бесканальным способом в сухих глинистых, песчаных и плотносжавшихся грунтах изолированные теплопроводы укладываются непосредственно на песчаную подготовку и засыпаются грунтом; подвижные опоры под трубопроводы не устанавливаются. При прокладке в мокрых грунтах или в зоне грунтовых вод устраивается попутный дренаж. В насыпных, торфянистых и других слабых грунтах в основании песчаной подушки дополнительно укладываются сборные железобетонные плиты или производится замена слабого грунта уплотненной песчаной засыпкой на глубину не менее 500 мм.

Неподвижные опоры при бесканальной прокладке также выполняются в виде железобетонных щитов прямоугольной формы (лист VI.16, рис. 4).

Ленинградским отделением ВГПИ «Теплоэнергопроект» разработан альбом типовых рабочих чертежей бесканальной прокладки для двухтрубных тепловых сетей диаметром 50—1000 мм с изоляцией из автоклавного армопенобетона. Пенобетон,



Лист VI.16. Бесканальная прокладка тепловых сетей с изоляцией из битумоперлита

1 и 2 — в мокрых грунтах соответственно при $D_y = 50-250$ и $D_y = 300-500$ мм;
 3 — в сухих грунтах; 4 — щитовая опора; 5 — узел примыкания бесканальной прокладки к непроходному каналу; 6 — примерный план трассы (размер $l_{\text{макс}}$ см. в табл. VI.35); 7 — монтажная схема участка трассы.

Т а б л и ц а VI 33. Основные размеры сечения бесканальной прокладки тепловых сетей с изоляцией из битумоперлита, мм

$D_{\text{н}}$ трубопровода	$D_{\text{п}}$	В сухих грунтах (лист VI.16, рис. 3)				В мокрых грунтах (лист VI.16, рис. 1 и 2)			
		D_0	b	c	d	h	c	d	h
57	177/137	137		285	850	120/100			220/200
76	216/176	156	280	310	900		210	1400	
89	229/189	169		310	900				
108	248/208	188		300	1000				
133	273/233	213	400	300	1000	130/110	250	1600	230/210
159	299/259	239		350	1100				
219	359/319	299	540	380	1300		330	1900	
273	413/373	353		380	1300		330	1900	
325	465/425	405		520	1700	180/160	270	2000	
377	537	477	660	570	1800		270	2000	230
426	586	526		570	1800	180			
	586	526		570	2300		320		
480	640	580	1160	620	2400			2600	
530	690	630		620	2400		370	2600	
								2700	

Примечания: 1. Для трубопроводов диаметром 57 + 273 мм $S_1 = 100$, $S_2 = 200$ мм. Для трубопроводов диаметром 325 + 530 мм $S_1 = 150$, $S_2 = 300$ мм.

2. В числителе даны размеры для трубопровода с температурой теплоносителя, 150° С, в знаменателе — 95° С.

применяемый для теплоизоляции труб, имеет объемную массу 400 кг/м^3 , прочность при сжатии $8\text{--}12 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент $0,12 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ при влажности 5%.

Таблица VI.32. Основные размеры неподвижных опор типа НО для $D_y = 50 \div 400 \text{ мм}$ и типа НОМ для $D_y = 450 \div 500 \text{ мм}$ при бесканальной прокладке тепловых сетей (лист VI.16, рис. 4)

D_y трубопровода, мм	Марка щита	Размеры, мм				
		A	B	H	d	l
50	Н01-50	2000	200	1500	140	280
70	Н01-70				160	
80	Н01-80				170	
100	Н01-100				190	400
125	Н01-125				210	
150	Н01-150				240	
200	Н02-200	3000	250	2000	300	540
250	Н02-250				360	
300	Н03-300				430	
350	Н03-350				480	660
400	Н03-400	4500	300	2500	530	
450	НОМ4-450				580	
500	НОМ4-500				630	
		5500	350	2500		1160

Из других конструкций бесканальной прокладки тепловых сетей наибольшее распространение получила прокладка с изоляцией из битумоперлита. Киевским отделением ВГПИ «Теплоэлектропроект» разработаны типовые конструкции серии 4,903-4 для бесканальной прокладки тепловых сетей с изоляцией из битумоперлита при $D_y = 50 \div 500 \text{ мм}$ и расчетных температурах воды в подающем трубопроводе 150 и 95°C , в обратном — 70°C (табл. VI.33).

