СПРАВОЧНИК ПРОЕКТИРОВЩИКА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

СПРАВОЧНИК ПРОЕКТИРОВЩИКА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Под ред. инж. А. А. НИКОЛАЕВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва—1965

УДК 697.1.001.12(03)

ПЕРЕЧЕНЬ ТОМОВ, ВХОДЯЩИХ В СЕРИЮ СПРАВОЧНИКОВ ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ РАБОТАМ

ВЫШЛИ В СВЕТ

Огнеупорная кладка промышленных печей
Механо-монтажные работы в промышленном строительстве
Проектирование и сооружение скважин для водоснабжения
Заводские железобетонные трубы и силосы
Подъемно-транспортное оборудование для монтажных и специальных работ
Электромонтажные работы
Сварочные работы в строительстве
Монтаж лифтов
Защита от коррозии в промышленном строительстве
Наладка, регулировка и эксплуатация систем промышленной вентиляции
Теплоизоляционные работы
Монтаж внутренних санитарно-технических устройств
Монтаж вентиляционных сетей
Изготовление стальных конструкций
Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха
Технологические трубопроводы промышленных предприятий:

Часть. I. *Трубы и детали трубопроводов различных назначений*

Часть. II. *Изготовление деталей и узлов и монтаж трубопроводов*

Монтаж технологического оборудования химических заводов
Сооружение промышленных печей

ПОДГОТОВЛЯЮТСЯ К ИЗДАНИЮ

Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации
Механизмы, приспособления и механизированный инструмент для монтажных работ
Каталог-справочник отопительно-вентиляционного, водопроводно-канализационного и газового оборудования
Сложные основания для фундаментов

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:

А. К. Волнянский *(главный редактор)*, Г. Г. Судаков *(зам. главного редактора)*, И. В. Иоселовский, И. И. Марков, В. И. Мельник, Е. Я. Николаевский, А. К. Онкин, В. М. Орлов, И. Г. Староверов, М. Д. Тушняков, А. В. Чернов.

В справочнике приведены руководящие и нормативные материалы по проектированию тепловых сетей.

Даны номограммы и таблицы, облегчающие выполнение трудоемких расчетов, характеристики основного оборудования тепловых сетей и источников тепла

Справочник предназначен для широкого круга инженерно-технических работников проектных, монтажно-строительных и эксплуатационных организаций, а также может быть полезен для студентов высших и средних технических учебных заведений.

АВТОРЫ-СОСТАВИТЕЛИ

И. П. Александров, И В. Беляйкина, А. М. Далин, Н М. Зеликсон,
Н. Г. Игнатьева, Д. Е. Каленковицкий, А. Ф. Михальченко,
А Ф. Нечушкин, А. А. Николаев, А. П. Сафонов, М. Г. Шпеер.

Научный редактор — А. К. ВОЛНЯНСКИЙ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 7

РАЗДЕЛ I

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Глава 1

Общие справочные материалы

1.1. Давления условные, пробные и рабочие 8
1.2. Условные проходы арматуры, фитингов и трубопроводов 9
1.3. Климатологические данные по некоторым городам СССР . . . . . —
1.4. Свойства воды и водяного пара 12

Глава 2

Трубы и детали трубопроводов

2.1. Условия выбора труб 17
2.2. Сортамент труб тепловых сетей 19
2.3. Основные типоразмеры труб 22
2.4. Детали трубопроводов 27

Глава 3

Опоры трубопроводов

3.1. Подвижные опоры 29
3.2. Неподвижные опоры 36
3-3. Опоры трубопроводов, прокладываемых на трубах . 41

Глава 4

Арматура, фланцевые соединиения, сальниковые и волнистые компенсаторы

4.1. Общие положения 45
4.2. Запорная арматура, обратные и приемные клапаны . —
4.3. Фланцевые соединения 46
4.4. Заглушки 56
4.5. Сальниковые компенсаторы . . . . . —
4.6. Волнистые компенсаторы 60

Глава 5

Дренажные устройства трубопроводов

5.1. Дренаж водяных тепловых сетей 61
5.2. Дренаж паропроводов 65
5.3. Конденсационные горшки и конденсатоотводчики . . 68
5.4. Промывка трубопроводов водяных тепловых сетей . 71
5.5. Грязевики 74

РАЗДЕЛ II

СХЕМЫ И РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Глава 6

Схемы тепловых сетей

Глава 7

Определение расходов тепла

7.1. Часовые расходы тепла на отопление и вентиляцию . 82
7.2. Часовые расходы тепла на бытовое горячее водоснабжение 84
7.3. Годовые расходы тепла жилыми и общественными зданиями 88

Глава 8

Регулирование отпуска тепла

8.1. Общие положения и условные обозначения 89
8.2. Регулирование отпуска тепла на отопление 90
8.3. Регулирование отпуска тепла на вентиляцию 94
8.4. Регулирование отпуска тепла на горячее водоснабжение 95
8.5. Регулирование отпуска тепла при двухступенчатых схемах включения подогревателей горячего водоснабжения 97
8.6. Скорректированные графики регулирования для открытых систем тепловых сетей 102

Глава 9

Гидравлические расчеты трубопроводов

9.1. Основные положения 105
9.2. Основные расчетные формулы 107
9.3. Расчетные расходы теплоносителя 109
9.4. Гидравлический расчет трубопроводов водяных тепловых сетей 116
9.5. Гидравлический расчет паропроводов 133
9.6. Гидравлический расчет конденсатопроводов 151
9.7. Графики давлений 161

Глава 10

Расчет трубопроводов на прочность и на компенсацию тепловых удлинений

10.1. Расчет трубопроводов тепловых сетей на прочность 169
10.2. Способы компенсации тепловых удлинений трубопроводов 182
10.3. Расчет плоских участков трубопроводов на компенсацию тепловых удлинений при гибких компенсаторах и самокомпенсации 183
10.4. Расчет на компенсацию тепловых удлинений плоских участков трубопроводов различной конфигурации . 194
10.5. Расчет на компенсацию тепловых удлинений участков трубопровода с П-образными компенсаторами 206

Глава 11

Нагрузки на опоры трубопроводов

11.1. Нагрузки на подвижные опоры 230
11.2. Нагрузки на неподвижные опоры . . . . . —

РАЗДЕЛ III

ПРОКЛАДКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Глава 12

Общие вопросы прокладки

12.1. Общие положения 243
12.2. Трасса и продольный профиль тепловых сетей . . 246
12.3. Конструирование трубопроводов 249
12.4. Вентиляция проходных каналов 253

Глава 13

Тепловая изоляция

13.1. Материалы 256
13.2. Определение термических сопротивлений и толщин изоляционных конструкций 259
13.3. Определение температуры в различных точках температурного поля изолированного трубопровода . . 263

Глава 14

Защита трубопроводов от электрокоррозии 265

Глава 15

Строительные конструкции

15.1. Основные положения 271
15.2. Подземная прокладка . . . . . —

Стр.

15 3. Надземная прокладка 285
15.4. Переходы тепловых сетей через препятствия . . . 289
15.5. Расчеты специальных сооружений тепловых сетей . 293

РАЗДЕЛ IV

НАСОСНЫЕ И ПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

Глава 16

Качество и количество подпиточной воды водяных тепловых сетей

16 1. Нормативные требования к качеству подпиточной воды 299
16.2. Количество подпиточной воды и производительность водоподготовки 301
16.3. Центральные баки-аккумуляторы 302
16.4. Приложения . . . . . —

Глава 17

Насосные установки

17.1. Основные характеристики насосных установок . . . 303
17.2. Оборудование насосных установок 309

Глава 18

Подогревательные установки

18.1. Основные положения 313
18.2. Тепловой расчет подогревателей 320
18.3. Потери напора воды в подогревателях 327

Стр.

Глава 19

Тепловые пункты 329

РАЗДЕЛ V

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Глава 20

Тепловой контроль и автоматика

20.1. Тепловой контроль тепловых сетей 336
20.2. Принципиальные схемы автоматизации основных узлов тепловых сетей 340
20.3. Основные типы регуляторов применяемых в тепловых сетях 346
20.4. Телемеханизация тепловых сетей 351

РАЗДЕЛ VI

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Глава 21

Укрупненные технико-экономические показатели 352

Литература 358

ПРЕДИСЛОВИЕ

Быстрыми темпами развивается промышленность и ведется в больших масштабах новое жилищное строительство, вытесняя устаревший жилой фонд как в городах, так и в поселках сельской местности, что приводит к росту концентрированного теплового потребления, создавая благоприятные условия для широкого развития систем централизованного теплоснабжения.

Дальнейшее значительное развитие получит теплофикация, базирующаяся на тепловых нагрузках крупных теплоемких предприятий и жилых районов городов.

В городах и поселках, не охваченных теплофикацией, и в поселках сельской местности значительное развитие получат системы централизованного теплоснабжения от районных котельных.

Некоторое развитие получат системы теплоснабжения от геотермальных источников.

Развитие систем централизованного теплоснабжения в промышленности, городах и поселках связано с большим объемом строительства тепловых сетей различного назначения.

В настоящем справочнике, на основе обобщения и систематизации накопившегося опыта по проектированию тепловых сетей, впервые сделана попытка дать необходимые для проектировщика материалы, которые помогут в практической работе.

Некоторые вопросы, получившие в литературе достаточное освещение, приведены в кратком изложении.

Собранные нормативные, расчетные и руководящие материалы могут быть использованы на всех стадиях проектирования тепловых сетей.

В основу справочника положены руководящие материалы и методические работы Теплоэлектропроекта.

Использованы также опубликованные руководящие материалы Ленпроекта, Мосинжпроекта, Мосэнергопроекта, Промстройпроекта и других проектных организаций, а также нормативный материал союзного значения — СНиП, ГОСТы, МН и пр.

Отдельные главы написаны следующими авторами: инж. Александровым И. П. — гл 12 и 19; инженерами Беляйкиной И В и Игнатьевой Н. Г. — гл. 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11; инж. Далиным А М. — гл. 6, 17, 18 и 20; инж. Зеликсоном Н М. — гл. 13; инж. Каленковицким Д Е. — гл. 14; инж. Нечушкиным А. Ф. — гл. 15; инж. Михальченко А. Ф. — гл. 16; канд. техн наук Сафоновым А. П. — гл. 8 и 20; инженерами Беляйкиной И. В., Игнатьевой Н. Г. и Шпеер М. Г. — гл 5; инженерами Беляйкиной И. В , Игнатьевой Н Г. и Николаевым А. А. — гл. 9; инженерами Беляйкиной И. В. и Шпеер М. Г. — гл. 1.

Рецензирование справочника выполнено группой сотрудников лаборатории теплофикации Всесоюзного теплотехнического института под руководством и при участии проф. д-ра техн. наук Соколова Е. Я. и группой специалистов Мосэнергопроекта, Гипрокоммунэнерго, ВНИИСТ, Теплосети Мосэнерго под руководством и при участии инж. Филиппова М. Ф.

РАЗДЕЛ I

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. ДАВЛЕНИЯ УСЛОВНЫЕ, ПРОБНЫЕ И РАБОЧИЕ

Давления условные, пробные и рабочие для труб арматуры и соединительных частей трубопроводов тепловых сетей должны приниматься по табл. 1.1.

Под условным давлением понимается давление, на которое рассчитаны труба, арматура и соединительные части трубопроводов при температуре теплоносителя 0° С, принятое за основное при определении рабочих давлений при более высоких температурах теплоносителя. Условное давление $P_у$ устанавливает связь между рабочим давлением $P_{раб}$ теплоносителя и его температурой.

За рабочее давление принимается номинальное эксплуатационное давление теплоносителя, на которое рассчитывается трубопровод.

Таблица 1 1

Давления условные, пробные и рабочие в *кгс/см²*

(избыточные, по ГОСТ 356—59)

Наименование	Условные давления $P_у$	1	2,5	4	6	10	16	25	40	64
	Пробные давления $P_{пр}$	2	4	6	9	15	24	38	60	96
	Температура среды в °С	Наибольшие рабочие давления $P_{раб}$								
Трубы, арматура и соединительные части из углеродистой стали ($C \leqslant 0{,}3$)	До 200	1	2,5	4	6	10	16	25	40	64
	225	1	2,4	3,8	6	9,5	15	24	38	60
	250	0,9	2,2	3,6	5,6	9	14	22	36	56
	275	0,9	2,1	3,4	5,3	8,5	13	21	34	53
	300	0,8	2	3,2	5	8	12,5	20	32	50
	325	0,8	1,9	3	4,8	7,5	12	19	30	48
	350	0,7	1,8	2,8	4,5	7	11	18	28	45
	375	0,7	1,7	2,6	4,2	6,7	10,5	17	26	42
	400	0,6	1,6	2,5	4	6,4	10	16	25	40
	410	0,6	1,5	2,4	3,8	6	9,5	15	24	38
	425	0,6	1,4	2,2	3,6	5,6	9	14	22	36
	430	0,5	1,3	2,1	3,4	5,3	8,5	13	21	34
	435	0,5	1,2	2	3,2	5	8	12,5	20	32
	440	0,5	1,2	1,9	3	4,8	7,5	12	19	30
	445	0,5	1,1	1,8	2,8	4,5	7	11	18	28
	450	—	1	1,7	2,6	4,2	6,7	10,5	17	26
Арматура и соединительные части из чугунов (серого и ковкого)	До 120	1	2,5	4	6	10	16	25	40	—
	200	1	2,5	3,6	5,5	9	15	23	36	—
	250	1	2	3,4	5	8	14	21	34	—
	300	1	2	3,2	5	8	13	20	32	—
	350*	0,8	1,9	3	4,5	7,5	12	18	30	—
	400*	0,7	1,6	2,8	4,2	7	10	16	28	—
То же, из бронзы и латуни	До 120	1	2,5	4	6	10	16	25	40	64
	200	1	2	3,2	5	8	13	20	32	—
	250	0,7	1,7	2,7	4	7	11	17	27	—

Примечания: 1. Звездочкой обозначены температуры только для ковкого чугуна.

2. На трубопроводы в собранном виде ГОСТ 356—59 не распространяется.

3. Рабочие давления для промежуточных значений температуры среды определяются линейной интерполяцией.

4. При определении ступени условного давления допускается превышение фактического рабочего давления в пределах до 5% над указанным для заданной температуры без перехода к высшей ступени условного давления.

1.2. УСЛОВНЫЕ ПРОХОДЫ АРМАТУРЫ, ФИТИНГОВ И ТРУБОПРОВОДОВ

Трубы, арматура, компенсаторы, грязевики, фланцы, заглушки и детали трубопроводов (отводы, переходы, тройники и пр.), а также части оборудования тепловых сетей должны изготовляться под условные проходы по ГОСТ 355—52 (табл. 1.2) и обозначаться этим условным проходом.

Условный проход для литых труб и арматуры соответствует их действительному внутреннему диаметру, а для стальных труб тепловых сетей — усредненному по толщине стенки внутреннему диаметру

Условные проходы фланцев и соединительных частей (отводов, переходов и пр) принимаются по условному проходу тех труб, для которых они предназначены.

Таблица 1.2

Условные проходы арматуры, фитингов и трубопроводов (по ГОСТ 355—52)

Условный проход D_y в *мм*	Трубная резьба в дюймах	Условный проход D_y в *мм*	Трубная резьба в дюймах	Условный проход D_y в *мм*	Трубная резьба дюймах
15	1/2	150	6	450	—
20	3/4	175*	7*	500	—
25	1	200	8	600	—
32	1 1/4	225*	9*	700	—
40	1 1/2	250	10	800	—
50	2	275*	11*	900	—
60*	—	300	12	1000	—
70	2 1/2	325*	—	1100*	—
80	3	350	—	1200	—
100	4	375*	—	—	—
125	5	400	—	—	—

* Для трубопроводов тепловых сетей ие применяются.

1.3. КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО НЕКОТОРЫМ ГОРОДАМ СССР

В табл. 1 3 приводятся климатологические данные по некоторым городам СССР. Температура наружного воздуха, продолжительность отопительного периода и сейсмичность для этих городов приняты по СНиП II-А 6-62, продолжительность стояния температур наружного воздуха за отопительный период рассчитана по климатологическим справочникам. Данные о средней температуре грунта приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.3

Расчетные температуры наружного воздуха, продолжительность стояния температур наружного воздуха за отопительный период, продолжительность отопительного периода и сейсмичность с 7 баллов и выше

№ п/п	Наименование городов	Температура наружного воздуха в °С			Число суток за отопительный период со среднесуточными температурами наружного воздуха в °С											Продолжительность отопительного периода в сутках	Сейсмичность с 7 баллов и выше
		расчетная для проектирования		средняя отопительного периода	ниже —45	—45 —40	—40 —35	—35 —30	—30 —25	—25 —20	—20 —15	—15 —10	—10 —5	—5 0	0 +8		
		отопления	вентиляции														
	Европейская часть СССР																
1	Архангельск	—32	—17	—4,7	—	0,05	0,3	1,6	4,3	9,4	18,5	31,9	45,4	67,55	75	254	—
2	Астрахань	—22	—11	—2	—	—	—	—	0,32	1,54	5,2	13,9	26,5	64,54	59	171	—
3	Баку	— 3	— 1	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	110	110	7
4	Брянск	—23	—12	—2,2	—	—	—	0,1	0,6	3	11,1	21,6	35,8	60,8	63	196	—
5	Вильнюс	—21	— 9	—0,7	—	—	—	—	0,12	0,84	4,5	11,8	27,1	77,64	79	201	—
6	Витебск	—23	—11	—2	—	—	—	0,05	0,6	2,52	8,1	21,3	35,8	70,63	70	209	—
7	Вологда	—28	—16	—4,2	—	—	0,1	1,3	3	7	15,7	28,1	42	62,8	72	232	—
8	Воронеж	—25	—14	—3,7	—	—	—	0,3	1,1	4,6	13,6	22,4	35,6	63,4	54	195	—
9	Волгоград	—25	—14	—3,6	—	—	—	0,03	0,5	4,7	12,3	21,1	30	60,37	49	178	—
10	Горький	—28	—17	—4,9	—	—	0,1	0,93	3,1	7,58	16,9	27,7	40,3	62,39	58	217	—
11	Грозный	—16	— 8	0,3	—	—	—	—	—	0,2	1,8	6,7	15,4	58,9	73	156	7
12	Жданов (Донецкая обл.)	—20	— 9	—0,7	—	—	—	—	—	0,5	4,1	10,4	25,6	66,4	68	175	—
13	Златоуст (Челябинская обл.)	—32	—20	—6,4	—	—	0,2	1,82	5,9	12,8	25,12	39,5	42,24	47,42	60	235	—
14	Иваново	—28	—16	—4,4	—	—	0,23	1,3	2,5	7,2	15	27,6	32,4	71,77	65	223	—
15	Казань	—29	—18	—5,9	—	—	0,03	0,82	3,6	9,2	19,23	30,6	39,6	54,92	59	217	—
16	Калинин	—25	—14	—3,3	—	—	—	0,6	1,62	4,65	14,8	23,5	39,2	66,63	67	218	—
17	Киев	—21	—10	—1,2	—	—	—	—	0,12	0,92	5	13,5	28,6	69,86	73	191	—
18	Киров	—31	—19	—5,9	—	—	0,26	2,27	4,7	10,6	22,14	33,2	43,27	52,56	62	231	—
19	Кировоград	—21	— 9	—0,8	—	—	—	—	0,12	0,94	4,54	12,72	26,12	65,56	70	180	—
20	Кишинев	—16	— 7	0,6	—	—	—	—	—	0,1	1,8	7,5	16,04	63,56	78	167	—
21	Краснодар	—17	— 6	1,3	—	—	—	—	0,03	0,6	1,52	5,6	13,1	43,15	85	149	—
22	Куйбышев	—29	—18	—5,8	—	—	0,03	0,4	4,3	12	20,4	24,9	36	58,97	51	208	—
23	Курск	—25	—13	—3,1	—	—	—	0,12	0,5	3,4	10,3	22,1	36,1	63,48	64	200	—
24	Ленинград	—24	—12	—2	—	—	—	0,04	0,5	2,87	8,9	19,44	37,1	74,15	80	223	—

Продолжение табл. 1.3

№ п/п	Наименование городов	Температура наружного воздуха в °С: расчетная для проектирования: отопления	расчетная для проектирования: вентиляция	средняя отопительного периода	Число суток за отопительный период со среднесуточными температурами наружного воздуха в °С: ниже —45	—45 —40	—40 —35	—35 —30	—30 —25	—25 —20	—20 —15	—15 —10	—10 — 5	—5 0	0 +8	Продолжительность отопительного периода в сутках	Сейсмичность с 7 баллов и выше
25	Лиепая (Латвийская ССР)	—17	— 6	1,2	—	—	—	—	0,02	0,14	1,4	6,5	16,82	75,12	104	204	—
26	Луганск	—22	—11	—1,7	—	—	—	0,06	0,29	2,2	6,7	15,94	27,72	62,09	65	180	—
27	Львов	—16	— 7	0,2	—	—	—	—	0,06	0,21	1,4	7	20,71	64,62	91	185	—
28	Магнитогорск	—33	—22	—7,7	—	0,3	0,8	1,6	5,2	15,6	28,8	54	35	29,7	50	221	—
29	Махачкала	—13	— 4	2,4	—	—	—	—	—	0,12	0,56	2,32	7,8	32,2	109	152	—
30	Минск	—22	—10	—1,4	—	—	—	—	0,35	1,83	6,8	15,52	30,1	79,4	72	206	—
31	Москва	—26	—15	—3,7	—	—	0,02	0,45	2,04	5,4	13,82	24,7	39,3	63,27	60	212	—
32	Мурманск	—26	—14	—3,2	—	0,04	0,3	1,1	3,9	9,1	18,1	31,9	48,4	74,16	94	281	—
33	Нижний Тагил (Свердловская обл.)	—33	—21	—6,5	—	0,2	0,6	1,3	4,3	12,9	23,7	55	39	33	63	233	—
34	Николаев	—18	— 7	0,5	—	—	—	—	0,02	0,3	2,22	9,2	18,7	59 56	75	165	—
35	Новгород	—24	—12	—2,9	—	—	0,2	0,9	1,9	5,6	14	27,9	42,6	52,9	79	225	—
36	Новороссийск	—12	— 4	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	125	125	—
37	Одесса	—15	— 7	1,1	—	—	—	—	—	0,2	0,87	5,42	16,1	58,41	79	160	—
38	Оренбург	—28	—20	—6,8	—	—	0,2	1,24	5,5	13,9	23,3	31,4	34,6	46,86	47	204	—
39	Орск (Оренбургская обл.)	—31	—22	—7,7	—	—	0,14	1,1	7,24	17,4	26	31,6	30,9	47,62	48	210	—
40	Пенза	—28	—17	—4,7	—	—	0,07	0,4	1,82	7,37	18,2	31,3	40,4	53,44	58	211	—
41	Пермь	—31	—20	—6,4	—	0,12	0,52	2,5	6	11,9	21,8	33,7	42,62	50,84	56	226	—
42	Петрозаводск	—26	—14	—2,9	—	—	—	0,17	1,52	5,45	12,9	24,52	41,92	75 52	78	257	—
43	Псков	—23	—11	—1,8	—	—	—	0,03	0,8	2,63	7,5	18,5	31,2	78,34	73	212	—
44	Рига	—19	— 8	—0,4	—	—	—	—	0,1	0,5	3,33	11,2	23,84	81,03	92	212	—
45	Ростов-на-Дону	—22	—10	—1,4	—	—	—	-	0,2	1,5	5,7	13,1	26,65	65,85	62	175	—
46	Рязань	—27	—15	—4	—	—	0,03	0,5	1,9	5,33	14,5	26,2	38	64,54	53	209	—
47	Саратов	—28	—17	—4,5	—	—	—	0,1	1,5	8,1	18	27,3	36,8	57,2	47	196	—
48	Свердловск	—32	—21	—6,5	—	0,02	0,42	1,82	6	12,2	24,14	38,0	43,26	44,14	63	233	—
49	Смоленск	—24	—13	—2,6	—	—	—	0,1	0,83	3,4	10,33	20,9	36	73,44	68	213	—
50	Сыктывкар (Коми АССР)	—32	—20	—6,1	—	0,4	1,4	3,8	7,5	12	20,5	32,9	43,6	53,9	69	245	—
51	Таллин	—21	—10	—0,6	—	—	—	—	0,02	0,7	4,0	13,8	30,9	84,58	90	224	—
52	Тбилиси	— 7	— 2	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	150	—
53	Тула	—26	—14	—3,4	—	—	0,1	0,3	0,6	1,9	5,7	10,4	83,0	44	65	214	—
54	Ульяновск	—29	—18	—5,4	—	—	—	0,5	3,4	9,9	19,6	30,2	37,3	52,1	60	213	—
55	Уральск (Западно-Казахстанская обл.)	—28	—19	—6,3	—	—	0,1	0,6	3,4	11	20,5	29,7	34,6	51,1	50	201	—
56	Уфа	—31	—19	—6,2	—	—	0,22	1,4	5,04	11,4	22,8	33,2	41,1	46,84	56	218	—
57	Харьков	—23	—11	—2,5	—	—	—	0,02	0,4	1,9	7,9	17,2	31,6	67,98	63	190	—
58	Челябинск	—32	—21	—6,8	—	—	0,3	1,32	5,3	14,8	24,6	34,9	40,63	41,15	59	222	—
	Азиатская часть СССР																
59	Актюбинск	—29	—21	—7,1	—	—	0,03	0,9	5,5	13,6	24,3	29,2	35	49 46	48	206	—
60	Алма-Ата	—24	—13	—3	—	—	—	—	0,4	2,8	7,6	19	36,1	58,1	55	179	9
61	Барнаул	—38	—23	—8,1	0,04	0,44	1,7	4,9	10,2	16,7	25,8	34,1	36,4	41,72	52	224	—
62	Владивосток	—24	—16	—4,7	—	—	—	—	0,1	3,7	17,8	34,9	36,1	45,4	67	205	—
63	Иркутск	—35	—23	—8,8	—	0,3	2,1	4,8	11,9	16,9	36	36	29,6	42,4	63	243	8
64	Караганда	—32	—20	—7,2	—	0,14	1,3	3,1	6,9	12,85	20,25	31,9	40,2	53,35	47	217	—
65	Красноярск	—37	—22	—7,5	0,02	0,72	2,7	5,3	10,8	14,9	22,1	31,6	37,1	42,76	63	231	—
66	Кустанай	—35	—23	—8,4	—	0,13	0,2	2,8	10,1	19,2	27,13	32,9	36	40,54	48	217	—
67	Ленинск-Кузнецкий (Кемеровская обл.)	—38	—23	—7,7	—	0,15	2,4	4,54	9,7	15,3	24,44	30,3	40,5	50,67	49	227	—
68	Минусинск (Красноярский край)	—40	—26	—8,2	—	1,1	3,3	7,3	13,3	19,4	24,8	30,4	31,1	42,3	57	230	—
69	Новосибирск	—39	—24	—8,9	—	0,63	3,1	4,8	11,8	17,63	26,9	36,1	36,2	40,84	50	228	—
70	Омск	—36	—24	—8,9	0,02	0,21	2,44	5,4	12,1	19,5	29,6	34,2	34,4	39,13	50	227	—
71	Павлодар (Целинный край)	—35	—23	—8,9	0,04	0,23	0,9	3,4	11,7	23,14	29,1	33	33	34,49	43	212	—
72	Петропавловск (Целинный край)	—36	—24	—8,8	—	0,13	0,9	3,8	10,5	21	29,2	35,8	36,23	37,44	50	225	—
73	Самарканд	—12	3	2,9	—	—	—	—	—	—	0,4	2,7	9,3	18,6	93	124	7
74	Семипалатинск	—36	—21	—7,5	—	0,25	1,8	3,4	7,9	15,4	24,6	29,9	35,4	42,35	49	210	—

Продолжение табл. 1.3

№ п/п	Наименование городов	Температура наружного воздуха в °С: расчетная для проектирования: отопления	расчетная для проектирования: вентиляции	средняя отопительного периода	Число суток за отопительный период со среднесуточными температурами наружного воздуха в °С: ниже −45	−45 −40	−40 −35	−35 −30	−30 −25	−25 −20	−20 −15	−15 −10	−10 −5	−5 0	0 +8	Продолжительность отопительного периода в сутках	Сейсмичность с 7 баллов и выше
75	Ташкент	−13	−4	2	—	—	—	—	—	—	1,3	4,8	11,6	23,3	90	131	—
76	Тобольск (Тюменская обл.)	−35	−24	−8,1	—	0,24	1,54	4,8	9,5	18,2	28,3	35,6	38,8	33,02	65	235	—
77	Томск	−39	−25	−8,7	0,14	0,57	2,7	6,1	11,3	18,14	28	37	36,6	43	55	238	—
78	Тюмень	−33	−22	−7,2	—	0,2	0,84	3,9	7,3	15,8	24,8	35,6	38,9	41,66	57	226	—
79	Хабаровск	−33	−25	−9,3	—	—	0,1	2,1	12,3	28,2	35,8	29,8	26,6	27,1	58	220	—
80	Чита	−38	−30	−11,7	—	0,9	5,2	13,8	23,9	31,1	30,8	26,1	28,1	24,1	59	243	—

Примечания: 1. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления принята как средняя наиболее холодной пятидневки из восьми зим, взятых за 50 лет.

2. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции принята как средняя температура воздуха наиболее холодного периода, составляющего 15% общей продолжительности всего отопительного периода.

3. Продолжительность отопительного периода определена по числу дней с устойчивой среднесуточной температурой наружного воздуха +8°С и ниже.

4. Средняя температура наружного воздуха отопительного периода принята как средняя алгебраическая за отопительный период.

5. Интенсивность землетрясений в баллах оценивается по ГОСТ 6249—52.

Таблица 1.4

Средняя температура грунта в °С для некоторых пунктов СССР

Наименование городов	Зимняя: Глубина грунта в *м*: 0,8	1,6	Летняя: 0,8	1,6	Годовая: 0,8	1,6	Наименование городов	Зимняя: Глубина грунта в *м*: 0,8	1,6	Летняя: 0,8	1,6	Годовая: 0,8	1,6
Брест	1,2	3,1	19,1	16,4	9,7	9,6	Москва	1	1,6	14,4	13,4	6,5	6,5
Бежецк	0,5	1,9	17,4	15,4	8,3	8,2	Минск	1	2,9	11,8	10,7	8,5	8,4
Вологда	1	2	13,2	10,9	5,9	5,9	Одесса	3,2	5,5	23	19,6	12,7	12.5
Волгоград	−1,9	0,7	23,7	19,5	10,1	10,2	Орел	0	1,8	17,2	14,8	7,5	7,6
Гродно	0,3	1,5	19,4	16,1	8,4	8,3	Оренбург	−1,1	1,9	15,6	12,5	6,8	7,1
Даугавпилс	−1,6	−0,1	18,5	17,7	5,5	5,8	Ростов-на-Дону	0,8	4,8	20,2	16,6	10,4	10,7
Иваново	−0,1	1,3	15	13,3	6,2	6,3	Рига	−1,3	−0.3	16,5	16,2	6,2	6,3
Киев	1	2,7	17,3	15,1	8,5	8,5	Свердловск	0.75	2,7	12	9,1	6	5,5
Ленинград	−2,5	0.7	16,3	13,7	5,4	5,9	Харьков	1,5	2,7	17,1	15,7	8,8	8,9

1.4. СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

В табл. 1.5—1.7 приведены основные термодинамические и физические свойства воды и водяного пара, составленные по данным справочной литературы.

Таблица 15

Термодинамические свойства сухого насыщенного пара и воды на линии насыщения

Давление P в *кгс/см²*	Температура насыщения t_s в °С	Сухой насыщенный пар		Вода на линии насыщения		Скрытая теплота парообразования r в *ккал/кг*	Давление P в *кгс/см²*	Температура насыщения t_s в °С	Сухой насыщенный пар		Вода на линии насыщения		Скрытая теплота парообразования r в *ккал/кг*
		удельный вес γ'' в *кгс/м³*	энтальпия i'' в *ккал/кг*	удельный вес γ' в *кгс/м³*	энтальпия i' в *ккал/кг*				удельный вес γ'' в *кгс/м³*	энтальпия i'' в *ккал/кг*	удельный вес γ' в *кгс/м³*	энтальпия i' в *ккал/кг*	
1	99,09	0,5797	638,8	958	99,19	539,6	3,4	137,18	1,823	652,1	930	137,8	514,3
1,1	101,76	0,6337	639,8	957	101,87	537,9	3,5	138,19	1,873	652,4	929	138,9	513,5
1,2	104,25	0,6873	640,7	955	104,38	536,3	3,6	139,18	1,923	652,7	929	139,9	512,8
1,3	106,56	0,7407	641,6	955	106,72	534,9	3,7	140,15	1,974	653	927	140,9	512,1
1,4	108,74	0,7943	642,3	952	108,92	533,4	3,8	141,09	2,024	653,3	925	141,8	511,5
1,5	110,79	0,8467	643,1	951	110,99	532,1	3,9	142,02	2,074	653,6	925	142,8	510,8
1,6	112,73	0,9001	643,8	950	112,95	530,8	4	142,92	2,124	653,9	925	143,7	510,2
1,7	114,57	0,9524	644,5	949	114,81	529,7	4,1	143,81	2,173	654,1	924	144,6	509,5
1,8	116,33	1,0046	645,1	947	116,6	528,5	4,2	144,68	2,223	654,4	922	145,5	508,9
1,9	118,01	1,057	645,7	946	118,3	527,4	4,3	145,54	2,273	654,7	922	146,4	508,3
2	119,62	1,109	646,3	945	119,94	526,4	4,4	146,38	2,323	654,9	921	147,3	507,6
2,1	121,16	1,161	646,8	944	121,9	525,3	4,5	147,2	2,373	655,2	920	148,1	507,1
2,2	122,65	1,212	647,3	941	123	524,3	4,6	148,01	2,422	655,4	920	149	506,5
2,3	124,08	1,264	647,8	940	124,5	523,3	4,7	148,81	2,472	655,6	920	149,8	505,8
2,4	125,46	1,315	648,3	940	125,9	522,4	4,8	149,59	2,521	655,9	919	150,6	505,3
2,5	126,79	1,367	648,7	939	127,2	521,5	4,9	150,36	2,571	656,1	918	151,4	504,7
2,6	128,08	1,417	649,2	938	128,5	520,7	5	151,11	2,62	656,3	916	152,1	504,2
2,7	129,34	1,469	649,6	937	129,8	519,8	5,2	152,59	2,718	656,7	915	153,7	503
2,8	130,55	1,52	650	936	131,1	518,9	5,4	154,02	2,817	657,1	914	155,1	502
2,9	131,73	1,57	650,3	935	132,3	518	5,6	155,41	2,915	657,5	912	156,6	500,9
3	132,88	1,621	650,7	934	133,4	517,3	5,8	156,76	3,013	657,9	912	158	499,9
3,1	134	1,672	651,1	932	134,6	516,5	6	158,08	3,111	658,3	910	159,3	498,9
3,2	135,08	1,722	651,4	930	135,7	515,7	6,2	159,36	3,209	658,6	909	160,7	497,9
3,3	136,14	1,772	651 8	930	136,8	515	6,4	160,61	3,307	659	906	162	497

Продолжение табл. 15

Давление P в кгс/см²	Температура насыщения t_s в °С	Сухой насыщенный пар		Вода на линии насыщения		Скрытая теплота парообразования r в ккал/кг	Давление P в кгс/см²	Температура насыщения t_s в °С	Сухой насыщенный пар		Вода на линии насыщения		Скрытая теплота парообразования r в ккал/кг
		удельный вес γ'' в кгс/м³	энтальпия i'' в ккал/кг	удельный вес γ' в кгс/м³	энтальпия i' в ккал/кг				удельный вес γ'' в кгс/м³	энтальпия i'' в ккал/кг	удельный вес γ' в кгс/м³	энтальпия i' в ккал/кг	
6,6	161,82	3,404	659,3	905	163,2	496,1	13	190,71	6,494	665,6	875	193,6	472
6,8	163,01	3,501	659,6	905	164,5	495,1	13,5	192,45	6,734	665,9	874	195,5	470,4
7	164,17	3,6	659,9	904	165,1	494,2	14	194,13	6,974	666,2	872	197,3	468,9
7,2	165,31	3,697	660,2	903	166,9	493,3	14,5	195,77	7,21	666,4	870	199,1	467,4
7,4	166,42	3,794	660,4	901	168	492,4	15	197,36	7,452	666,7	868	200,7	465,9
7,6	167,51	3,891	660,7	900	169,2	491,5	15,5	198,91	7,692	666,9	866	202,4	464,5
7,8	168,57	3,989	661	899	170,3	490,7	16	200,43	7,93	667,1	865	204	463,1
8	169,61	4,085	661,2	898	171,4	489,8	16,5	201,91	8,17	667,3	864	205,6	461,7
8,2	170,63	4,182	661,4	897	172,4	489	17	203,35	8,41	667,5	861	207,2	460,3
8,4	171,63	4,279	661,7	896	173,4	488,3	17,5	204,76	8,651	667,7	859	208,7	459
8,6	172,61	4,375	661,9	895	174,5	487,4	18	206,14	8,889	667,8	858	210,2	457,6
8,8	173,58	4,472	662,1	894	175,5	486,6	18,5	207,49	9,132	668	855	211,7	456,3
9	174,53	4,568	662,3	893	176,5	485,8	19	208,81	9,372	668,2	854	213,1	455,1
9,2	175,46	4,664	662,5	892	177,5	485	19,5	210,11	9,615	668,3	853	214,5	453,8
9,4	176,38	4,762	662,7	890	178,5	484,2	20	211,38	9,852	668,5	851	215,9	452,6
9,6	177,28	4,859	662,9	890	179,4	483,5	20,5	212,63	10,09	668,6	850	217,3	451,3
9,8	178,16	4,953	663,1	889	180,3	482,8	21	213,85	10,34	668,7	849	218,6	450,1
10	179,04	5,051	663,3	889	181,3	482,1	21,5	215,05	10,57	668,8	846	220	448,8
10,5	181,16	5,291	663,7	887	183,5	480,2	22	216,23	10,82	668,9	845	221,2	447,7
11	183,2	5,531	664,1	884	185,7	478,4	22,5	217,39	11,06	668,9	844	222,5	446,4
11,5	185,17	5,77	664,5	881	187,7	476,8	23	218,53	11,3	669	842	223,8	445,2
12	187,08	6,013	664,9	880	189,8	475,1	23,5	219,65	11,54	669,1	841	225	444,1
12,5	188,92	6,254	665,3	879	191,7	473,6	24	220,75	11,78	669,2	839	226,2	443

Продолжение табл. 1.5

Давление P в *кгс/см²*	Температура насыщения t_s в °С	Сухой насыщенный пар		Вода на линии насыщения		Скрытая теплота парообразования r в *ккал/кг*
		удельный вес γ'' в *кгс/м³*	энтальпия i'' в *ккал/кг*	удельный вес γ' в *кгс/м³*	энтальпия i' в *ккал/кг*	
24,5	221,83	12,03	669,2	838	227,4	441,8
25	222.9	12,27	669,3	836	228,6	440,7
25,5	223,95	12,51	669,3	835	229,8	439,5
26	224,99	12,76	669,4	834	230,9	438,5
26,5	226,01	13	669,4	833	232,1	437,3
27	227,01	13,24	669,4	831	233,2	436,2
27,5	228	13,49	669,5	830	234,3	435,2
28	228,98	13,73	669,5	829	235,4	434,1
28,5	229,94	13,98	669,5	829	236,5	433
29	230,89	14,22	669,5	825	237,5	432
29,5	231,83	14,47	669,6	824	238,6	431
30	237,76	14,71	669,6	824	239,6	430
31	234,57	15,2	669,6	821	241,7	427,9
32	236,35	15,7	669,6	820	243,7	425,9
33	238,08	16,19	669,6	817	245,6	423,9
34	239.77	16,68	669,5	815	247,6	421,9
35	241,42	17,18	669,5	812	249,5	420
36	243,04	17,69	669,4	810	251,3	418,1
37	244,62	18,19	669,3	808	253,1	416,2
38	246,17	18,68	669,2	805	254,9	414,3
39	247,69	19,19	669,2	803	256,7	412,5
40	249,18	19,7	669	801	258,4	410,6
41	250,64	20,2	668,9	798	260,1	408,8
42	252,07	21,71	668,8	796	261,8	407
43	253,48	21,22	668,7	795	263,4	405,3
44	254.87	21,73	668,5	792	265	403,5
45	256,23	22,25	668,4	790	266,6	401,8
46	257,56	22,76	668,2	788	268,2	400
47	258,88	23,28	668	785	269,8	398,2
48	260,17	23,79	667,9	784	271,3	396,6
49	261,45	24,32	667,7	782	272,8	394,9
50	262,7	24,84	667,5	780	274,3	393,2
51	263,93	25,36	667,4	779	275,8	391,6
52	265,15	25,89	667,2	777	277,2	390
53	266,35	26,42	667	775	278,7	388,3
54	267,53	26,95	666,7	772	280,1	386,6
55	268,69	27,48	666,6	770	281,5	385,1
56	269,84	28,02	666,3	768	282,9	383,4
57	270,98	28,56	666,1	767	284,3	381,8
58	272,1	29,1	665,9	765	285,6	380,3
59	273,2	29,64	665,6	762	287	378,6
60	274,29	30,18	665,4	760	288,3	377,1
61	275,37	30,72	665,1	759	289,7	375,4
62	276,43	31,28	664,8	758	291	373,8
63	277,48	31,83	664,6	755	292,3	372,3
64	278,51	32,37	664,3	754	293,6	370,8