Конструкция тепловой изоляции трубопроводов состоит из антикоррозионного покрытия, основного теплоизоляционного слоя из битумоперлита и гидроизоляционного покрытия (табл. VI.34). Изоляция наносится на трубопроводы механическим способом в заводских условиях; изоляция сварных стыков трубопроводов производится формовочными изделиями из битумоперлита.

Изолированные трубопроводы укладываются на песчаную подушку толщиной не менее 100 мм и засыпаются слоем песка толщиной 100 мм , а затем грунтом. Заглубление верха конструкции изоляции должно быть не менее $0,7 \text{ м}$ при наличии дорожного покрытия и 1 м при отсутствии дорожного покрытия. Предельные расстояния $l_{\text{макс}}$ от неподвижной опоры до начала канального участка (лист VI.16, рис. 1), исходя из условий прочности трубопровода, рекомендуется принимать по табл. VI.35.

Таблица VI.34. Толщина слоя изоляции из битумоперлита, при бесканальной прокладке трубопроводов, мм

Расчетная температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$	D_y трубопровода, мм		
	50	70 + 300	350 + 500
150	50	60	70
95	30	40	—
70	30	30	40

Примечание Толщина слоя тепловой изоляции из битумоперлита определена на основе нормативных теплопотерь при следующих усредненных исходных данных:

среднегодовые температуры теплоносителя 90 , 65 и 50°C и соответственно расчетные температуры 150 , 95 и 70°C ,

коэффициент теплопроводности битумоперлита $0,073 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$;

коэффициент теплопроводности грунта средней влажности $2 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$.

Таблица VI.35. Значения $l_{\text{макс}}$ (лист VI.16 рис. 1)

Наименование показателей	Еди- ница изме- рения	D_y трубопровода, мм									
		50 ÷ 80	100	125	150	200	250 ÷ 450	250 ÷ 500	350 ÷ 500		
Толщина стенки трубопро- вода	мм	3 ÷ 4	3	4	3,5	4	5	7	8	9	
$l_{\text{макс}}$	м	20	20	25	25	30	40	55	60	70	80

Таблица VI.36. Техническая характеристика битумоперлитовой изоляции

Наименование показателей	Единица измерения	Марка битумоперлита	
		БП-350	БП-450
Объемная масса в сухом состоянии	кг/м ³	350	450
Предел прочности при $t = 20^\circ \text{C}$ (не менее):			
при сжатии	кгс/см ²	2,5	4
при изгибе	»	1	2
Водопоглощение за 1 сутки (по объему)	проц.	5	3
Коэффициент теплопроводности в воздушно-сухом состоянии при $t = 20^\circ \text{C}$	ккал/м·ч·°C	0,07—0,08	0,08—0,09

В зависимости от объемной массы битумоперлитовая тепловая изоляция подразделяется на марки БП-350 и БП-450 (табл. VI.36).

Гибкие компенсаторы и участки трубопроводов, являющиеся элементами естественной компенсации, прокладываются в нишах и каналах (лист VI.16, рис. 6 и 7). С целью уменьшения количества участков, прокладываемых в каналах, рекомендуется применять сальниковые компенсаторы, начиная с $D_y = 100$ мм. Г-образная компенсация допускается при углах поворота не более 120° .

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

О МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ ЕДИНИЦ СИ

В табл. 1—3 приведены единицы физических величин СИ согласно проекту ГОСТ «Единицы физических величин» (1973 г.), применяемые в отопительно-вентиляционной технике, а в табл. 4 даны пересчетные значения для некоторых единиц СИ.