Таблица 16

Удельный вес перегретого пара γ в *кгс/м*³

P в *кгс/см*²	Температура перегрева в °С																	
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440
1	0,578	0,546	0,52	0,491	0,472	0,452	0,433	0,415	0,4	0,386	0,372	0,359	0,347	0,336	0,326	0,316	0,308	0,298
1,1	—	0,601	0,571	0,545	0,52	0,497	0,477	0,457	0,44	0,425	0,41	0,395	0,384	0,37	0,358	0,348	0,338	0,328
1,2	—	0 657	0,624	0,595	0,567	0,542	0,52	0,5	0,48	0,462	0,446	0,431	0,417	0,404	0,392	0,38	0,367	0,358
1,3	—	0,713	0,677	0,645	0,615	0,589	0,564	0,541	0,52	0,501	0,484	0,467	0,451	0,436	0,424	0,411	0,399	0,388
1,4	—	0,77	0,73	0,695	0,664	0,635	0,608	0,583	0,56	0,54	0,521	0,504	0,486	0,471	0,456	0,443	0,43	0,418
1,5	—	0,825	0,783	0,745	0,71	0,68	0,651	0,625	0,601	0,58	0,558	0,539	0,522	0,505	0,489	0,475	0,461	0,448
1,6	—	0,88	0,835	0,795	0,76	0,725	0,695	0,639	0,642	0,618	0,596	0,575	0,556	0,54	0,522	0,506	0,492	0,478
1,7	—	0,94	0,89	0,845	0,805	0,771	0,74	0,71	0,681	0,657	0,635	0,611	0,59	0,572	0,555	0,539	0,523	0,508
1,8	—	0,994	0,941	0,896	0,854	0,816	0,782	0,751	0,722	0,69 5	0,67	0,647	0,626	0,606	0,588	0,57	0,554	0,538
1,9	—	1,05	0,995	0,946	0,902	0,861	0,826	0,793	0,763	0,735	0,708	0,684	0,66	0,64	0,62	0,602	0,585	0,568
2	—	1,108	1,049	0,999	0,95	0,908	0,87	0,836	0,804	0,773	0,745	0,72	0,696	0,674	0,653	0,634	0,615	0,598
2,2	—	—	1,155	1,098	1,047	1	0,958	0,92	0,884	0,85	0,82	0,801	0,765	0,742	0,719	0,697	0,677	0,657
2,4	—	—	1,26	1,2	1,142	1,09	1,045	1,003	0,965	0,93	0,896	0,865	0,835	0,81	0,785	0,76	0,739	0,718
2,6	—	—	1,37	1,3	1,24	1,185	1,134	1,09	1,045	1,007	0,97	0 938	0,905	0,875	0,85	0,825	0,801	0,778
2,8	—	—	1,48	1,4	1,34	1,28	1,22	1,17	1,13	1,09	1,05	1,01	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84
3	—	—	1,59	1,51	1,44	1,37	1,31	1,26	1,21	1,16	1,12	1,08	1,05	1,01	0,98	0,95	0,92	0,9
3,2	—	—	1,7	1,61	1,53	1,46	1,4	1,34	1,29	1,24	1,22	1,16	1,12	1 08	1,05	1,01	0,99	0,96
3,4	—	—	1,81	1,71	1,63	1,56	1,49	1,43	1,37	1,32	1,27	1,23	1,19	1,15	1,11	1,08	1,05	1,02
3,6	—	—	1,92	1,82	1,73	1,65	1,58	1,51	1,45	1,4	1,35	1,3	1,26	1,22	1,18	1 14	1,11	1,08
3,8	—	—	—	1,92	1,83	1,74	1,67	1,6	1,53	1,48	1,42	1,375	1,33	1,285	1,245	1,21	1,17	1,14
4	—	—	—	2,02	1,93	1,84	1,76	1,68	1,62	1,56	1,5	1,45	1,4	1,36	1,31	1,27	1,23	1,2
4,2	—	—	—	2,13	2,03	1,93	1,85	1,77	1,7	1,63	1,58	1,52	1,47	1,42	1,38	1,34	1,29	1,26
4,4	—	—	—	2,24	2,12	2,03	1,94	1,86	1,78	1,71	1,65	1,6	1,54	1,49	1,44	1,4	1,36	1,32
4,6	—	—	—	2,34	2,22	2,12	2,03	1,94	1,86	1,79	1,73	1,67	1,61	1,56	1,51	1,46	1,42	1,38
4,8	—	—	—	2,44	2,32	2,22	2,12	2,025	1,945	1,87	1,8	1,74	1,68	1,62	1 57	1,53	1,48	1,44
5	—	—	—	2,56	2,42	2,31	2,21	2,11	2,03	1,95	1,88	1,81	1,75	1,69	1,64	1,59	1,54	1,5
5,5	—	—	—	2,82	2,68	2,54	2,43	2,33	2,24	2,14	2,07	1,995	1,93	1,83	1,81	1,75	1,7	1,65
6	—	—	—	3,1	2,93	2,79	2,66	2,54	2,44	2,35	2,26	2,18	2,11	2,04	1,97	1,91	1,86	1,8
6,5	—	—	—	—	3,19	3,03	2,89	2,76	2,65	2,55	2,45	2,37	2,29	2,21	2,14	2,07	2,01	1,95
7	—	—	—	—	3,44	3,27	3,12	2,98	2,86	2,74	2,64	2,55	2,46	2,38	2,3	2,23	2,16	2,1
7,5	—	—	—	—	3,7	3,51	3,35	3,2	3,07	2,95	2,84	2,74	2,64	2,55	2 47	2,39	2,32	2,26
8	—	—	—	—	3,96	3,76	3,58	3,42	3,28	3,15	3,03	2,92	2,82	2,72	2,64	2,56	2,48	2,41
8,5	—	—	—	—	4,22	4	3,81	3,64	3,49	3,35	3,22	3,1	3	2,9	2,8	2,72	2,64	2,56
9	—	—	—	—	4,5	4,25	4,05	3,86	3,7	3,56	3,42	3,29	3,18	3,07	2,96	2,88	2,79	2,71
9,5	—	—	—	—	4,75	4,51	4,28	4,08	3,91	3,75	3 61	3,48	3,36	3,24	3,14	3,04	2,95	2,86
10	—	—	—	—	5,04	4,75	4,51	4,3	4,12	3,96	3,8	3,66	3,54	3,42	3,3	3,2	3,1	3,02
11	—	—	—	—	—	5,26	5	4,76	4,55	4,36	4,19	4,04	3,89	3,77	3,63	3,53	3,42	3,32
12	—	—	—	—	—	5,8	5,48	5,22	4,98	4,78	4,58	4,42	4,25	4,12	3,98	3,86	3,74	3,62
13	—	—	—	—	—	6,31	5,97	5,68	5,42	5,2	4,98	4,8	4,62	4,46	4,32	4,18	4,05	3,93
14	—	—	—	—	—	6,85	6,48	6,15	5,85	5,6	5,39	5,17	4,99	4,87	4,65	4,5	4,37	4,24
15	—	—	—	—	—	7,4	6,97	6,61	6,31	6,03	5,78	5,56	5,36	5,17	5	4,83	4,69	4,55
16	—	—	—	—	—	—	7,48	7,09	6,75	6,45	6,19	5,94	5,73	5,53	5,34	5,16	5	4,85
17	—	—	—	—	—	—	8	7,56	7,21	6,88	6,6	6,33	6,1	5,88	5 68	5,5	5,32	5,16
18	—	—	—	—	—	—	8,51	8,05	7,65	7,31	7	6,71	6,46	6,24	6,02	5,83	5,64	5,47
19	—	—	—	—	—	—	9,05	8,54	8,1	7,74	7,4	7,11	6,83	6,6	6,35	6,15	5,96	5,78
20	—	—	—	—	—	—	9,58	9,04	8,56	8,16	7,8	7,5	7,21	6,95	6,71	6,49	6,28	6,09
21	—	—	—	—	—	—	10,1	9,525	9,04	8,6	8,225	7,9	7,6	7,31	7,06	6,82	6,6	6,4
22	—	—	—	—	—	—	10,7	10,01	9,5	9,05	8,65	8,29	7,97	7,68	7,41	7,16	6,92	6,71
23	—	—	—	—	—	—	11,23	11,55	10	9,48	9,06	8,67	8 35	8,04	7,75	7,49	7,25	7,03
24	—	—	—	—	—	—	—	11,05	10,45	9,95	9,48	9,05	8,73	8,41	8,1	7,84	7,59	7,44
25	—	—	—	—	—	—	—	11,6	10,9	10.39	9,91	9,5	9,12	8,76	8 45	8,19	7,9	7,65
26	—	—	—	—	—	—	—	12,1	11,4	10,8	10,3	9,9	9,5	9 13	8,8	8,5	8,22	7,95
27	—	—	—	—	—	—	—	12,65	11,9	11,3	10,75	10,3	9,88	9,5	9,15	8,83	8,55	8,29
28	—	—	—	—	—	—	—	13,2	12,4	11,74	11,2	10,7	10,3	9,87	9,52	9,2	8,9	8,59
29	—	—	—	—	—	—	—	13,74	12,9	12,2	11,6	11 1	10,65	10,25	9,87	9,52	9,21	8,9
30	—	—	—	—	—	—	—	14,3	13,4	12,7	12,1	11,5	11.05	10,6	10,2	9,86	9,55	9,22
31	—	—	—	—	—	—	—	14,9	13,9	13,15	12,5	11,9	11,45	11	10,6	10,2	9,87	9,55
32	—	—	—	—	—	—	—	15,5	14,46	13,6	12,94	12,35	11,84	11,38	10,95	10,56	9,2	9,85
33	—	—	—	—	—	—	—	16,06	15	14,1	13,4	12,8	12,2	11,75	11,3	10,9	9,54	10,2
34	—	—	—	—	—	—	—	16,7	15,5	14,6	13,84	13,2	12,6	12,14	11,7	11,25	10,9	10,5
35	—	—	—	—	—	—	—	—	16,1	15,1	14,3	13,6	13,04	12,5	12,04	11,6	11,2	10,82
36	—	—	—	—	—	—	—	—	16,6	15,6	14,76	14,05	13,45	12,9	12,4	11,95	11,5	11,15

Таблица 17

Теплоемкость перегретого водяного пара c_p в ккал/кг °С при постоянном давлении

Температура пара в °С	c_p при давлении пара в кгс/см²				
	5	10	20	30	40
200	0,507	0,572	—	—	—
220	0,496	0,54	0,701	—	—
240	0,491	0,523	0,629	0,802	—
260	0,49	0,513	0,59	0,699	0,842
280	0,49	0,51	0,569	0,638	0,73
300	0,491	0,508	0,552	0,602	0,666

Продолжение табл. 1.7

Температура пара в °С	c_p при давлении пара в кгс/см²				
	5	10	20	30	40
320	0,492	0,506	0 54	0,58	0,628
340	0,493	0,505	0,532	0,565	0,601
360	0,494	0,504	0,528	0,554	0,583
380	0,497	0,505	0,525	0,548	0,573
400	0,5	0,507	0,525	0,544	0,565
420	0,502	0,509	0,525	0,542	0,56
440	0,505	0,511	0,525	0,541	0,556

ГЛАВА 2

ТРУБЫ И ДЕТАЛИ ТРУБОПРОВОДОВ

2.1. УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТРУБ

Трубопроводы тепловых сетей, транспортирующие водяной пар с давлением свыше 2 *ата* или горячую воду с температурой свыше 120° С, должны удовлетворять требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды», утвержденных Госгортехнадзором СССР 1 февраля 1957 г., согласно которым трубопроводы тепловых сетей относятся ко 2, 3 и 4-й категориям (табл. 2.1).

В соответствии с указаниями главы СНиП I-Г.7-62 «Тепловые сети. Материалы, оборудование, арматура, изделия и строительные конструкции» для тепловых сетей применяют следующие трубы:

стальные бесшовные горячекатаные, наружным диаметром от 32 до 426 *мм*, сортамент ГОСТ 8732—58*, технические требования ГОСТ 8731—58*;

стальные электросварные с продольным швом и калиброванными концами, наружным диаметром от 426 до 1220 *мм*, сортамент и технические требования ГОСТ 4015—58;

Таблица 2.1

Классификация трубопроводов по параметрам теплоносителей

Категория трубопровода	Наименование теплоносителя	Рабочие параметры теплоносителя	
		давление (избыточное) в *кгс/см²*	температура в °С
2	Перегретый пар	До 39	Свыше 350 до 450
	Горячая вода, насыщенный пар	Свыше 80 до 184	Свыше 120
3	Перегретый пар	До 22	Свыше 250 до 350
	Горячая вода, насыщенный пар	Свыше 16 до 80	Свыше 120
4	Перегретый и насыщенный пар, горячая вода	1—16	Свыше 120 до 250

стальные электросварные с двухсторонним спиральным швом, наружным диаметром от 426 до 1220 *мм*, сортамент и технические требования ГОСТ 8696—62;

стальные водогазопроводные (газовые), наружным диаметром от 33,5 до 165 *мм*, сортамент и технические требования ГОСТ 3262—62;

стальные электросварные с продольным швом, наружным диаметром от 32 до 133 *мм*, сортамент и технические требования ГОСТ 1753—53.

Трубы стальные электросварные наружным диаметром от 32 до 1220 *мм* могут быть применены по ГОСТ 10704—63 — ГОСТ 10707—63, которые будут введены вместо ГОСТ 4015—58 и ГОСТ 1753—53.

Кроме перечисленных типов труб в тепловых сетях могут применяться трубы, изготовленные по специальным техническим условиям (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Типоразмеры стальных электросварных труб с продольным швом

Технические условия на изготовление труб	Гост; марка стали	Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Толщина стенки трубы *s* в *мм*
ЧМТУ Укр. НИТИ 450—63	14ГН, 19Г; 16ГН; 17ГС ГОСТ 5058—57*	529 720 820 1020	8 8, 9, 10, 11 9, 10, 11 11
ЧМТУ Укр. НИТИ 182—60	14ХГС, МК; ГОСТ 5058—57*	529	8,9
ТУ 06—56	Ст. 3 (группы А); ГОСТ 380—60	478 529 630	9, 11, 12 9, 12 10, 12
ЧМТУ Укр. НИТИ 512—63 (временные) группы А	Ст. 2 кп; Ст. 2; Ст. 3 кп; Ст. 3 (группы А); ГОСТ 380—60; 10, 10кп; 20; 20кп; ГОСТ 1050—60	159 168 219	3, 3,5; 4; 4.5; 5; 6, 6,5; 7; 7,5; 8; 9; 10
		245 273 325	4; 4,5; 5; 6. 6,5; 7; 7,5; 8; 9; 10
		351 226 478 529	5; 6, 6,5; 7· 7,5; 8; 9, 10

Применение труб в зависимости от рабочих параметров теплоносителя и марок стали дано в табл. 2.3.

Сталь углеродистая качественная конструкционная по ГОСТ 1050—60 изготовляется в мартеновских и элек-

Таблица 23

Применение труб в зависимости от рабочих параметров теплоносителя и марок стали

Марка стали; ГОСТ	Вид труб	ГОСТ или ТУ на изготовление труб	Температура среды t в °С, не выше	Давление среды (условное $P_у$ и рабочее $P_{раб}$) в *кгс/см²*
ГОСТ 380—60	обыкновенные	ГОСТ 3262—62	150	$P_у \leqslant 10$
Ст. 2, Ст. 3; ГОСТ 380—60; Группа А	Сварные мягкие	ГОСТ 1753—53	200	$P_у \leqslant 16$
10, 20; ГОСТ 1050—60	То же	ГОСТ 1753—53	300	$P_у \leqslant 16$
ВСт. 2 кп; подгруппа В ГОСТ 380—60	Сварные со спиральным швом	ГОСТ 8696—62, группа А	200	$P_у \leqslant 16$
ВСт.3, Ст.2 и Ст.3; группа А и подгруппа В ГОСТ 380—60	То же	ГОСТ 8696—62, группы А и В	300	$P_у \leqslant 25$
10Г2 СД (МК); ГОСТ 5058—57*	»	ГОСТ 8696—62, группы А и В	350	$P_у \leqslant 25$
ВСт.2кп. ВСт. 3кп; подгруппа В, ГОСТ 380—60	Сварные с продольным швом[2]	ГОСТ 4015—58, группа А	200	$P_у \leqslant 16$
Ст.2, Ст.3. ВСт.3; группа А и подгруппа В ГОСТ 380—60	То же с двухсторонним швом[1]	ГОСТ 4015-58, группа А	300	$P_у \leqslant 25$
10Г2СД (МК), 14ХГС; ГОСТ 5058—57*	Сварные с продольным швом	ЧМТУ Укр. НИТИ 182—60	400	$P_{раб} \leqslant 21$
14ГН, 19Г; 16ГН, 17ГС ГОСТ 5058—57*	»	ЧМТУ Укр. НИТИ 450—63	300	$P_{раб} \leqslant 16$
Ст. 3; группа А, ГОСТ 380—60	»	ТУ 06—56	300	$P_{раб} \leqslant 16$
Ст.2, Ст.3, ГОСТ 380—60	Бесшовные	ГОСТ 8731—58*, ГОСТ 8733—58*	300	$P_{раб} \leqslant 22$
10, 20; ГОСТ 1050—60	То же	ГОСТ 8731—58* ГОСТ 8733—58*	Пар перегретый	
			450	$P_{раб} \leqslant 60$
			470	$P_{раб} \leqslant 16$
			Пар насыщенный, горячая вода	
			300	$P_{раб} \leqslant 80$

Примечание. Для тепловых сетей в северных районах рекомендуется применять трубы из стали марки 20 по ГОСТ 1050—6 или из спокойной стали подгруппы В марки ВСт. 3 по ГОСТ 380—60. Последнюю марку стали допускается применять при температурах теплоносителя не выше 300°С.

[1] При одностороннем шве $P_у \leqslant 16$ *кгс/см²*.

[2] Допускается применение ст. 2 кп и ст. 3 кп с ограничением по химическому составу при $t \leqslant 150$ °С.

трических печах (спокойная, кипящая и полуспокойная). В зависимости от химического состава сталь подразделяется на две группы — группа I с нормальным содержанием марганца (0,25—0,80%) марок 10кп, 10, 20кп, 20 и др. и группа II с повышенным содержанием марганца (0,7—1,2%) марок 15Г, 20Г, 25Г и др. (буква «Г» обозначает повышенное содержание марганца);

Сталь низколегированная конструкционная по ГОСТ 5058—57*:

кремнемарганцовая — 15ГС, кремнемарганцовомедистая — 10Г2СД(МК), хромокремнемарганцовая — 14ХГС, марганцовая — 19Г, марганцовоникелевая — 14ГН и др. (Г — марганец; Х — хром; Н — никель; Д — медь).

Механические свойства и химический состав применяемых для изготовления труб марок сталей по ГОСТ 1050—60 и ГОСТ 5058—57* должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 2.4 и 2.5.