Таблица 1. Важнейшие единицы физических величин международной системы (СИ)

Наименование величины	Единица	
	Наименование	Обозначение
Основные единицы		
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура	кельвин	К
Сила света	кандела	кд
Количество вещества	моль	моль
Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Производные единицы		
Площадь	квадратный метр	м ²
Объем, вместимость	кубический метр	м ³
Скорость	метр в секунду	м/с
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с ²
Плотность	килограмм на кубический метр	кг/м ³
Сила, сила тяжести	ньютон	Н
Вес	ньютон	Н
Удельный вес	ньютон на кубический метр	Н/м ³
Давление	паскаль	Па
Работа	джоуль	Дж
Энергия	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Динамическая вязкость	паскаль-секунда	Па·с
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	м ² /с
Массовый расход	килограмм в секунду	кг/с
Объемный расход	кубический метр в секунду	м ³ /с
Электрическое напряжение	вольт	В
Электрическое сопротивление	ом	Ом
Количество теплоты	джоуль	Дж
Удельная теплоемкость	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)
Тепловой поток	ватт	Вт
Поверхностная плотность теплового потока	ватт на квадратный метр	Вт/м ²

Наименование величины	Единица	
	Наименование	Обозначение
Коэффициент теплопередачи	ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м ² К)
Температурный градиент	кельвин на метр	К/м
Теплопроводность	ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)
Освещенность	люкс	лк
Звуковое давление	паскаль	Па
Интенсивность звука	ватт на квадратный метр	Вт/м ²

Таблица 2. Единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица		Значение в единицах СИ
	Название	Обозначение	
Масса	тонна	т	10 ³ /кг
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Объем, вместимость	литр	л	10 ⁻³ м ³
Температура	градус	°С	Температура Цельсия определяется выражением $t = T - T_0$, где T — температура Кельвина; $T_0 = 273,15$ К (по размеру градус Цельсия равен Кельвину)
Относительная величина	процент	%	10 ⁻²

Таблица 3. Единицы, временно допускаемые к применению

Наименование величины	Единица		Значение в единицах СИ
	Название	Обозначение	
Частота вращения	оборот в минуту	об/мин	1/60 с ⁻¹
Сила	килограмм-сила	кгс	9,80665 Н (точно)
Давление	килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см ²	98066,5 Па (точно)
	то же, на квадратный метр	кгс/м ²	9,80655 Па
	миллиметр водяного столба	мм вод. ст.	9,80665 Па
	миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.	133,322 Па
Вес	тонна-сила	тс	9806,65 Н (точно)
Мощность	лошадиная сила	л. с	735,499 Вт
Количество теплоты	калория	кал	4,1868 Дж (точно)

Таблица 4. Пересчетные значения для некоторых единиц СИ

Наименование величины	Размерность	Соотношение между единицами
Давление	1 Па	0,101972 кгс/м ²
	1 Па	0,102 мм вод. ст.
	1 Па	0,0075 мм рт. ст.

Наименование величины	Размерность	Соотношение между единицами
Давление	1 атм 1 кгс/м ²	101325 Па 9,80665 Па
Количество теплоты	1 ккал 1 кДж	4186,8 Дж 0,23865 ккал
Тепловая мощность и тепловой поток	1 ккал/ч 1 ккал/с	1,163 Вт 4,1868 Вт
Мощность	1 кгс·м/с 1 кВт	9,80665 Вт 1,3596 л. с
Работа, энергия	1 кгс·м 1 Вт·ч 1 Дж	9,80665 Дж 3600 Дж 0,101972 кгс·м
Коэффициент теплопередачи	1 ккал/(м ² ·ч·°C) 1 Вт/(м ² ·K)	1,163 Вт/(м ² ·K) 0,859845 ккал/(м ² ·ч·°C)
Термическое сопротивление, сопротивление теплопередаче	1 (м ² ·ч·°C)/ккал 1 (м ² ·K)/Вт	0,859845 (м ² ·K)/Вт 1,163 (м ² ·ч·°C)/ккал
Коэффициент теплопроводности	1 ккал/(м·ч·град) 1 Вт/(м·K)	1,163 Вт/(м·K) 0,859845 ккал/(м·ч·°C)
Удельная теплоемкость	1 ккал/(кг·°C)	4186,8 Дж/(кг·K)

Примечание. Ряд пересчетных значений величин указан в табл. 3.