Сталь углеродистая обыкновенного качества по ГОСТ 380—60 изготовляется в мартеновских печах (спокойная, кипящая, полуспокойная) и в бессемеровских конверторах (спокойная, кипящая). В зависимости от назначения и гарантируемых характеристик сталь подразделяется на две группы в одну подгруппу:

группа А поставляется по механическим свойствам марок Ст.2, Ст.3 и др.;

группа Б поставляется по химическому составу марок МСт.2кп, МСт.3кп, МСт.3 и др. (мартеновская) и БСт.3кп, БСт.3 и др. (бессемеровская);

подгруппа В поставляется по механическим свойствам и с дополнительными требованиями по химическому составу марок ВСт.2кп, ВСт.3кп, ВСт.3 и др. (изготовляется только мартеновским способом).

Для стали группы А по ГОСТ 380—60 гарантируемыми характеристиками являются временное сопротивление и относительное удлинение (см. табл. 2.4), химический же состав стали указывается в сертификате, но отклонения от норм по химическому составу браковочным признаком не являются; для стали группы Б гарантируемой характеристикой является химический состав (см. табл. 2.5); для стали подгруппы В гарантируемыми характеристиками являются:

предел текучести, временное сопротивление и относительное удлинение в соответствии с нормами табл. 2.4;

верхние пределы содержания углерода, серы и фосфора, а также кремния (для спокойной и полуспокойной стали) в соответствии с нормами табл. 2.5;

предельное содержание хрома, никеля и меди — не более 0,3% (каждого элемента).

По ГОСТ 380—60 и ГОСТ 1050—60 марки кипящей стали имеют индекс «кп», а полуспокойной «пс».

В соответствии с правилами Госгортехнадзора трубы должны быть изготовлены из стали, выплавленной мартеновским способом или в электрических печах.

2.2. СОРТАМЕНТ ТРУБ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Всесоюзным государственным проектным институтом Теплоэлектропроект в 1959 г. разработан сортамент труб тепловых сетей, в котором приводятся наружные диаметры и толщины стенок труб в зависимости от способа прокладки тепловых сетей и параметров теплоносителей (табл. 2.6 и 2.7).

Таблица 2.4

Механические свойства стали по ГОСТ 1050—60, ГОСТ 380—60 и ГОСТ 5058—57*

ГОСТ; марка стали	Толщина проката в *мм*	Предел текучести в *кгс/мм²*	Относительное удлинение в %		Временное сопротивление разрыву в *кгс/мм²*	Относительное сужение в %	Испытание на загиб на 180° в холодном состоянии (*s* — толщина образца; *d* — диаметр оправки; *c* — толщина оправки; *a* — толщина проката)
			10	5			
		не менее					
ГОСТ 380—60, Ст.2, Ст.2кп	Сортовая сталь — до 40 вкл. Фасонная — до 15 вкл. Широкополосная — от 4 до 20 вкл.	22	26	31	34—42	—	$d = 0$
ГОСТ 380—60; Ст.3, Ст. 3кп		24	23	27	38—40	—	$d = 0{,}5s$
			22	26	41—43	—	$d = 0{,}5s$
			21	25	44—47	—	$d = 0{,}5s$
ГОСТ 1050—60, 10кп	До 80	19	—	33	32	55	—
ГОСТ 1050—60, 10		21	—	31	34	55	
ГОСТ 1050—60; 20кп	До 80	23	—	27	39	55	—
ГОСТ 1050—60; 20		25	—	25	42	55	
ГОСТ 5058—57*; 10Г2СД (МК)	4—32	35	18	—	50	—	$c = 2a$
ГОСТ 5058—57*; 14ХГС	4—10	35	18	—	50	—	$c = 2a$
	11—20	34					
14ГН	4—10	34	18	—	48	—	$c = 2a$
ГОСТ 5058—57*; 19Г	4—10	30	18	—	47	—	$c = 2a$
ГОСТ 5058—57*; 15ГС	4—10	35	18	—	50	—	$c = 2a$
	11—20	34	18	—	48	—	$c = 2a$

Примечания: 1. По требованию заказчика, оговоренному в заказе, поставляется сталь марок Ст.3 и Ст.3кп по ГОСТ 380—60 толщиной до 20 *мм* с испытанием на загиб в холодном состоянии до соприкосновения сторон.

2. Для марок стали по ГОСТ 380—60 допускается повышение временного сопротивления на 3 *кгс/мм²* от верхнего предела, а при согласии заказчика — без ограничения верхнего предела при удовлетворительных результатах испытаний на загиб в соответствии с нормами таблицы (в обоих случаях).

Минимальные толщины стенок труб в сортаменте соответствуют минимальным толщинам стенок труб по действующим ГОСТам или по товарному сортаменту труб, выпускаемых отечественными заводами. Дальнейшее уменьшение толщин стенок труб для низких параметров теплоносителей возможно и должно осуществляться по мере освоения промышленностью выпуска более тонкостенных труб.

Таблица 2.5

Химический состав стали и допускаемые отклонения по ГОСТ 1050—60, ГОСТ 380—60 и ГОСТ 5058—57*

ГОСТ; марка стали	Химический состав стали в %								
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера	хром	никель	медь	мышьяк
	не более								
ГОСТ 380—60; МСт. 2кп	0,09—0,15	Не более 0,07	0,25—0,5	0,045	0,055	0,3*	0,3*	0,3*	0,08
ГОСТ 380—60, МСт. 3кп	0,14—0,22	то же	0,3—0,6	0,045	0,055	0,3*	0,3*	0,3*	0,08
ГОСТ 380—60; МСт. 3	0,14—0,22	0,12—0,3	0,4—0,65	0,045	0,055	0,3*	0,3*	0,3*	0,08
ГОСТ 1050—60; 10кп	0,07—0,14	Не более 0,07	0,25—0,5	0,04	0,04	0,15	0,25	0,25	0,08
ГОСТ 1050—60; 10	0,07—0,14	0,17—0,37	0,35—0,65	0,035	0,04	0,15	0,25	0,25	0,08
ГОСТ 1050—60; 20кп	0,17—0,24	Не более 0,07	0,25—0,5	0,04	0,04	0,25	0,25	0,25	0,08
ГОСТ 1050—60; 20	0,17—0,24	0,17—0,37	0,35—0,65	0,04	0,04	0,25	0,25	0,25	0,08
ГОСТ 5058—57*; 10Г2СД (МК)	⩽0,12	0,8—1,1	1,3—1,65	0,04	0,04	0,3	0,3	0,15—0,3	—
ГОСТ 5058—57*; 14ХГС	0,11—0,17	0,40—0,7	0,9—1,3	0,04	0,04	0,5—0,8	0,3	0,3	—
14ГН	0,11—0,16	0,2—0,4	0,75—1,1	0,04	0,04	0,3	0,5—0,8	0,3	—
ГОСТ 5058—57*; 19Г	0,16—0,22	0,2—0,4	0,7—1	0,04	0,04	0,3	0,3	0,3	—
ГОСТ 5058—57*; 15ГС	0,12—0,18	0,7—1	0,9—1,3	0,04	0,04	0,3	0,3	0,3	—
	допускаемые отклонения в %								
ГОСТ 380—60; спокойная	+0,03 −0,02	+0,03 −0,02	+0 05 −0,03	+0,005	+0,005	—	—	—	—
ГОСТ 380—60; кипящая	±0,03	—	+0,05 −0,04	+0,006	+0,006	—	—	—	—
ГОСТ 5058—57*	±0,02	±0,05	±0,1	+0,005	+0,005	±0,5	±0,5	±0,5	—

Примечания: 1. Звездочкой обозначено содержание элементов, гарантируемых по требованию заказчика.
2. По требованию заказчика допускаются дополнительные отклонения и ограничения по химическому составу стали по соответствующим ГОСТам на сталь.

Сортамент труб тепловых сетей для надземной и подземной прокладки по МВН 1225—59; МВН 1233—59; МВН 1234—59

Таблица 2.6

ГОСТ на трубы	Условный проход $D_у$ в *мм*	Наружный диаметр $D_н$ в *мм*	Толщина стенок труб в *мм* при рабочих параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С				
			для трубопроводов				для соединения с плоскими приварными фланцами по ГОСТ 1255—54*
			$P_{раб}$=8, t=100; $P_{раб}$=8, t=250	$P_{раб}$=16, t=150; $P_{раб}$=13, t=300	$P_{раб}$=16, t=325; $P_{раб}$=21, t=350	$P_{раб}$=36, t=425	$P_{раб}$=8, t=100; $P_{раб}$=8, t=250; $P_{раб}$=13, t=300; $P_{раб}$=16, t=150; $P_{раб}$=16, t=325;
8732—58*	25[1]	32	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5
	32[1]	38	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5
	40[1]	45	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5
	50	57	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	70	76	3,5	3,5	3,5	3,5	4
	80	89	3,5	3,5	3,5	3,5	4
	100	108	4	4	4	4	4
	125	133	4	4	4	4	4

Продолжение табл. 2.6

ГОСТ на трубы	Условный проход $D_у$ в *мм*	Наружный диаметр $D_н$ в *мм*	Толщина стенок труб в *мм* при рабочих параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С				
			для трубопроводов				для соединения с плоскими приварными фланцами по ГОСТ 1255—54*
			$P_{раб}$=8, t=100; $P_{раб}$=8, t=250	$P_{раб}$=16, t=150; $P_{раб}$=13, t=300	$P_{раб}$=16, t=325; $P_{раб}$=21, t=350	$P_{раб}$=36, t=425	$P_{раб}$=8, t=100; $P_{раб}$=8, t=250; $P_{раб}$=13, t=300; $P_{раб}$=16, t=150; $P_{раб}$=16, t=325
8732—58*	150	159	4,5	4,5	4,5	4 5	4,5
	175	194	5[2]	5[2]	5[2]	5[2]	6
	200	219	6	6	6	6	6
	250	273	7	7	7	7	8
	300	325	8	8	8	9	8
	350	377	9	9	9	10	9
	400	426	—	—	9[2]	11	9[2]
4015—58	400	426	6[3]	6[3]/7	—	—	9
	450	478	6[3]	6[3]/7	—	—	9
	500	529	6[3]	6[3]/7	—	—	9
	600	630	7	7/8	—	—	9
	700	720	7[3]	7[3]/8	—	—	—
	800	820	8	8/9	—	—	—
	900	920	9	9/10	—	—	—
	1000	1020	10	10/11	—	—	—
8696—62	400	426	6[3]	6[3]	—	—	9[4]
	450	480	6[3]	6[3]	—	—	9[4]
	500	530	6[3]	6[3]	—	—	9
	600	630	7	8	—	—	9
	700	720	7	7	—	—	—

Примечания: 1. В знаменателе дроби приведена толщина стенок труб при бесканальной прокладке трубопроводов при $P_{раб}$=16; t=150 и $P_{раб}$=8; t=100.

2. Трубы, отмеченные[1], могут применяться холоднотянутые и холоднокатаные по ГОСТ 8734—58.

3. Трубы, отмеченные[2], до выпуска их промышленностью рекомендуется принимать размерами 194×6 и 426×10 *мм*.

4. Трубы, отмеченные[3], до выпуска их промышленностью следует принимать размерами 426×7; 478×7; 480×7; 530×7; 529×7; 720×8 *мм*.

5. Трубы, отмеченные[4], размерами 426×9 и 478×9 принимаются о ГОСТ 4015—58.

Таблица 2.7

Сортамент труб тепловых сетей (пределы применения и марки стали)

ГОСТ на трубы	Прокладка трубопроводов	Рабочие параметры теплоносителя: давление $P_{раб}$ в *кгс/см²*	Рабочие параметры теплоносителя: температура t в °С	ГОСТ; марка стали
8732—58*; 4015—58	Надземная, в непроходных каналах, тоннелях и бесканальная	8	100	ГОСТ 380—60; Ст. 3
		16	150	
8732—58*	Надземная, в непроходных каналах и тоннелях	8	250	
		13	300	
		16	325	ГОСТ 1050—60; сталь 20
		21	350	

Продолжение табл. 2.7

ГОСТ на трубы	Прокладка трубопроводов	Рабочие параметры теплоносителя: давление $P_{раб}$ в *кгс/см²*	Рабочие параметры теплоносителя: температура t в °С	ГОСТ; марка стали
8732—58*	Надземная, в непроходных каналах и тоннелях	36	425	ГОСТ 1050—60; сталь 20
8696—62		8	100	ГОСТ 380—60; Ст. 3
		16	150	
		8	250	
		13	300	

Примечание. Для труб по ГОСТ 8732—58* допускается замена марок стали труб без изменения толщины стенки и без проверки расчетом на прочность стали 20 и Ст.3 на сталь 10 для теплоносителей $P_{раб} \leqslant 21$ *кгс/см²*, $t \leqslant 350°$ С при надземной прокладке и в каналах и стали Ст.3 на сталь 10 или на Ст.2 для теплоносителей $P_{раб} \leqslant 16$ *кгс/см²*, $t \leqslant 150°$ С при бесканальной прокладке. При других марках стали производят расчет.

Запас в толщине стенки труб на коррозию при составлении сортамента не учитывался.

Типоразмеры применяемых в тепловых сетях стальных легких водогазопроводных труб (газовых) по ГОСТ 3262—62 и электросварных по ГОСТ 1753—53 даны в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Трубы электросварные и водогазопроводные

Условный проход D_y в *мм*	Трубы электросварные мягкие по ГОСТ 1753—53 и по МН 2566—61			Трубы водогазопроводные (газовые) легкие, неоцинкованные по ГОСТ 3262—62		
	наружный диаметр $D_н$ в *мм*	толщина стенки трубы		наружный диаметр $D_н$ в *мм*	толщина стенки в *мм*	вес 1 *м* трубы без муфты (неоцинкованной) в *кг*
		для трубопроводов	для соединений с плоскими приварными фланцами по ГОСТ 1255—54*			
25	32	2	3	33,5	2,8	2,12
32	38	2	3	42,3	2,8	2,73
40	44,5	2,5	3	48	3	3,33
50	57	3	3,5	60	3	4,22
70	76	3	4	75,5	3,2	5,71
80	89	3	4	88,5	3,5	7,34
100	108	3	4	114	4	10,85
125	133	3,5	4	140	4	15,04

Примечания: 1. Применение труб по ГОСТ 3262—62 и ГОСТ 1753—53 в зависимости от рабочих параметров теплоносителей и марок стали см. в табл. 2.3.

2. Трубы по ГОСТ 3262—62 и ГОСТ 1753—53 применяются при всех способах прокладки тепловых сетей, кроме бесканальной, если высота грата или его следов не превышает 0,5 *мм*.

3. Трубы применяются обычной точности изготовления.

4. Оцинкованные трубы по ГОСТ 3262—62 тяжелее неоцинкованных на 3—4%.

Толщина стенки труб для приварки плоских фланцев должна быть не ниже установленной ГОСТ 1255—54* на плоские приварные фланцы. Если толщина стенки труб для приварки плоских фланцев больше, чем толщина стенки труб основного трубопровода, предусматриваются утолщенные трубы в виде патрубков длиной не менее 500 *мм*, привариваемых в стык к соединяемым концам трубопровода.

Помимо труб, применяемых для сооружения основных трубопроводов тепловых сетей, приведенных выше, применяются трубы небольших диаметров для изготовления штуцеров воздушников и спускников, для обвязки конденсационных горшков и конденсатоотводчиков и пр.

Для этой цели, так же как и для основных трубопроводов, могут применяться бесшовные холоднотянутые и горячекатаные трубы по ГОСТ 8734—58 и ГОСТ 8732—58*, водогазопроводные легкие по ГОСТ 3262—62 и электросварные по ГОСТ 1753—53.

Толщины стенок труб условным проходом 15 и 20 *мм*, не предусмотренные сортаментом, даны в табл. 2.9, а для остальных диаметров труб применяют толщины стенок, указанные в табл. 2.6 и 2.8, при этом легкие водогазопроводные трубы могут применяться при параметрах теплоносителя $P_y \leqslant 16$ *кгс/см²*, $t \leqslant 200°$ С.

При составлении спецификаций на трубы следует учитывать, что некоторые пункты технических условий на изготовление труб выполняются только в том случае, если они оговорены в спецификации.

По ГОСТ 8731—58* и ГОСТ 8733—58* должны поставляться трубы с гарантией по механическим свойствам и гидравлическому испытанию. Трубы для параметров теплоносителя $P_{раб} < 22$ *кгс/см²*, $t < 300°$ С должны поставляться с ограничением содержания серы до 0,055% и фосфора до 0,050%; трубы для параметров теплоносителя $P_{раб} \geqslant 22$ *кгс/см²*, $300° \text{ С} \leqslant t \leqslant 375°$ С должны пройти испытания на сплющивание, а при $P_y \geqslant 25$ *кгс/см²*, $t \geqslant 375°$ С — на макроструктуру, раздачу и сплющивание (пп. 8, 20, 21 ГОСТ 8731—58* и ГОСТ 8733—58*);

Таблица 2.9

Трубы условным проходом 15 и 20 *мм*

Условный проход D_y в *мм*	Наружный диаметр $D_н$ в *мм*	Толщина стенки в *мм*	Вес 1 *м* трубы в *кг*	ГОСТ на трубы	ГОСТ; марка стали
15	21,3	2,5	1,16	3262—62 легкие неоцинкованные	ГОСТ 380—60; Ст. 3
20	26,8	2,5	1,5		
15	18	2	0,789	1753—53 мягкие	ГОСТ 1050—60; 10,20 ГОСТ 380—60; Ст. 3
20	25	2	1,13		
15	18	2	0,789	8734—58	ГОСТ 1050—60; 10,20 ГОСТ 380—60; Ст. 3;
		3*	1,11		
20	25	2	1,13	8734—58	
		3*	1,63	8734—58 или 8732—58*	

Примечание. Звездочкой отмечена толщина стенок труб, которую следует применять для приварки плоских фланцев по ГОСТ 1255—54 *.

по ГОСТ 4015—58 должны поставляться трубы группы А. Для параметров теплоносителей $16 \text{ кгс/см}^2 \leqslant P_y \leqslant 25 \text{ кгс/см}^2$; $200° \text{ С} < t < 300° \text{ С}$ должны поставляться трубы с одним продольным швом с двухсторонним его проваром и контролем на 100% рентгенопросвечиванием или УЗД. Гидравлическое испытание труб должно производиться при $P_{пр} \geqslant 1{,}5\ P_y$;

по ГОСТ 8696—62 должны поставляться трубы групп А и В в зависимости от параметров теплоносителя (см. табл. 2.3). Гидравлическое испытание труб должно производиться при $P_{пр} \geqslant 1{,}5\ P_y$;

по ГОСТ 3262—62 и ГОСТ 1753—53 трубы с условным проходом $D_y \geqslant 20$ *мм* должны иметь высоту грата или его следов не больше 0,5 *мм* (п. 10 ГОСТ 3262—62 и ГОСТ 1753—53). Водогазопроводные трубы, кроме того, должны испытываться на загиб (п. 14 ГОСТ 3262—62). Гидравлическое испытание труб по ГОСТ 1753—53 должно производиться при $P_{пр} \geqslant 1{,}5\ P_y$;

концы труб по всем ГОСТам должны быть скошены (снята фаска): для труб по ГОСТ 8731—58*, ГОСТ 8733—58* (п. 3), ГОСТ 4015—58 (п. 12), ГОСТ 1753—53 для $D_н \geqslant 114$ *мм* (п. 11) — под углом $35 \div 40°$ к концу трубы, по ГОСТ 3262—62 для $D_y \geqslant 70$ *мм* величина угла скоса не оговаривается.

При выполнении скоса концов должно быть оставлено торцовое кольцо шириной 1—3 *мм*.

При заказе труб в спецификациях должны быть указаны рабочие параметры теплоносителя.

2.3. ОСНОВНЫЕ ТИПОРАЗМЕРЫ ТРУБ

Основные размеры труб приводятся в табл. 2.10—2.14.

Основные размеры легких водогазопроводных труб по ГОСТ 3262—62 приводятся в табл. 2.15.