В практических расчетах, выполняемых при помощи логарифмической линейки, при составлении таблиц и графиков, в случае замены старых единиц новыми, величины удобно принимать приближенно (с ошибкой до 2%):

давление — 1 кгс/м² = 1 мм вод. ст. $\approx$ 10 Па;

1 кгс/см² = 98,0665 кПа $\approx$ 100 кПа; 1 мм рт. ст. $\approx$ 133 Па,

количество теплоты — 1 ккал = 4,19 кДж,

тепловой поток — 1 ккал/ч $\approx$ 1,16 Вт, 1 ккал/с $\approx$ 4,19 Вт;

коэффициент теплопередачи — 1 ккал/(м²·ч·°C) $\approx$ 1,16 Вт/(м²·K) или 1,16 Вт/(м²·°C);

сопротивление теплопередаче — 1 (м²·ч·°C)/ккал $\approx$ 0,86 (м²·K)/Вт или 0,86 (м²·°C)/Вт;

коэффициент теплопроводности — 1 ккал/(м·ч·°C) $\approx$ 1,16 Вт/(м·K) или 1,16 Вт/(м·°C);

удельная теплоемкость — 1 ккал/(кг·°C) $\approx$ 4,19 кДж/(кг·K) или 4,19 кДж/(кг·°C).

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
I. Строительная теплотехника	
Теплофизический расчет ограждающих конструкций зданий	5
Теплотехническая характеристика строительных материалов и конструкций (5). Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха (16). Нормы сопротивления теплопередаче ограждений (27). Проверка наружных ограждений на конденсацию влаги (40).	
Расчет теплопотерь через ограждающие конструкции	46
Общие принципы расчета (46). Расчет теплопотерь в зданиях повышенной этажности (61).	
II. Печное отопление	
Характеристика печного отопления и печей	69
Классификация печей (69). Отопительные печи (80). Отопительно-варочные печи (81). Кухонные плиты квартирного типа и отопительные щитки (81). Русские печи (81).	
Основные указания по проектированию и расчету	85
Отвод дыма и установка печей (85). Противопожарные мероприятия (87). Размещение печей (89). Расчет печного отопления и подбор печей (90).	
III. Центральное отопление	
Выбор систем и теплоносителя	94
Область применения (94). Водяное отопление (103). Паровое отопление (107). Воздушное отопление (111). Панельно-лучистое отопление (112).	
Нагревательные приборы	114
Типы приборов (114). Установка приборов и присоединение их к трубопроводу (126). Регулирование теплоотдачи (128). Расчет поверхности нагрева и подбор приборов (130). Особенности расчета нагревательных приборов одноконтурных систем водяного отопления (144). Расчет воздухонагревателей лестничных клеток (157). Расчет и подбор греющих бетонных панелей (160).	
Трубопроводы и арматура	165
Трубы и соединительные части (165). Пароводяная арматура (165). Подбор вспомогательного оборудования и арматуры (169). Прокладка трубопроводов в зданиях (183).	
Гидравлический расчет трубопроводов	187
Общие принципы расчета (187). Расчет располагаемого перепада давлений систем водяного отопления (190). Методы гидравлического расчета трубопроводов (196). Подсчет коэффициентов местных сопротивлений (217). Особенности расчета одноконтурных систем водяного отопления (226). Расчет больших колец циркуляции систем водяного отопления (231). Особенности расчета трубопроводов с попутной схемой движения воды (239). Устройство и расчет квартирного водяного отопления (240). Расчет паропроводов низкого давления (242). Расчет паропроводов высокого давления (245). Расчет конденсатопроводов (250).	