Таблица 2.10

Основные размеры труб

Условный проход $D_у$ в *мм*	Наружный диаметр $D_н$ в *мм*	Толщина стенки в *мм*		Внутренний диаметр в *мм*		Площадь в *см²* $F_в$ по $D_в$	Площадь поперечного сечения стенки трубы в *см²*		Момент сопротивления поперечного сечения трубы в *см³*		Момент инерции поперечного сечения трубы в *см⁴*	
		номинальная s	расчетная $s^р$	$D_в$ при s	$D_в^р$ при $s^р$		f при s	$f^р$ при $s^р$	W при s	$W^р$ при $s^р$	J при s	$J^р$ при $s^р$
25	32	2,5	2	27	28	5,73	2,31	1,88	1,59	1,33	2,54	2,13
32	38	2,5	2	33	34	8,55	2,79	2,26	2,32	1,93	4,41	3,68
40	45	2,5	2	40	41	12,57	3,30	2,7	3,36	2,78	7,56	6,23
50	57	3,5	2,97	50	51,06	19,63	5,92	5,04	7,42	6,46	21,1	18,4
70	76	3,5	2,97	69	70,06	37,39	7,96	6,81	13,8	11,96	52,5	45,5
80	89	3,5	2,97	82	83,06	52,81	9,41	8,02	19,3	16,8	86,1	74,7
100	108	4	3,4	100	101,2	78,54	13,11	11,17	32,8	28,3	177	153
125	133	4	3,4	125	126,2	122,7	16,2	13,8	50,8	43,8	338	291
150	159	4,5	3,82	150	151	176,7	21,9	18,5	82	70,5	652	560
175	194	5	4,25	184	185,5	265,9	29,7	25,3	137	118	1 327	1 140
200	219	6	5,1	207	208,8	336,5	40,2	34,2	208	119	2 279	1 960
250	273	7	5,95	259	261,1	526,9	58,4	49,9	379	326	5 177	4 450
300	325	8	6,8	309	311,4	749,9	79,7	68	616	529	10 014	8 600
		9	7,65	307	309,7	740,2	89,4	76,3	687	591	11 161	9 600
350	377	9	7,65	359	361,7	1012	104	89	935	803	17 624	15 140
		10	8,5	357	360	1001	115	98	1031	886	19 426	16 700
400	426	9	7,65	408	410,7	1307	118	100	1204	1032	25 640	21 990
		11	9,35	404	407,3	1282	143	122	1451	1247	30 896	26 550
		6	5,4	414	415,2	1346	79	71	820	741	17 460	15 760
450	478	6	5,4	466	467,2	1706	89	81	1037	936	24 780	22 370
500	529	6	5,4	517	518,2	2099	99	89	1275	1150	33 711	30 420
		7	6,4	515	516,2	2083	115	105	1479	1356	39 160	35 850
600	630	7	6,4	616	617,2	2980	137	125	2110	1934	66 478	60 920
		8	7,2	614	615,6	2961	156	139	2400	2167	75 612	68 270
700	720	7	6,4	706	707,2	3915	157	144	2768	2536	99 648	91 290
		9	8,2	702	703,6	3870	202	183	3529	3224	127 052	116 300
800	820	8	7,2	804	805,6	5077	204	184	4103	3701	168 213	151 700
900	920	9	8,2	902	903,6	6390	258	236	5810	5304	267 239	244 000
1000	1020	10	9,2	1000	1001,6	7854	317	292	7934	7313	404 638	372 900

Примечание. Жирной линией обозначена граница между бесшовными и сварными трубами.

Вес 1 м трубы

Условный проход трубы $D_у$ в мм	Наружный диаметр трубы $D_н$ в мм	$q_{тр}$ при толщине стенки трубы s в мм										
		1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
15	18	0,61	0,789	0,956	1,11	1,25	1,38	1,5	1,6	—	—	—
20	25	0,869	1,13	1,39	1,63	1,86	2,07	2 28	2,47	2,64	2,81	2,97
25	32	1,13	1,48	1,76	2,15	2,46	2,76	3,05	3,33	3,59	3,85	4,09
32	38	1,35	1,78	2,19	2,59	2,98	3 35	3,72	4 07	4,41	4,74	5,05
40	45	1,61	2,12	2,62	3,11	3,58	4,04	4,49	4,93	5,36	5,77	6,17
50	57	2,05	2,71	3,36	4	4,62	5,23	5,83	6,41	6,99	7,55	8,1
70	76	2,76	3,65	4,53	5,4	6,26	7,1	7,93	8,75	9,5	10,36	11,14
80	89	3,24	4,29	5,33	6,36	7,38	8,38	9,38	10,36	11,33	12,28	13,22
100	108	3,95	5,23	6,5	7,77	9 02	10,26	11,49	12,7	13,9	15,09	16,27
125	133	—	—	8,05	9,59	11,18	12,73	14,26	15,78	17 29	18,79	20,28
150	159	—	—	—	—	—	—	17,15	18,99	20,82	22,64	24,45
175	194	—	—	—	—	—	—	—	23,31	25,6	27,82	30
200	219	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31,52	34,06
250	273	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42,64
300	325	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350	377	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	426	—	—	—	—	—	41,63	46,78	51,91	—	62,15	—
450	478	—	—	—	—	—	46,76	52,55	58,33	—	69,84	—
500	529	—	—	—	—	—	51,79	58,21	64,61	—	77,39	—
600	630	—	—	—	—	—	61,75	69,42	77,07	—	92,33	—
700	720	—	—	—	—	—	—	—	88,17	—	105,7	—
800	820	—	—	—	—	—	—	—	100,5	—	120,5	—
900	920	—	—	—	—	—	—	—	112,8	—	135,2	—
1000	1020	—	—	—	—	—	—	—	125,2	—	150	—
1200	1220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Вес труб с учетом усиления сварных швов принимают: для труб с продольным швом $D_у$ 400—1200 мм на 1 %, а со спи-

Вес воды в 1 м

Наружный диаметр трубы $D_н$ в мм	$q_в$ при толщине стенки трубы s в мм										
	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
18	0,177	0,154	0,133	0,113	0,095	0,079	0,063	0,05	—	—	—
25	0,38	0,346	0,314	0,284	0,255	0,227	0,201	0,177	0,154	0,133	0,113
32	0,661	0,616	0,573	0,531	0,491	0,452	0,416	0,38	0,346	0,314	0,284
38	0,962	0,908	0,855	0,804	0,755	0,707	0,661	0,619	0,573	0,531	0,491
45	1,39	,32	1,26	1,2	1,13	1,08	1,02	0,962	0,908	0,855	0,804
57	2,29	2,21	2,12	2,04	1,96	1,89	1,81	1,74	1,66	1,59	1,52
76	4,19	4,07	3,96	3,85	3,74	3,63	3,53	3,42	3,32	3,22	3,12
89	5,81	5,68	5,54	5,41	5,28	5,15	5,03	4,9	4,78	4,66	4,54
108	8,66	8,5	8,33	8,17	8,01	7,85	7,7	7,54	7,39	7,24	7,09
133	—	—	12,87	12,67	12,47	12,27	12,08	11,88	11,69	11,5	11,31
159	—	—	—	—	—	—	17,67	17,44	17,2	16,97	16,74
194	—	—	—	—	—	—	—	26,59	26,3	26,02	25,73
219	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33,65	33,33
273	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53,09
325	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
377	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
426	—	—	—	—	—	137,2	136,6	135,9	—	134,6	—
478	—	—	—	—	—	173,5	172,8	172	—	170,6	—
529	—	—	—	—	—	213,2	212,4	211,6	—	209,9	—
630	—	—	—	—	—	303,9	302,9	301,9	—	300	—
720	—	—	—	—	—	—	—	395,9	—	393,7	—
820	—	—	—	—	—	—	—	515,3	—	512,8	—
920	—	—	—	—	—	—	—	650,4	—	647,5	—
1020	—	—	—	—	—	—	—	801,2	—	798	—
1200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Площадь сечения трубы по внутреннему диаметру $F_в$

Таблица 2.11

$q_{тр}$ в *кг*

$q_{тр}$ при толщине стенки трубы s в *мм*												
7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,32	4,53	4,74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,35	5,64	5,92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,56	6,94	7,3	7,65	7,99	8,32	8,63	—	—	—	—	—	—
8,63	9,16	9,67	10,17	10,65	11,13	11,59	12,48	13,32	14,11	—	—	—
11,91	12,67	13,42	14,15	14,87	15,58	16,28	17,63	18,94	20,2	21,41	22,57	25,68
14,16	15,07	15,98	16,87	17,76	18,63	19,48	21,16	22,79	24,37	25,89	27,37	28,8
17,44	18,59	19,73	20,86	21,97	23,08	24,17	26,31	28,41	30,46	32,45	34,4	36,3
21,75	23,21	24,66	26,10	27,52	28,93	30,33	33,10	35,81	38,41	41	43,65	46,17
26,24	28,02	29,79	31,55	33,29	35,03	36,75	40,15	43,5	46,81	50,06	53,27	56,43
32,28	34,5	36,7	38,89	41,06	43,23	45,38	49,64	53,86	58,03	62,15	66,22	70,24
36,6	39,12	41,63	44,12	46,61	49,08	51,54	56,43	61,26	66,04	70,78	75,46	80,1
45,92	49,1	52,28	55,45	58,6	61,73	64,86	71,07	77,24	83,36	89,42	95,44	101,41
—	58,74	62,54	66,35	70,14	73,92	77,68	85,18	92,63	100,03	107,38	114,68	121,93
—	—	—	—	81,68	86,1	90,51	99,29	108,02	117	125,33	133,91	142,44
72,33	—	82,47	—	92,56	97,57	102,6	112,6	122,52	132,41	142,25	152,04	161,78
81,31	—	92,73	—	104,1	—	115,4	126,7	137,9	—	—	—	—
90,11	—	102,9	—	115,4	—	128	140,5	153	—	—	—	—
107,5	—	122,7	—	137,8	—	152,9	167,9	182,9	—	—	—	—
123,1	—	140,5	—	157,8	—	175,1	192,3	209,5	—	—	—	—
140,3	—	160,2	—	180	—	199,8	219,5	239,1	258,7	278,3	297,8	317,3
157,6	—	179,9	—	202,2	—	224,4	246,6	268,7	290,8	312,8	334,8	356,7
174,9	—	199,7	—	224,4	—	249,1	273,7	298,3	322,8	347,3	371,8	396,2
210	—	239	—	268	—	298	328	358	387	416	446	475

ральным швом—на 1,5 % больше теоретического веса труб, указанного в таблице.

Таблица 2.12

трубы $q_в$ в *кг*

$q_в$ при толщине стенки трубы s в *мм*												
7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.095	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,255	0,227	0,201	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,452	0,416	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,755	0,707	0,661	0,616	0,573	0,531	0,491	—	—	—	—	—	—
1,45	1,39	1,32	1,28	1,2	1,13	1,08	0,962	0,855	0,755	—	—	—
3,02	2,92	2,83	2,73	2,64	2,55	2,46	2,29	2,12	1,96	1 81	1,66	1,52
4,42	4,3	4,19	4,07	3,96	3,85	3,74	3,53	3,32	3,12	2,92	2,73	2 55
6,94	6,79	6,65	6,50	6,36	6,22	6,08	5,81	5,54	5,28	5,03	4,78	4,54
11,12	10,94	10,75	10,57	10,39	10 21	10,03	9,68	9,33	8,99	8,66	8,33	8,01
16,51	16,29	16,06	15,84	15,61	15.39	15,17	14,74	14,31	13,89	13,48	13,07	12,67
25,45	25,16	24,88	24,61	24,33	24,05	23,78	23,24	22,7	22,17	21,64	21,12	20.61
33,01	32,69	32,37	32,05	31,73	31.42	31,1	30,48	29,86	29,26	28,65	28,06	27,46
52,69	52,28	51,87	51,47	51,07	50.67	50,27	49,48	48,7	47,92	47,14	46,38	45,62
—	75,48	74,99	74,51	74,02	73,54	73,06	72 11	71,16	70,22	69,28	68,35	67,43
—	—	—	—	101,2	100 7	100,1	98,98	97,87	96,76	95,66	94,57	93,48
133,3	—	132	—	130,7	130,1	129,5	128,2	126,9	125,7	124,4	123,2	121,9
169,1	—	167,6	—	163,2	—	164 7	163,3	161,9	—	—	—	—
203,3	—	206,7	—	205,1	—	203,5	201,9	200,3	—	—	—	—
298	—	295,1	—	294,2	—	292,2	290,3	288,4	—	—	—	—
391,5	—	389 3	—	387	—	384,8	382,6	380,5	—	—	—	—
510,2	—	507,7	—	505,2	—	502 7	500,1	497,6	495,1	492,7	490,2	487,7
644,7	—	641,8	—	639	—	636,2	633,3	630,5	627,7	624,9	622,1	619,3
794,9	—	791,7	—	788,5	—	785,4	782,3	779,1	776	772,9	769,8	766,7
1142	—	1138	—	1134	—	1130	1126	1123	1119	1115	1112	1108

в $см^2$ определяется умножением приведенных значений на 10.

Момент сопротивления поперечного

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	W при толщине стенки трубы s в *мм*											
	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
18	0,296	0,363	0,417	0,458	0,492	0,518	0,536	0,55	—	—	—	—
25	0,614	0,77	0,906	1,02	1,12	1,21	1,28	1,33	1,38	1,42	1,45	1,48
32	1,05	1 33	1,59	1,82	2,02	2,2	2,36	2,5	2,62	2,73	2,82	2,89
38	1,51	1,93	2,32	2,68	3	3,29	3,56	3,8	4,01	4,21	4,38	4,53
45	2,16	2,78	3.36	3,9	4,4	4,86	5,28	5,67	6,03	6,36	6,66	6,93
57	3 54	4,59	5,59	6,53	7,42	8,25	9,04	9,78	10,5	11,1	11,7	12,3
76	6.41	8,38	10,3	12,1	13,8	15,5	17	18,6	20	21,4	22,7	24
89	8,87	11,6	14,3	16,9	19,3	21,7	24	26,2	28,4	30,4	32,4	34,3
108	13,2	17,3	21,3	25,3	29,1	32,8	36,6	39,8	43,2	46,5	49,6	52,7
133	—	—	32,8	38,9	44,9	50,8	56,5	62	67,4	72,7	77,9	82,9
159	—	—	—	—	—	—	82	90,3	98,4	106	115	122
194	—	—	—	—	—	—	—	137	149	162	174	186
219	—	—	—	—	—	—	—	—	—	208	224	239
273	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	354	379
325	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
377	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
426	—	—	—	—	—	554	621	688	—	820	—	950
478	—	—	—	—	—	700	785	869	—	1037	—	1202
529	—	—	—	—	—	859	964	1068	—	1275	—	1479
630	—	—	—	—	—	1223	1373	1522	—	1818	—	2110
720	—	—	—	—	—	—	—	1994	—	2383	—	2768
820	—	—	—	—	—	—	—	2593	—	3100	—	3603
920	—	—	—	—	—	—	—	3270	—	3911	—	4548
1020	—	—	—	—	—	—	—	4026	—	4817	—	5603
1220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8146

Таблица 214

Площадь трубы по наружному диаметру и поверхность 1 *м* трубы

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Площадь трубы по наружному диаметру $F_н$ в $см^2$	Поверхность 1 *м* трубы $F_{тр}$ в $м^2$	Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Площадь трубы по наружному диаметру $F_н$ в $см^2$	Поверхность 1 *м* трубы $F_{тр}$ в *м*
18	2,55	0,566	219	376,7	0,688
25	4,91	0,785	273	585,3	0,858
32	8,04	0,101	325	829,6	1,02
38	11 34	0,119	377	1116	1,18
45	15,9	0,141	426	1425	1,34
57	25,52	0,179	478	1795	1,5
76	45,36	0,239	529	2198	1,66
89	62,21	0,28	630	3117	1,98
108	91 61	0,339	720	4072	2,26
133	138,9	0,418	820	5281	2,58
159	198,6	0,5	920	6648	2,89
194	295,6	0,61	1020	8171	3.2
			1220	11690	3,83

Таблица 215

Основные размеры легких водогазопроводных труб по ГОСТ 3262—62

Условный проход $D_у$ в *мм*	Наружный диаметр $D_н$ в *мм*	Толщина стенки в *мм*		Внутренний диаметр в *мм*		Площадь в $см^2$		Площадь поперечного сечения стенки трубы в $см^2$		Момент сопротивления поперечного сечения трубы в $см^3$		Момент инерции поперечного сечения трубы в $см^4$	
		номинальная s	расчетная $s^р$	$D_в$ при s	$D_в^р$ при $s^р$	$F_н$ по $D_н$	$F_в$ по $D_в$	f при s	$f^р$ при $s^р$	W при s	$W^р$ при $s^р$	J при s	$J^р$ при $s^р$
15	21,3	2,5	2	16,3	17,3	3,563	2,087	1,476	1,212	0,622	0,546	0,665	0,571
20	26,8	2,5	2	21,8	22.8	5.641	3,733	1,908	1,558	1,06	0,899	1,43	1,21
25	33,5	2,8	2,3	27,9	28,9	8.814	6,114	2,7	2,254	1,91	1,64	3,2	2,75
32	42.3	2,8	2,3	36,7	37,7	14.05	10,58	3,47	2,89	3,21	2,74	6,77	5,8

Таблица 2.13

сечения трубы W в $см^3$

W при толщине стенки трубы s в $мм$											
7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,96	3,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,66	4,78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,18	7,4	7,61	7,79	7,95	8,09	—	—	—	—	—	—
12,8	13,3	13,8	14,2	14,6	15	15,6	16,1	16,6	—	—	—
25,2	26,4	27,4	28,5	29,5	30,4	32,1	33,7	35	36,2	37,3	38,3
36,1	37,9	39,6	41,2	42,7	44,2	47	49,5	51,8	53,9	55,8	57,6
55,7	58,5	61,3	64	66,6	69,2	73,9	78,4	82,6	86,4	90	93,3
87,9	92,6	97,3	101,9	106,2	110,6	118,9	126,8	134,2	141,2	147,9	154,2
128	136	144	151	157	164	177	190	201	213	224	234
197	209	220	231	242	253	274	294	314	333	351	368
255	270	285	299	314	328	356	383	409	435	459	483
404	429	453	477	501	524	570	615	659	702	744	784
580	616	652	687	722	756	824	891	956	1020	1082	1144
—	—	—	935	983	1031	1125	1217	1308	1397	1485	1571
—	1078	—	1204	1266	1328	1451	1571	1690	1807	1923	2036
—	1365	—	1526	—	1685	1842	1997	—	—	—	—
—	1680	—	1879	—	2076	2271	2163	—	—	—	—
—	2400	—	2688	—	2972	3254	3532	—	—	—	—
—	3150	—	3529	—	3905	4278	4647	—	—	—	—
—	4103	—	4599	—	5091	5579	6064	6546	7023	7497	7968
—	5181	—	5810	—	6434	7054	7670	8282	8890	9494	10094
—	6285	—	7162	—	7934	8702	9465	10223	10977	11727	12472
—	9079	—	10250	—	11410	25040	27260	29460	31620	33840	36120

Продолжение табл. 2.15

Условный проход $D_у$ в $мм$	Наружный диаметр $D_н$ в $мм$	Толщина стенки в $мм$		Внутренний диаметр в $мм$		Площадь в $см^2$		Площадь поперечного сечения стенки трубы в $см^2$		Момент сопротивления поперечного сечения трубы в $см^3$		Момент инерции поперечного сечения трубы в $см^4$	
		номинальная s	расчетная $s^р$	$D_в$ при s	$D_в^р$ при $s^р$	$F_н$ по $D_н$	$F_в$ по $D_в$	f при s	$f^р$ при $s^р$	W при s	$W^р$ при $s^р$	J при s	$J^р$ при $s^р$
40	48	3	2,5	42	43	18,1	13,85	4,25	3,58	4,48	3,86	10,85	9,28
50	60	3	2,5	54	55	28,27	22,9	5.37	4,51	7,27	6,23	21,85	18,7
70	75,5	3,2	2,7	69,1	70,1	44,77	37,5	7,27	6,18	12,6	10,82	47,6	40,9
80	88,5	3,5	2,97	81,5	82.56	61,51	52.17	8,34	7,97	19,1	16,55	84,5	73,3
100	114	4	3,4	106	107,2	102,1	88,25	13,85	11,84	36,7	31,8	209	181
125	140	4	3,4	132	133,2	153,9	136,8	17,1	14,6	56,6	48,7	396	341
150	(165)	4	3,4	157	158,2	213,8	193,6	20,2	17,2	79,4	68,2	666	563

2.4. ДЕТАЛИ ТРУБОПРОВОДОВ

Применяемые в тепловых сетях детали трубопроводов: отводы, переходы, соединения труб под углом и плоские днища — должны быть стальными и удовлетворять требованиям правил Госгортехнадзора. Детали трубопроводов согласно СНиП I-Г.7-62 могут изготавливаться по междуведомственным нормалям МВН или по нормалям машиностроения МН в зависимости от условий монтажа и поставки трубопроводов.

При применении отводов и переходов по МН, изготовляемых с широкой номенклатурой толщины стенки, следует учитывать, что толщина стенки отвода или перехода не должна превышать толщину стенки присоединяемой трубы более чем на 3 $мм$, так как при большей разнице усложняется подгонка торцов трубы и деталей и затрудняется производство сварки стыка.

Отводы. В тепловых сетях применяют гнутые гладкие, крутоизогнутые и сварные отводы.

Гнутые гладкие отводы применяют для условных проходов труб $D_у \leqslant 400$ $мм$ и изготавливают непосредственным гнутьем прямых бесшовных труб. Радиусы осевой линии гиба труб при этом принимают не менее следующих величин:

для гладкого гнутья с предварительной набивкой песком и нагревом — не менее 3,5 наружных диаметров трубы;

для гладкого гнутья, выполняемого на специальном станке без набивки песком в холодном состоянии, — не менее 4 наружных диаметров трубы.

При установке на трубопроводах гнутых гладких отводов расстояние от ближайшего поперечного сварного шва до начала гнутья принимают не менее наружного диаметра трубы, но не менее 100 *мм*.

Гладкие отводы при среднем радиусе гиба не менее 3,5 наружных диаметров труб изготавливаются с толщиной стенки по «Сортаменту труб тепловых сетей».

Развернутую длину отвода для любого угла поворота определяют по формуле

$$l_{\varphi} = \frac{l_{90}\,\varphi}{90}\ мм, \qquad (2.1)$$

где l_{90} — развернутая длина отвода при угле поворота 90° по табл. 2.16 в *мм*;

φ — угол поворота в *град*.

Для трубопроводов тепловых сетей могут также применяться гнутые отводы по МН.

Крутоизогнутые отводы заводского изготовления применяют для условных давлений теплоносителя $P_y \leqslant 64$ *кгс/см*^{2}.

Сварные отводы изготовляются из бесшовных и сварных труб условным проходом $D_y \geqslant 150$ *мм*.

Трубы и марки стали для изготовления сварных отводов выбирают в соответствии с «Сортаментом труб тепловых сетей».

Переходы. При изменениях диаметров трубопроводов тепловых сетей применяют симметричные и несимметричные переходы.

В тепловых сетях в основном применяют несимметричные переходы для выравнивания низа труб во избежание скопления конденсата в паропроводах, возможности применения однотипных опор и т. д.

Симметричные переходы устанавливают, как правило, на вертикальных участках трубопроводов.

Применяют следующие типы переходов:

эксцентрические и концентрические стальные штампованные;

несимметричные и симметричные сварные, изготовляемые из листовой стали.

Соединение трубопроводов. Соединение трубопроводов под прямым углом при ответвлениях, установке дренажных штуцеров или спускников осуществляется в зависимости от диаметров и параметров теплоносителей с накладками для укрепления места соединения труб или без накладок (табл. 2.17).

Таблица 2.16

Развернутая длина гнутых гладких отводов под углом 90°

Условный проход трубы D_y в *мм*	Радиус осевой линии отвода в *мм*	Развернутая длина отвода в *мм*
25	150	236
32		
40	200	314
50		
70	350	550
80		
100	500	785
125		
150	600	942
175	750	1178
200	850	1335
250	1000	1570
300	1200	1884
350	1500	2355
400	1700	2670

Таблица 2.17

Соединения трубопроводов

Условный проход трубы D_y в *мм*	Условный проход ответвления в *мм* при параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в *кгс/см*^{2}, t в °С			
	$P_{раб} = 13$, $t = 300$	$P_{раб} = 16$, $t = 150$	$P_{раб} = 21$, $t = 350$	$P_{раб} = 36$, $t = 425$
70	—	—	—	40—70
80	—	—	—	40—80
100	—	—	—	40—100
125	—	—	—	40—125
150	—	—	—	40—150
175	—	—	70—175	40—175
200	—	—	70—200	40—200
250	—	—	80—250	40—250
300	—	—	100—300	70—300
350	—	—	100—350	70—350
400	—	—	100—400	40—400
400	100—400		—	—
450	100—450		—	—
500	100—500		—	—
600	100—600		—	—
700	100—700		—	—
800	100—800		—	—
900	100—900		—	—
1000	125—1000		—	—

Примечания: 1. Накладки применяются для условных проходов ответвлений, указанных цифрами.

2. Жирной линией обозначена граница между бесшовными и сварными трубами.

ГЛАВА 3

ОПОРЫ ТРУБОПРОВОДОВ

3.1. ПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

В тепловых сетях в зависимости от способа прокладки и диаметров трубопроводов применяют скользящие, катковые, подвесные (простые и пружинные) подвижные опоры.

На участках бесканальной прокладки трубопроводов подвижные опоры не устанавливают.

Скользящие опоры для труб условным проходом до D_y 175 *мм* включительно применяют при всех способах прокладки тепловых сетей. Для труб условным проходом D_y от 200 до 1200 *мм* скользящие опоры применяют при прокладке труб в непроходных и полупроходных каналах и для нижнего ряда труб в тоннелях, а также для верхних трубопроводов, прокладываемых на трубах. Пролеты между подвижными опорами трубопроводов определяют расчетом на прочность в соответствии с указаниями главы 10.

Рекомендуемые пролеты между подвижными опорами для труб по «Сортаменту труб тепловых сетей» при надземной прокладке и в тоннелях (для верхних рядов труб) для усредненных условий расчета трубопровода на прямых участках приведены в табл. 3.1, для прочих участков к этим пролетам вводится коэффициент:

для участков между ближайшими к повороту опорами (до и после поворота)	0,67
для участков между последней и предпоследней опорами конечной точки трубопровода (перед заглушкой, гибким компенсатором или поворотом)	0,82
для последних двух участков с каждой стороны сальникового компенсатора	0,5

Таблица 3.1

Пролеты между подвижными опорами трубопроводов при надземной прокладке и в тоннелях (для верхних рядов труб) на прямых участках

Условный проход D_y в *мм*	Компенсаторы П-образные или самокомпенсация				Компенсаторы сальниковые	
	пролеты в *м* при параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С					
	$P_{раб}$ = 8, t = 100; $P_{раб}$ = 16, t = 150	$P_{раб}$ = 8, t = 250; $P_{раб}$ = 13, t = 300	$P_{раб}$ = 16, t = 325; $P_{раб}$ = 21, t = 350	$P_{раб}$ = 36, t = 425	$P_{раб}$ = 8, t = 100, 16, $P_{раб}$ = 16, t = 150	$P_{раб}$ = 8, t = 250; 13, $P_{раб}$ = 13, t = 300
25	—	2	2	2	—	2
32	2	2	2	2	2	2
40	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
50	3	3	3	2,5	3	3
70	3,5	3,5	3,5	3	3,5	3,5
80	4	4	4	3,5	4	4
100	5	5	5	4	5	5
125	6	6	6	6	6	6
150	7	8	7	7	7	8
175	8	9	7	7	8	9
200	9	11	8	8	9	11
250	11	12	10	10	11	12
300	12	14	12	12	12	14
350	14	16	14	14	14	16
400	14	15	15	15	13	15
450	14	16	—	—	13	15
500	14	16	—	—	13	15
600	15	18	—	—	13	15
700	15	19	—	—	13	15
800	16	20	—	—	13	15
900	18	22	—	—	15	18
1000	20	24	—	—	16	20

Примечание. Над жирной линией указаны пролеты для бесшовных труб по ГОСТ 8732—58 *, под жирной линией — для сварных труб по ГОСТ 4015—58 и по ГОСТ 8696—62.

Пролеты между подвижными опорами трубопроводов на бетонных подушках при прокладке в непроходных и полупроходных каналах и тоннелях (для нижнего ряда труб) приведены в табл. 3.2.

При многотрубной прокладке трубопроводов в непроходных каналах опоры размещают вразбежку. При надземной прокладке трубопроводов и в тоннелях принимают одно расстояние между подвижными опорами, поскольку все они опираются на каркасы, траверсы или

Таблица 3.2

Пролеты между подвижными опорами трубопроводов на бетонных подушках

Условный проход труб D_y в *мм*	Пролет между подвижными опорами в *м*	Условный проход труб D_y в *мм*	Пролет между подвижными опорами в *м*
25	1,7	200	6
32	2	250	7
40	2,5	300	8
50	3	350	8
70	3	400	8,5
80	3,5	450	9
100	4	500	10
125	4,5	600	10
150	5	700	10
175	6	800	10

Примечание. Таблица составлена для конструкций бетонных подушек по серии ИС-01-04 «Унифицированные сборные железобетонные каналы».

балки. При большой разнице в пролетах для маленьких труб могут быть установлены дополнительные опоры, а большие трубы могут опираться через одну или несколько траверс.

Катковые опоры применяют для труб условным проходом $D_y = 200$ *мм* и больше при прокладке трубопроводов на отдельно стоящих низких и высоких опорах, по стенам зданий и в тоннелях на каркасах и кронштейнах.

При установке катковых опор уклон трубопроводов не должен превышать

$$i \leqslant \frac{0{,}05}{r}, \qquad (3.1)$$

где 0,05 — плечо трения качения по поверхности соприкосновения катка с корпусом и опорной плитой в *см*;

r — радиус ролика в *см*.

Катковые опоры при прокладке трубопроводов в непроходных каналах не применяют.

При надземной прокладке трубопроводов на эстакадах с пролетным строением для условных проходов труб $D_y = 200$ *мм* и больше применяют как скользящие, так и катковые опоры. Катковые опоры устанавливают в том случае, когда применение скользящих опор приводит к утяжелению прогонов.

Простые подвесные опоры применяют при надземной прокладке трубопроводов на эстакадах с растяжками,

Таблица 3.3

Нормальные скользящие опоры трубопроводов по МВН 1301-60; МВН 1305-60 и МВН 1308-60 (рис. 3.1 и 3.2)

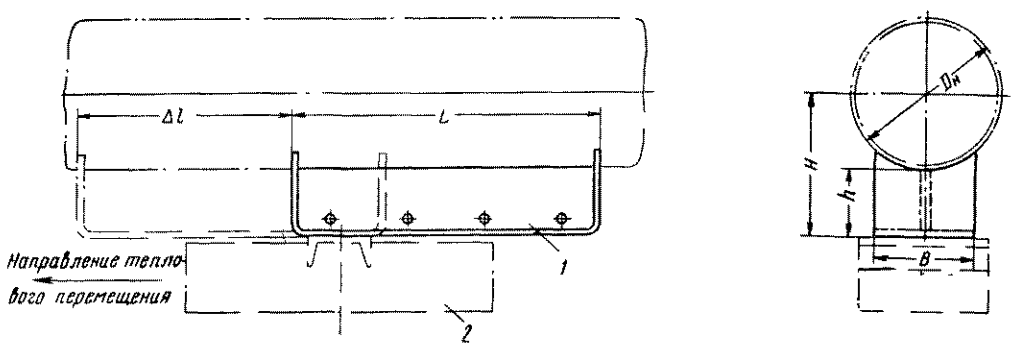


Рис. 3.1. Скользящая опора трубопроводов $D_н = 32 \div 194$ *мм*

1 — корпус; *2* — опорная конструкция

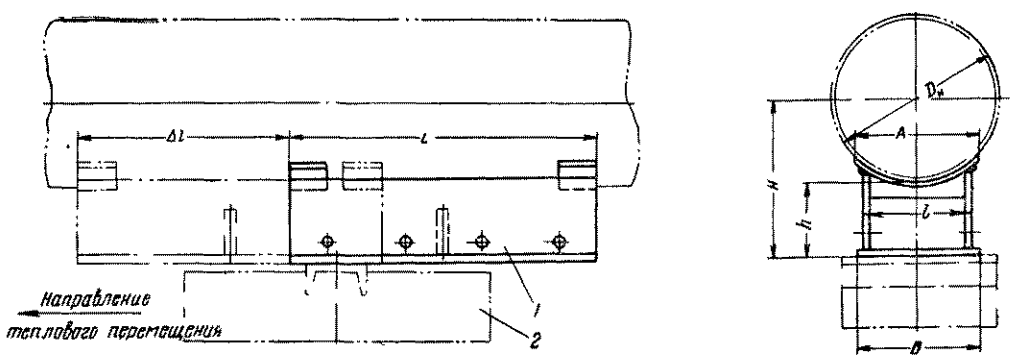


Рис. 3.2. Скользящая опора трубопроводов $D_н = 219 \div 1020$ *мм*

1 — корпус; *2* — опорная конструкция

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН		Размеры в *мм*								Вес в *кг*		Наибольшее тепловое перемещение Δl в *мм*
	при $h =$ $= 90$ *мм*	при $h = 140$ *мм*	A	B при $h =$ $= 90$ *мм*	B при $h = 140$ *мм*	L	l при $h =$ $= 90$ *мм*	l при $h =$ $= 140$ *мм*	H при $h =$ $= 90$ *мм*	H при $h = 140$ *мм*	при $h =$ $= 90$ *мм*	при $h = 140$ *мм*	
32	1301-11	—	—	40	—	250	—	—	106	—	1,21	—	180
38	1301-12	—	—	40	—		—	—	110	—		—	

Продолжение табл. 3.3

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН		Размеры в *мм*								Вес в *кг*		Наибольшее тепловое перемещение Δl в *мм*
	при $h =$ $= 90$ *мм*	при $h =$ $= 140$ *мм*	A	B		L	l		H		при $h = 90$ *мм*	при $h = 140$ *мм*	
				при $h =$ $= 90$ *мм*	при $h = 140$ *мм*		при $h = 90$ *мм*	при $h = 140$ *мм*	при $h = 90$ *мм*	при $h = 140$ *мм*			
45	1301-13	—	—	50	—	300	—	—	113	—	1,57	—	220
57	1301-14	—	—	50			—	—	118	—	1,6	—	
76	1301-15	—	—	70	—		—	—	128	—	1,9	—	
89	1301-16	—	—	80	—	400	—	—	135	—	2,59	—	280
108	1301-17	—	—	90	—		—	—	145	—	2,76	—	
133	1301-18	—	—	100	—		—	—	157	—	2,95	—	
159	1301-19	1301-20	—	110	110		—	—	170	220	3,14	4,11	
194	1301-21	1301-22	—	130	130		—	—	188	238	3 51	4,55	
219	1305-21	1308-21	160	150	160		136	142	200	250	7,62	10,2	300
273	1305-22	1308-22	180	160	180		148	157	226	276	7,95	10,8	
325	1305-23	1308-23	230	210	230	500	190	204	253	303	11,6	15,2	360
377	1305-24	1308-24	250	230	240		202	220	278	328	12,2	15,5	
426	1305-25	1308-25	300	260	230		237	237	303	353	13,9	16,9	
478	1305-26	1308-26	320	260	260		250	250	330	380	14	17	
529	1305-27	1308-27	350	290	290	540	264	264	355	405	16	24,8	400
630	1305-28	1308-28	400	350	360	570	326	336	405	455	19,3	30	
720	1305-29	1308-29	420	370	350		352	324	450	500	21,3	30,3	
820	1305-30	1308-30	450	400	370	660	376	346	500	550	23,4	32,6	
920	1305-31	1308-31	500	430	430		412	416	550	600	31,5	40,3	
1020	1305-32	1308-32	540	470	470		446	446	600	650	40,8	47 2	

Примечание. Материал — сталь марки Ст. 3 по ГОСТ 380—60.

Таблица 3.4

Укороченные скользящие опоры трубопроводов по МВН 1305-60 и МВН 1308-60 (см. рис. 3.2)

Наружный диаметр трубы $D_н$ в мм	Номер МВН		Размеры в мм								Вес в кг		Наибольшее тепловое перемещение Δl в мм
	при $h = 90$ мм	при $h = 140$ мм	A	B при $h = 90$ мм	B при $h = 140$ мм	L	l при $h = 90$ мм	l при $h = 140$ мм	H при $h = 90$ мм	H при $h = 140$ мм	при $h = 90$ мм	при $h = 140$ мм	
219	1305-41	1308-41	160	150	160	250	136	142	200	250	5,13	6,88	150
273	1305-42	1308-42	180	160	180		148	157	226	276	5,41	7,32	
325	1305-43	1308-43	230	210	230	300	190	204	253	303	7,55	9,92	180
377	1305-44	1308-44	250	230	240		202	220	278	330	7,94	10,2	
426	1305-45	1308-45	300	260	260		237	237	303	353	9,35	11,3	
478	1305-46	1308-46	320			340	250	250	330	380	10,4	12,6	200
529	1305-47	1308-47	350	290	290		264	264	355	405	11,1	17,3	
630	1305-48	1308-48	400	350	360	360	326	336	405	455	13,4	20,6	
720	1305-49	1308-49	420	370	350		352	324	450	500	15,2	21 2	
820	1305-50	1308-50	450	400	370	400	376	343	500	550	17,3	23,9	
920	1305-51	1308-51	500	430	430		412	416	550	600	23	32,3	
1020	1305-52	1308-52	540	470	470		446	446	600	650	29,5	34,5	

Примечание. Материал — сталь марки Ст. 3 по ГОСТ 380—60.

Таблица 3.5

Катковые опоры трубопроводов по МВН 1309-60 и МВН 1315-60 (рис. 3.3)

Наружный диаметр трубы $D_н$ в мм	Номер МВН		Размеры в мм										Вес в кг		Наибольшее тепловое перемещение Δl в мм
	при $h = 90$ мм	при $h = 140$ мм	A	L	B_1	L_1	H при $h = 90$ мм	H при $h = 140$ мм	B при $h = 90$ мм	B при $h = 140$ мм	l при $h = 90$ мм	l при $h = 140$ мм	при $h = 90$ мм	при $h = 140$ мм	
219	1309-21	1315-21	160	250	200	250	255	305	150	160	136	142	11	12,8	300
273	1309-22	1315-22	180		230		283	333	180	180	148	157	12,2	14,1	
325	1309-23	1315-23	230	300	270	280	310	360	210	230	190	204	16	18,4	360
377	1309-24	1315-24	250		280		335	385	230	240	202	220	16,8	19,1	
426	1309-25	1315-25	300		320		360	410	260	280	237	237	19,4	21,3	
478	1309-26	1315-26	320	340	340		385	435			250	250	21,1	23,3	
529	1309-27	1315-27	350		380	300	413	463	290	290	264	264	25,4	31,6	400
630	1309-28	1315-28	400	360	420	320	493	543	350	360	326	336	39,1	46,3	
720	1309-29	1315-29	420		440		538	588	370	350	352	324	42,1	48,1	
820	1309-30	1315-30	450	400	460		588	638	400	370	376	346	45,5	52 1	
920	1309-31	1315-31	500		510	340	658	708	430	430	412	416	64,9	74,2	
1020	1309-32	1315-32	540		530		708	758	470	470	446	446	75,7	80,6	

Примечание. Материал опорной плиты, сталь марки Ст. 0, остальные детали — Ст 3

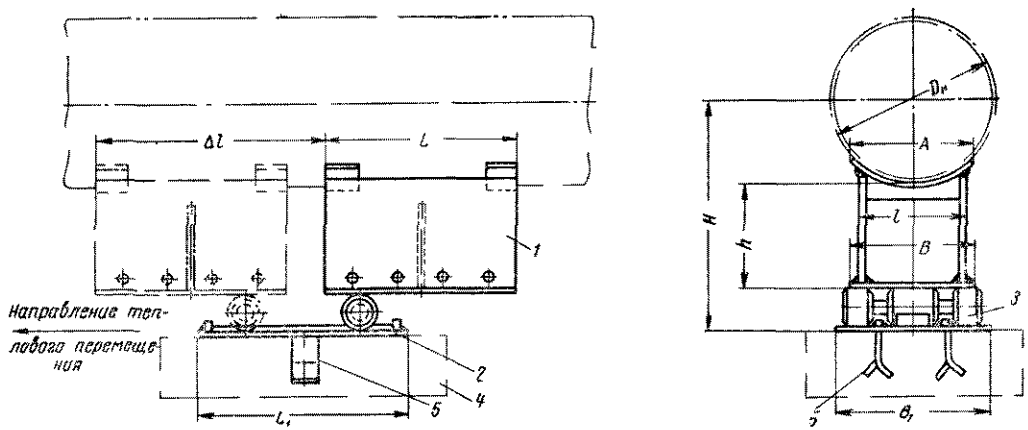


Рис. 3 3. Катковая опора трубопроводов $D_н = 219 \div 1020$ *мм*
1 — корпус, *2* — опорная плита, *3* — ролик, *4* — опорная конструкция; *5* — приварные лапы

при подвеске трубы к трубе, в некоторых случаях при прокладке под автодорожными и пешеходными мостами и др., на участках самокомпенсации или при установке П-образных компенсаторов. В последнем случае рекомендуется на расстоянии около $40\,D_y$ устанавливать направляющие опоры. При перемещениях трубопровода в вертикальной плоскости под влиянием температурных деформаций применяют пружинные подвесные опоры. На участках трубопроводов с сальниковыми компенсаторами установка подвесных опор не допускается.