IV. Горячее водоснабжение

Принципиальные схемы и оборудование систем	252
Область применения (252). Требования к качеству воды (254). Горячее водоснабжение квартиры (254). Горячее водоснабжение, совмещенное с квартирным отоплением (259). Централизованные системы горячего водоснабжения (261). Установка напорных баков и емких водонагревателей (263). Водоразборная арматура (270).	

Расчет установок горячего водоснабжения	270
Нормы расхода и температура горячей воды (270). Определение расчетного часового расхода горячей воды и тепла (271). Расчет и подбор баков-аккумуляторов и емких водонагревателей (277). Расчет трубопроводов (280).	

V. Отопительные котельные

Малометражные отопительные котлы	298
Общая характеристика встроенных котельных (298). Типы котлов (299). Обмуровка котлов (305). Арматура котлов (311).	

Подбор котлов и вспомогательного оборудования	314
Расчет поверхности нагрева и количества котлов (314). Расчет и подбор циркуляционных насосов с электродвигателями (317). Расчет и подбор питательных устройств (320).	

Расчет тяго-дутьевых устройств	329
Дымоходы и бороны (329). Вентиляторное дутье (332).	

Помещения встроенных котельных	332
--	-----

VI. Тепловые сети

Определение расходов тепла	337
--------------------------------------	-----

Режим отпуска тепла	342
Отопление (342). Вентиляция (345). Горячее водоснабжение (346). Регулирование отпуска тепла при повышенных графиках температур сетевой воды (346).	

Гидравлический расчет и режим работы тепловых сетей	348
Общие принципы расчета (348). Расчетные расходы теплоносителя (352). Гидравлический расчет трубопроводов (355). Пьезометрический график (359). Гидравлический режим (362).	

Присоединение потребителя тепла к тепловой сети	364
---	-----

Основное оборудование тепловых вводов	367
Элеваторы (367). Скоростные водонагреватели (372).	

Трубы, арматура и опоры	379
Трубы и запорная арматура (379). Опоры трубопроводов (380). Расчет труб на прочность (384). Компенсация тепловых удлинений трубопроводов (387). Определение усилий на неподвижные опоры (402).	

Прокладка тепловых сетей	404
------------------------------------	-----

Приложения

Приложение 1. О международной системе единиц СИ	411
---	-----

Приложение 2. Номограмма для расчета трубопроводов систем водяного отопления по методу эквивалентных сопротивлений	414
--	-----

*Ростислав Владимирович Щекин, Сергей Михайлович Корневский,
Георгий Евгеньевич Бем, Федор Исидорович Скороходько,
Ефим Исакович Чечик, Георгий Дмитриевич Соболевский,
Виктор Александрович Мельник, Ольга Сергеевна Корневская*

**СПРАВОЧНИК ПО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЮ
И ВЕНТИЛЯЦИИ**

Издание четвертое

Книга первая

ОТОПЛЕНИЕ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Редакторы А. Г. Гриценко, К. В. Бергер
Переплет художника В. С. Яковлева
Художественный редактор Б. Е. Громаков
Технический редактор С. Г. Герасимова
Корректоры М. М. Полищук,
Г. Н. Ляховская

БФ 13899. Сдано в набор 26. 10. 1975 г. Подписано к печати
12. V 1976 г. Формат бумаги 60×90^{1/16}. Бумага типограф-
ская № 2 Ждановского бумкомбината. Объем: 26+0,14
(вклейка) физ. печ. л., 26+0,14 (вклейка) усл. печ. л., 35
уч.-изд. л. Тираж 75000. Зак. № 5—2696 Цена 1 руб. 99 коп.

Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.
Главное предприятие республиканского производственного
объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, г. Киев,
ул. Довженко, 3.

НОМОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ
ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПО МЕТОДУ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