Характеристика скользящих и катковых опор приведена в табл. 3 3—3.5.

Опоры высотой 90 *мм* применяют для трубопроводов с толщиной изоляционной конструкции не больше 80 *мм*, а высотой 140 *мм* для трубопроводов с толщиной изоляционной конструкции больше 80 *мм* и при прокладке трубопроводов в мокрых грунтах.

Длина нормальных опор соответствует наибольшему перемещению трубопроводов при расстояниях между неподвижными опорами, приведенными далее в табл. 3 7. Длина укороченных опор соответствует вдвое меньшей величине теплового перемещения трубопровода, в связи с чем возможность применения укороченных опор проверяется при конкретных расстояниях между неподвижными опорами, принятыми в проекте.

Характеристика простой подвесной опоры трубопроводов тепловых сетей приведена в табл 3 6, в которую включены все детали, входящие в опору для труб диаметром до $D_н = 500$ *мм*.

Длина тяги подвесной опоры устанавливается конструктивно в каждом отдельном случае, в связи с этим в табл 3 6 приводится вес одного метра тяги. Стандартные длины тяг принимают по нормалям машиностроения МН 3957—62. Минимальную длину тяг принимают:

для трубопроводов водяных тепловых сетей и конденсатопроводов — не менее десятикратного теплового перемещения подвески, наиболее удаленной от неподвижной опоры;

для паропроводов — не менее двадцатикратного теплового перемещения подвески, наиболее удаленной от неподвижной опоры.

Максимальные пролеты между подвесными опорами дополнительно проверяют из условия прочности опоры по наибольшей допускаемой нагрузке на опору, приведенной в табл. 3.6.

Для обеспечения расчетного теплового перемещения опоры и улучшения условий ее работы следует правильно устанавливать опору при монтаже. В связи с этим в проектах оговаривают смещение оси скользящих и катковых опор на трубопроводе относительно оси опорной поверхности (несущей конструкции) и смещение оси хомута подвесных опор на трубопроводе относительно оси крепления к несущей конструкции в сторону, противоположную тепловому перемещению трубопровода, на величину: корпуса скользящих и катковых опор и хомута подвесных опор — на половину теплового удлинения; ролика катковых опор — на четверть теплового удлинения.

Кроме приведенных выше типов подвижных опор трубопроводов могут применяться другие типы опор, в том числе по нормалям машиностроения.

Простые подвесные опоры

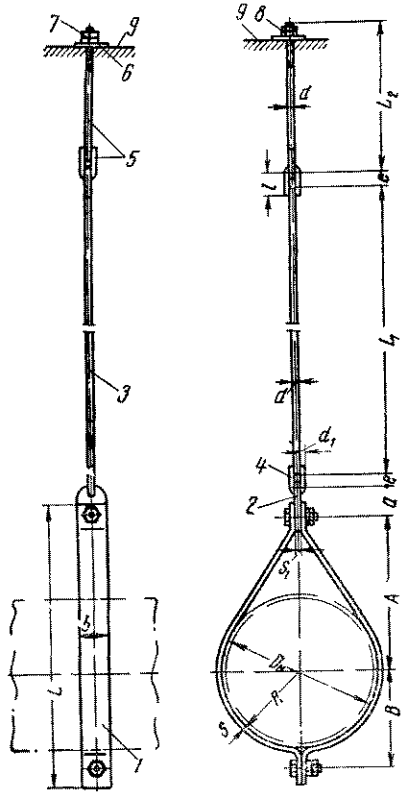


Рис. 34 Простая подвесная опора трубопроводов $D_н = 57 \div 529$ *мм*

1 — хомут; *2* — серьга, *3* — тяга резьбовая, *4* — ушко *5* — тяга с ушком, *6* — шайба, *7* — гайка шестигранная *8* — гайка шестигранная низкая, *9* — несущая конструкция

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Хомут МН 3941—62								Серьга МН 3965—62			
	Размеры в *мм*						Шифр	Вес в *кг*	a в *мм*	s_1 в *мм*	Шифр	Вес в *кг*
	L	B	A		s	b						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
57	285	50	200	30	5	30	57—200	0,77	80	8	120	0,26
76	305	60	210	39			76—300	0,92				
89	345	70	240	45			89—300	1,03				
108	365	85	235	55		40	108—750	1,54	100	12	140	0,42
133	405	95	260	67		50	133—900	2,04				
159	430	105	275	80		50	159—1000	1,80				
194	500	125	325	98		50	194—1000	3,03				
	495	130	305			80	194—1500	4,70	120	16	170	0,90
219	560	140	355	111	6	50	219—1000	3,25	100	12	140	0,42
	540	145	325			80	219—1500	5,13	120	16	170	0,90
273	600	170	355	139		80	273—1500	5,73				
	630	190	365		10	90	273—3200	11,55	160	20	230	2,08
325	670	200	390	165	6	80	325—1800	6,65	130		200	1,85
	695	215	400		10	90	325—3400	12,87	160		230	2,08
377	725	225	420	191	6	80	377—1800	7,31	130		200	1,85
	755	245	430		10	90	377—3400	13,97	160		230	2,08
426	790	260	455	216			426—3200	14,6	140		210	1,92
	815	270	465				426—4500	16,34	160	25	250	3,58
478	855	285	490	243	10	80	480—2400	14,4	140	20	210	1,92
	895	300			12	100	480—5500	22,88	160	25	250	3,58
529	920	320	520	268	10	80	530—4000	15,88	160	20	230	2,08
	930	325			12	100	530—5500	24,32	160	25	250	3,58

Примечания: 1. Для тяги с ушком по МН 3959-62 вес одного метра тяги принима
2. Хомуты подвесок применяют в исполнении 1, соответствующем температуре теплоно
3 Материал деталей подвесных опор трубопроводов
хомут подвески — полухомут Ст. 3 по ГОСТ 380—60, болты Ст. 5 по ГОСТ 380—60 и вая Ст. 4 по ГОСТ 380—60, ушко Ст. 4 по ГОСТ 380—60, шайба сталь 10 по ГОСТ 1050—

Таблица 3.6

трубопроводов по МН (рис. 3.4)

Тяга резьбовая МН 3957—62			Ушко МН 3960—62					Тяга с ушком МН 3959—62				Шайба ГОСТ 6957—54		Гайка шестигранная ГОСТ 5915—62	Гайка шестигранная низкая ГОСТ 5916—62	Наибольшая допускаемая нагрузка на опору в т
d в *мм*	Шифр	Вес одного метра в *кг*	d_1 в *мм*	l в *мм*	r в *мм*	Шифр	Вес в *кг*	d в *мм*	e в *мм*	Шифр	Вес наплавленного металла сварных швов в *кг*	Наружный диаметр в *мм*	Вес одной шайбы в *кг*	Вес одной гайки в *кг*	Вес одной гайки в *кг*	
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
М10	М10×L_1	0,62	10	35	6,5	10	0,06	М10	8,5	М10×L_2	0,02	22	0,00408	0,012	0,009	0,2 0,3 0,3
М16	М16×L_1	1,58	16	55	10	16	0,26	М16	12	М16×L_2	0,06	32	0,01391	0,034	0,021	0,75 0,9 1 1 1,5 1 1,5 1,5
М24	М24×L_1	3,55	24	80	14	24	0,86	М24	18	М24×L_2	0,18	45	0,0345	0,11	0,058	3,2
М20	М20×L_1	2,47	20	65	12	20	0,49	М20	14	М20×L_2	0,11	38	0,02474	0,065	0,036	1,8
М24	М24×L_1	3,55	24	80	14	24	0,86	М24	18	М24×L_2	0,18	45	0,03453	0,11	0,058	3,4
М20	М20×L_1	2,47	20	65	12	20	0,49	М20	14	М20×L_2	0,11	38	0,02474	0,065	0,036	1,8
М24	М24×L_1	3,55	24	80	14	24	0,86	М24	18	М24×L_2	0,18	45	0,03453	0,11	0,058	3,4 3,2
М27	М27×L_1	4,5	27	90	16	27	1,22	М27	19	М27×L_2	0 24	52	0,0529	0,166	0,091	4,5
М20	М20×L_1	2,47	20	65	12	20	0,49	М20	14	М20×L_2	0,11	38	0,02474	0,065	0,033	2,4
М30	М30×L_1	5,55	30	100	17,5	30	1,68	М30	22,5	М30×L_2	0,35	55	0,06363	0,231	0,116	5,5
М27	М27×L_1	4,5	27	90	16	27	1,22	М27	19	М27×L_2	0,24	52	0,03453	0,166	0,058	4
М30	М30×L_1	5,55	30	100	17,5	30	1,68	М30	22,5	М30×L_2	0,35	55	0,06363	0,231	0,116	5,5

ют по графе 16, а вес ушка по графе 21.
сителя до 450°С.

сталь 40 по ГОСТ 1050—60, гайки Ст. 2 по ГОСТ 380—60 и сталь 35 по ГОСТ 1050—60; серьга подвески Ст. 3 по ГОСТ 380—60; тяга резьбо-60; гайки сталь 10 по ГОСТ 1050—60.

3.2. НЕПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

Неподвижные опоры фиксируют отдельные точки трубопровода, делят его на независимые в отношении температурных удлинений участки и воспринимают усилия, возникающие в трубопроводах при различных схемах и способах компенсации тепловых удлинений.

Неподвижные опоры предусматривают на трубопроводах при всех способах прокладки тепловых сетей.

Места установки неподвижных опор совмещают, как правило, с узлами ответвлений труб, местами установки на трубопроводах запорной арматуры, сальниковых компенсаторов, грязевиков и другого оборудования.

Расстояния между неподвижными опорами определяют расчетом труб на прочность и компенсирующей способностью сальниковых компенсаторов.

Расстояние между неподвижными опорами по компенсирующей способности сальниковых компенсаторов определяют по формуле

$$L = \frac{a_{\text{расч}}}{\alpha (t - t_{\text{н.о}})} \text{ м}, \qquad (3.2)$$

где $a_{\text{расч}}$ — расчетная компенсирующая способность сальникового компенсатора в *мм*;

t — расчетная температура теплоносителя в °С;

$t_{\text{н.о}}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С;

α — коэффициент линейного расширения трубной стали в *мм/м* °С.

Рекомендуемые расстояния между неподвижными опорами даны в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Расстояния между неподвижными опорами трубопроводов

Условный проход труб D_y в *мм*	Компенсаторы П-образные						Компенсаторы сальниковые		
	Расстояния между неподвижными опорами в *м* при параметрах теплоносителя: $P_{\text{раб}}$ в *кгс/см²*, t в ° С								
	$P_{\text{раб}}$ = 8, t ≤ 100; $P_{\text{раб}}$ = 16, t ≤ 150	$P_{\text{раб}}$ = 8, t = 250	$P_{\text{раб}}$ = 13, t ≤ 300	$P_{\text{раб}}$ = 16, t = 325; $P_{\text{раб}}$ = 21, t = 350	$P_{\text{раб}}$ = 36, t = 425	$P_{\text{раб}}$ = 8, t ≤ 100; $P_{\text{раб}}$ = 16, t ≤ 150	$P_{\text{раб}}$ = 8, t ≤ 250	$P_{\text{раб}}$ = 13, t ≤ 300
25	—	50	50	50	50	—	—	—
32	50	50	50	50	50	—	—	—
40	60	60	60	60	60	—	—	—
50	60	60	60	60	60	—	—	—
70	70	70	70	70	70	—	—	—
80	80	80	80	80	80	—	—	—
100	80	80	80	80	80	70	60	50
125	90	90	90	80	80	70	60	50
150	100	100	90	80	80	80	70	60
175	100	100	100	90	80	80	70	60
200	120	120	100	100	80	80	70	60
250	120	120	100	100	80	100	70	60
300	120	120	120	120	100	100	70	60
350	140	120	120	120	100	120	70	60
400	160	140	140	120	100	140	100	80
450	160	140	140	—	—	140	100	80
500	180	160	160	—	—	140	100	80
600	200	160	160	—	—	160	100	80
700	200	160	160	—	—	160	100	80
800	200	160	160	—	—	160	100	80
900	200	160	160	—	—	160	100	80
1000	200	160	160	—	—	160	100	80

Примечание. Расстояния между неподвижными опорами трубопроводов на участках самокомпенсации рекомендуется принимать не более 60% от указанных в таблице для П-образных компенсаторов.

Таблица 3.8

Неподвижные опоры трубопроводов по МВН 1316-56 и МВН 1322-56 (рис. 3.5—3.7)

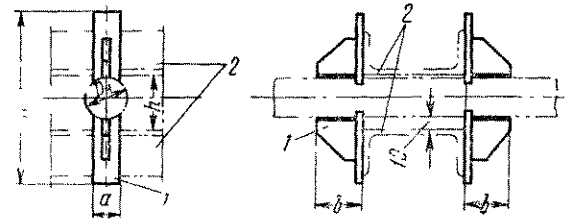


Рис. 3.5. Неподвижные опоры трубопроводов с вертикальными двухсторонними упорами. Тип I для трубопроводов $D_{\text{н}} = 32 \div 76$ *мм*

1 — упор; *2* — несущая конструкция

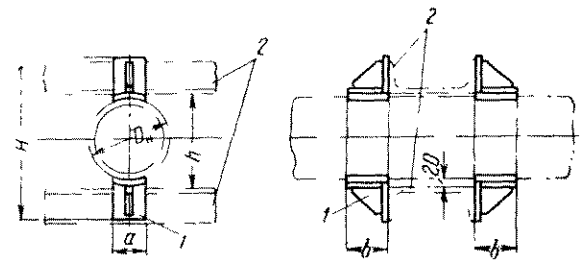


Рис. 3.6. Неподвижные опоры трубопроводов с вертикальными двухсторонними упорами. Тип II для трубопроводов $D_{\text{н}} = 89 \div 219$ *мм*

1 — упор; *2* — несущая конструкция

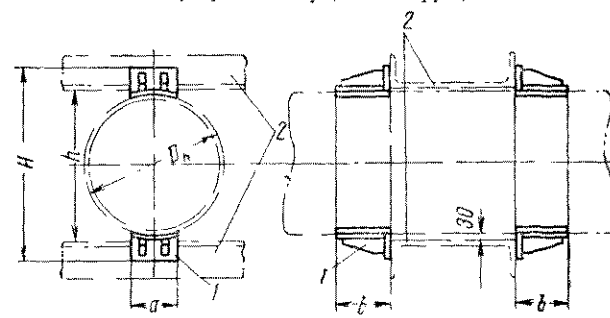


Рис. 3.7. Неподвижные опоры трубопроводов с вертикальными двухсторонними упорами. Тип III для трубопроводов $D_{\text{н}} = 273 \div 1020$ *мм*

1 — упор; *2* — несущая конструкция

Наружный диаметр трубы $D_{\text{н}}$ в *мм*	Тип опоры	Номер МВН	Размеры в *мм*				Вес в *кг*	Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*
			H	*h*	*a*	*b*		
32	I	1316-01	170	45	20	51	0,82	I
38		1316-02	180	50	25	51	0,89	

Продолжение табл 38

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Тип опоры	Номер МВН	Размеры в *мм* H	h	a	b	Вес в *кг*	Наибольшая горизонтальная нагрузка в *т*
57	I	1316 03	210	70	30	51	0,98	I
76		1316 04	230	90	40	51	1,12	
89	II	1316 05	250	115	40	60	1,86	
108		1316 06	270	130	50	60	2,13	
133		1316 07	296	155	50	60	2,13	1,5
159		1316 08	320	185	60	80	2,86	2,5
219		1316 09	380	245	80	80	4,5	4,5
273	III	1322 01	436	305	80	100	4,92	7
325		1322 02	520	360	120	130	11,4	10
377		1322 03	560	410	120	130	11,3	15
426		1322 04	616	460	150	160	22	22
478		1322 05	668	510	150	160	17,7	28
529		1322-06	710	565	200	220	27,2	35
630		1322 07	820	665	200	220	27,3	50
720		1322 08	910	755	200	250	34 6	70
820		1322 09	1028	855	250	270	48,4	90
920		1322 10	1130	955	300	300	61,6	110
1020		1322 11	1220	1055	350	350	78,4	130

Примечание Материал — сталь марки Ст 3 по ГОСТ 380—60

Таблица 39

Неподвижные лобовые опоры трубопроводов типа I по МВН 1316-60 (рис. 3 8)

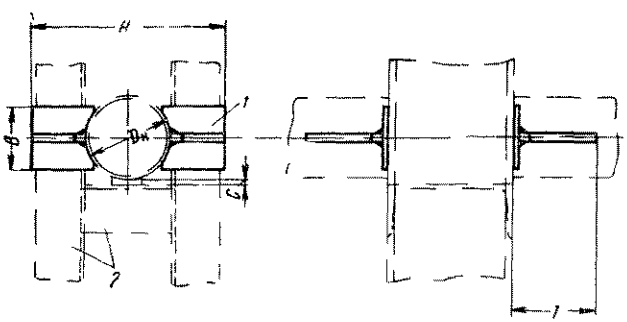


Рис 3 8 Лобовые неподвижные опоры трубопроводов Тип I для трубопроводов $D_н = 32 - 108$ *мм*

1 — упор *2* — несущая конструкция, *c* — зазор 30 *мм* заполнить прокладками из листовой стали толщиной 2—4 *мм*

Продолжение табл 39

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН	Размеры в *мм* H	B		Вес в *кг*	Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*
32	1316 21	154	40	86	1,12	1
38	1316 22	160			1,12	
45	1316 23	166	50		1,24	1,5
57	1316-24	200	60	98	2,26	
76	1316 25	216	70		2 4	2
89	1316 26	230	70		2,42	
108	1316 27	230	80	110	3 42	3

Таблица 3 10

Неподвижные лобовые опоры трубопроводов типов II и III по МВН 1316-60 (рис. 3.9 и 3.10)

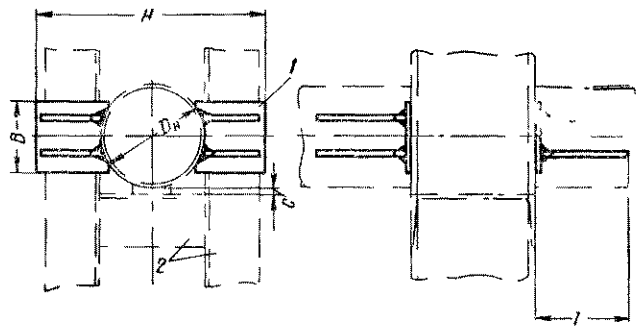


Рис 3 9 Лобовые неподвижные опоры трубопроводов Тип II для трубопроводов $D = 133 - 377$ *мм*

1 — упор, *2* — несущая конструкция, *c* — зазор 30 *мм* заполнить прокладками из листовой стали толщиной 2—4 *мм*

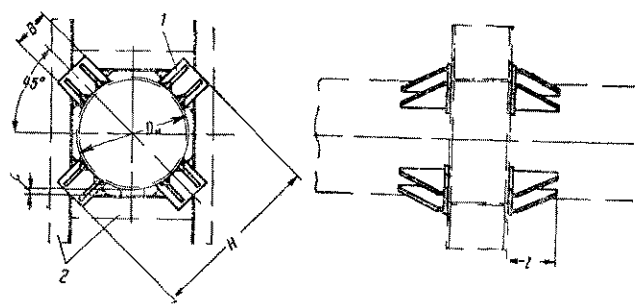


Рис 3 10 Лобовые неподвижные опоры трубопроводов Тип III для трубопроводов $D_н = 194 - 377$ *мм*

1 — упор, *2* — несущая конструкция *c* — зазор 30 *мм* заполнить прокладками из листовой стали толщиной 2—4 *мм*

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН тип II	тип III	Размеры в *мм* H	B	l	Вес в *кг* тип II	тип III	Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т* тип II	тип III
133	1316 28	—	296	90	120	6,16	—	4	—

Продолжение табл. 3.10

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН		Размеры в *мм*			Вес в *кг*		Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*	
	тип II	тип III	*H*	*B*	*l*	тип II	тип III	тип II	тип III
159	1316-29	—	340	100	130	7,6	—	5	—
194	1316-30	1316-35	376			7,56	15,1		12
219	1316-31	1316-36	400			7,52	15		15
273	1316-32	1316-37	476	120	162	12,1	24,2	6	20
325	1316-33	1316-38	530			12,1	24,2		25
377	1316-34	1316-39	580			12	24	8	32

Примечание. Материал — сталь марки Ст.3 по ГОСТ 380—60.

В зависимости от способа прокладки и места установки применяют неподвижные опоры с вертикальными двухсторонними упорами, лобовые, щитовые и хомутовые. Хомутовые опоры, как правило, применяют при надземной прокладке трубопроводов. Опоры с вертикальными двухсторонними упорами и лобовые применяют при установке их на каркасах в тоннелях и при прокладке трубопроводов в непроходных каналах. Щитовые опоры применяют при подземной прокладке в каналах и бесканально. Характеристика неподвижных опор дана в табл. 3.8—3.13.

Выбор неподвижных опор производят по наибольшей горизонтальной осевой нагрузке, на которую рассчитана данная опора.

Таблица 3.11

Неподвижные лобовые опоры трубопроводов типов IV и V по МВН 1316-60 (рис. 3.11 и 3.12)

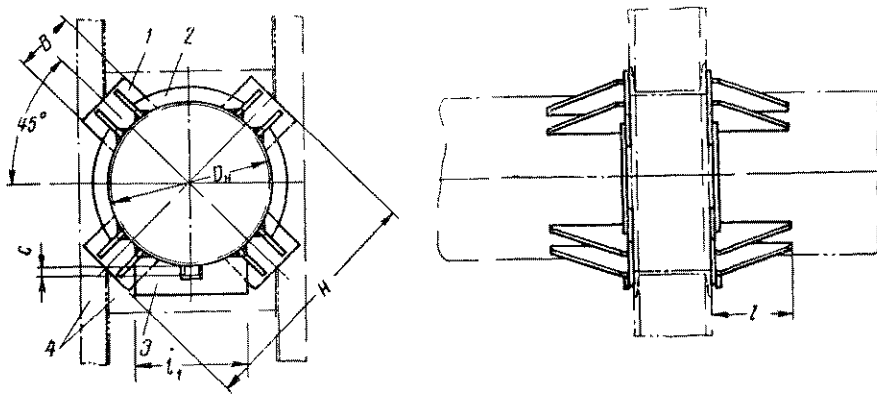


Рис. 3.11. Лобовые неподвижные опоры трубопроводов. Тип IV для трубопроводов $D_н$ = 426 ÷ 1020 *мм*

1 — упор; *2* — дуга; *3* — планка; *4* — несущая конструкция; *c* — зазор 30 *мм* заполнить прокладками из листовой стали толщиной 2—4 *мм*

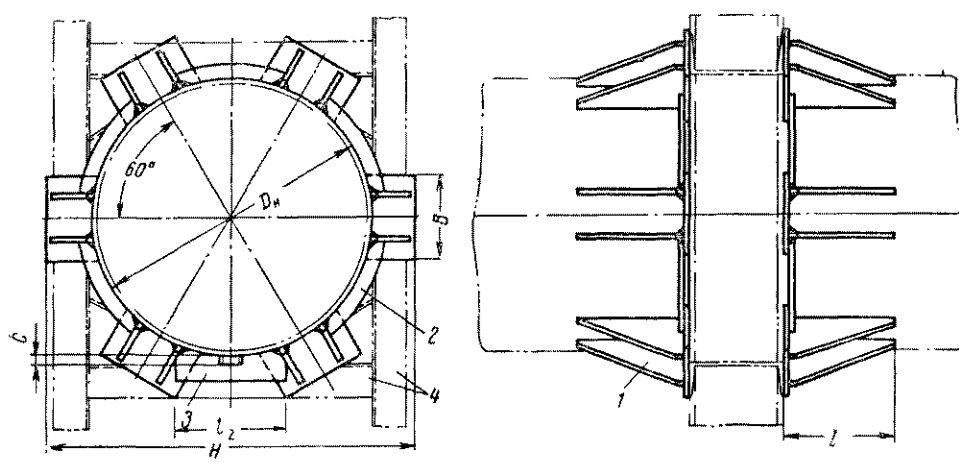


Рис. 3.12. Лобовые неподвижные опоры трубопроводов. Тип V для трубопроводов $D_н$ = 426 ÷ 1020 *мм*

1 — упор; *2* — дуга; *3* — планка; 4 — несущая конструкция; *c* — зазор 30 *мм* заполнить прокладками из листовой стали толщиной 2—4 *мм*

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН		Размеры в *мм*					Вес в *кг*		Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*	
	тип IV	тип V	H	B	l	l_1	l_2	тип IV	тип V	тип IV	тип V
426	1316-40	1316-48	630	160	222	292	176	47,4	60	25	60
478	1316-41	1316-49	680			330	202	49,4	61,4		
529	1316-42	1316-50	730	180	252	350	210	55,1	69,7		
630	1316-43	1316-51	870	200	287	414	252	71,5	90,4	40	100
720	1316-44	1316-52	960	220		470	286	78 1	97,3		
820	1316 45	1316 53	1060	240	316	528	320	106	136	50	125
920	1316-46	1316-54	1160	270		582	352	114	144	60	150
1020	1316-47	1316-55	1260	300		628	374	121,2	152	80	200

Примечание Материал — сталь марки Ст 3 по ГОСТ 380—60

Таблица 3 12

Неподвижные щитовые опоры трубопроводов по МВН 1329-60 (рис. 3.13 и 3.14)

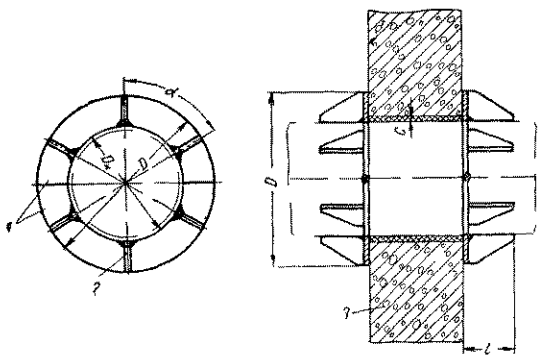


Рис 3 13 Щитовые неподвижные опоры трубопроводов Тип I для трубопроводов $D_н = 108 \div 1020$ *мм*

1 — щит, *2* — ребро, *3* — несущая конструкция *с* — зазор заполнить асбестовым шнуром по ГОСТ 1779—55

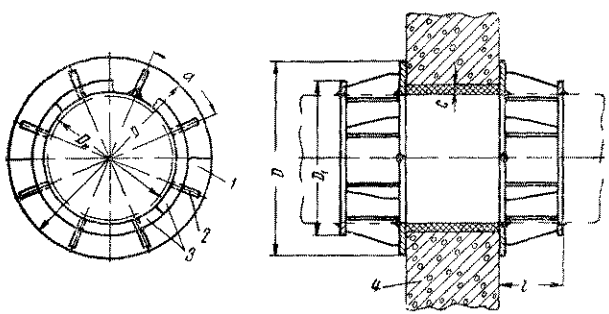


Рис 3 14 Щитовые неподвижные опоры трубопроводов Тип II для трубопроводов $D_н = 426 \div 1020$ *мм*

1 — щит, *2* — ребро, *3* — кольцо, *4* — несущая конструкция, *с*—зазор заполнить асбестовым шнуром по ГОСТ 1779—55

Наружный диаметры трубы $D_н$ в *мм*	Тип опоры	Номер МВН	Размеры в *мм*				Угол α в *град*	Вес в *кг*	Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*
			D	D_1	c	l			
108	I	1329-21	190	—	20	90	90	4,35	5
		1329-22	230			110		7 43	12
133		1329 23	220			90		5,13	8
		1329-24	260			110		8,51	15
159		1329 25	250			90		6,04	10
		1329 26	290			110		9,75	20
194		1329-27	300		30	112	60	11,4	12
		1329-28	370			132		18,7	25
219		1329-29	350			112		15,6	20
		1329-30	400			132		23,7	35
273		1329 31	410			132		19,2	25
		1329-32	470			132		29,5	50
325		1329 33	460			132		21	30
		1329-34	530			162		35,6	65
377		1329-35	530			132		26,5	40
		1329 36	600			162		43 3	75
426	I	1329 37	570	—	40	132	45	28,9	30
	II	1329 38	620	503		178		60,4	60
		1329 39	660			203		73,9	85
478	I	1329 40	630	—		132		33,2	35
	II	1329 41	680	558		178		67 2	70
		1329 42	730			208		80,5	100
529	I	1329 43	690	—		162	36	41,5	45

Продолжение табл 3 12

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Тип опоры	Номер МВН	Размеры в *мм* D	D_1	c	l	Угол α в *град*	Вес в *кг*	Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*
529	II	1329 44	750	610	40	208	36	85,6	85
		1329 45	800			238		107	125
630	I	1329 46	790	—		162		46,3	50
	II	1329 47	850	710		208		95,4	95
		1329 48	910			238		121	150
720	I	1329 49	880	—		162	30	53	60
	II	1329 50	940	800		208		109	110
		1329 51	1040			238		147	185
820	I	1329 52	980	—		196		82,7	70

Продолжение табл 3-12

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Тип опоры	Номер МВН	Размеры в *мм* D	D_1	c		Угол α в *град*	Вес в *кг*	Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка в *т*
820	II	1329 53	1050	900	40	242	30	169	140
		1329 54	1150			272		232	235
920	I	1329 55	1050	—		196		95	80
	II	1329 56	1150	1000		242		187	150
		1329 57	1260			272		279	270
1020	I	1329 58	1190	—		196		102	90
	II	1329 59	1280	1100		242		207	180
		1329 60	1390			332		314	330

Примечание Материал — сталь марки Ст 3 по ГОСТ 380—60

Таблица 3 13

Неподвижные хомутовые опоры трубопроводов по МВН 2347-63 (рис. 3.15—3 18)

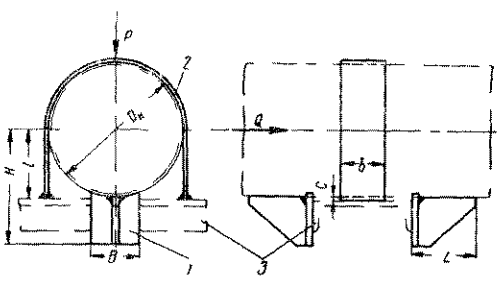


Рис 3 15 Неподвижные хомутовые опоры трубопроводов $D_н = 76 - 108$ *мм* Исполнение I

1 — упор, *2* — хомут *3* — несущая конструкция *c* — зазор не больше 30 *мм*

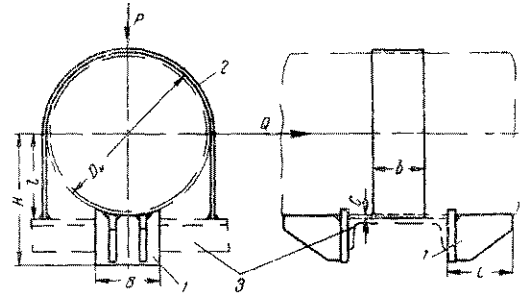


Рис 3 16 Неподвижные хомутовые опоры трубопроводов $D_н = 133 - 1020$ *мм* Исполнение I

1 упор, *2* — хомут *3* — несущая конструкция *c* — зазор не больше 30 *мм*

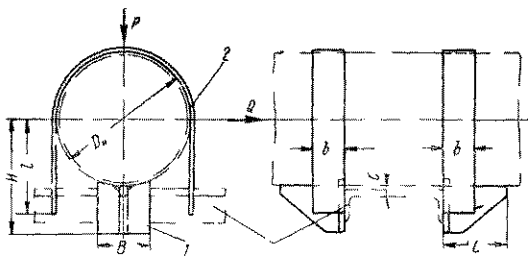


Рис 3 17 Неподвижные хомутовые опоры трубопроводов $D_н = 76 - 108$ *мм* Исполнение II

1 — упор *2* — хомут *3* — несущая конструкция *c* — зазор не больше 30 *мм*

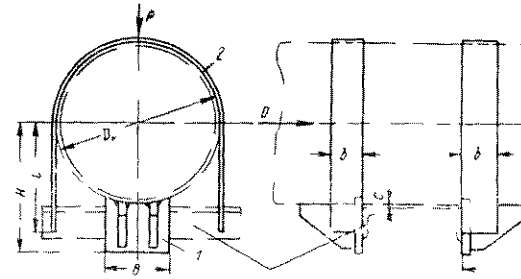


Рис 3 18 Неподвижные хомутовые опоры трубопроводов $D_н = 133 - 1020$ *мм* Исполнение II

1 — упор *2* — хомут, *3* — несущая конструкция *c* — зазор не больше 30 *мм*

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Номер МВН		Размеры в *мм*							Вес в *кг*		Наибольшая горизонтальная осевая нагрузка Q в *т* при параметрах теплоносителя $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С			Наибольшая поперечная нагрузка P в *т* при параметрах теплоносителя $P_{раб}$ *кгс/см²*, t в °С		
						l		b									
	исполнение I	исполнение II	H	B	L	исполнение I	исполнение II	исполнение I	исполнение II	исполнение I	исполнение II	$P_{раб}$ = 8; t = 100; $P_{раб}$ = 16, t = 150	$P_{раб}$ = 21, t = 350	$P_{раб}$ = 36, t = 425	$P_{раб}$ = 8; t = 100; $P_{раб}$ = 16, t = 150	$P_{раб}$ = 21, t = 350	$P_{раб}$ = 36, t = 425
76	2347-01	2347-21	108	70	98	70	110	30	25	1,52	1,61	2,0	1,2	1,2	2	1,2	1,2
89	2347-02	2347-22	115			75	115			1,56	1,65	3	1,5		3	1,5	1,5
108	2347-03	2347-23	125	80	110	85	125			2,12	2,21	3,5	2	1,5	3,5	2	
133	2347-04	2347-24	148	90	120	98	138			3,57	3,66	4	3		4	3	2,5
159	2347-05	2347-25	170	100	130	110	150			4,36	4,45	6	5	2,5		4	
194	2347-06	2347-26	188			128	170			4,45	4,55	8	6	3			3
219	2347-07	2347-27	200			140	190	60	30	5,26	5,5	10	7	4	8	5	4
273	2347-08	2347-28	238			170	220			7,89	8,12	15	10	6			
325	2347-09	2347-29	285	120	162	195	255	80	60	9,5	10,9	22	15	10	12	9	7
377	2347-10	2347-30	290			220	280			10	11,5	25	20				
426	2347-11	2347-31	315	160	222	245	305			12,6	14,3	18	25	15			
478	2347-12	2347-32	340			272	330			13,1	14,8	25	—	—		—	—
529	2347-13	2347-33	365	180	252	298	360			14,9	16,8						
630	2347-14	2317-34	435	200	287	348	430	100	80	23	26,4	40			20		
720	2347-15	2347-35	480	220		395	475			25,2	28,8						
820	2347-17	2347-36	530	240	316	445	525			32,8	36,8	50			22		
920	2347-16	2347-37	580	270		495	575			35,4	39,7	60					
1020	2347-18	2347-38	630	300		545	625			37,1	40,7	80					

Примечания: 1. Материал — сталь марки Ст. 3 по ГОСТ 380—60.

2. Опоры хомутовые применяют для трубопроводов диаметром $D_н = 76 \div 1020$ *мм* для параметров теплоносителей $P_{раб} \leqslant 16$ *кгс/см²*, $\leqslant 150$°С, а для трубопроводов диаметром $D_н = 76 \div 426$ *мм* для параметров теплоносителей $P_{раб} \leqslant 36$ *кгс/см²*, $t \leqslant 425$°С.

3. Хомуты не должны подвергаться действию боковых нагрузок. Для восприятия боковых нагрузок должны быть предусмотрены специальные упоры.

4. Длину хомутов l исполнения I уточнить при монтаже в зависимости от зазора между трубой и балкой.

5. Конструкцию (профиль) и размеры опорных балок определяют при проектировании, при этом упоры должны прилегать по всей площади с зазором между опорной конструкцией и трубой не свыше 30 *мм*.

3.3. ОПОРЫ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ НА ТРУБАХ

При проектировании тепловых сетей часто встречаются случаи, когда экономически целесообразно использовать трубопровод бо́льшего диаметра в качестве несущей конструкции для прокладки на нем трубопровода мéньшего диаметра (прокладка «труба на трубе»).

Московским отделением института Теплоэлектропроект разработаны рабочие чертежи опорных конструкций, устанавливаемых на нижней трубе бо́льшего диаметра ($D_н = 273 \div 1020$ *мм*) для подвижного опирания верхнего трубопровода мéньшего диаметра ($D_н = 57 \div 325$ *мм*) и для его неподвижного крепления.

Температура теплоносителя в трубах при применении прокладки «труба на трубе» должна быть не выше 300° С; кроме того, при этом способе прокладки необходимо предусматривать изоляцию опорных конструкций на нижней трубе для уменьшения тепловых потерь трубопроводами.

Опорные конструкции для перемещения скользящих опор верхнего трубопровода разработаны трех типов:

а) осевого перемещения;

б) осевого перемещения с направляющими упорами (рис. 3.19 и 3.20);

в) осевого и поперечного перемещения (рис. 3.21 и 3.22). Кроме того, разработана опорная конструкция для неподвижного крепления хомутовых опор верхнего трубопровода (рис 3.23).

Основные габаритные размеры опорных конструкций приведены в табл. 3.14, а расстояния между поверхностями труб для этих конструкций — в табл. 3.15

При применении прокладки трубопроводов «труба на трубе» рекомендуются две схемы размещения компенса-

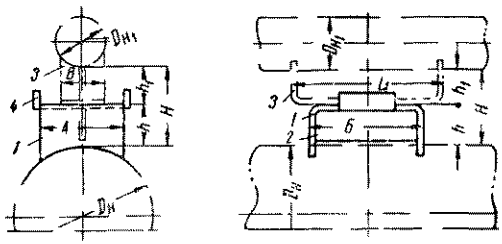


Рис. 3.19 Опорная конструкция на трубе $D_y = 250 \div 350$ *мм*

1 — скоба; *2* — ребро; *3* — корпус скользящей опоры; *4* — упоры только для направляющих опор

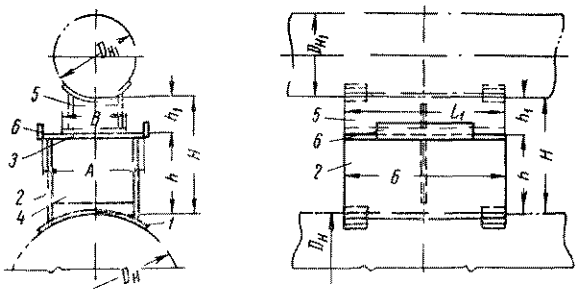


Рис. 3.20. Опорная конструкция на трубе $D_y = 400 \div 1000$ *мм*

1 — подушка; *2* — ребро; *3* — основание; *4* — ребро; *5*—корпус скользящей опоры; *6*—упоры только для направляющих опор

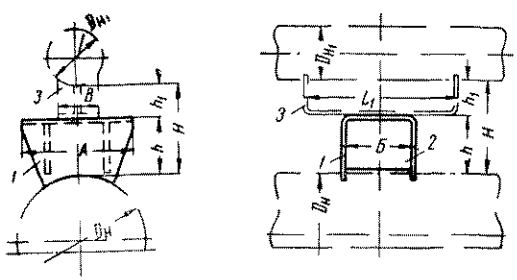


Рис. 3.21. Опорная конструкция на трубе $D_y = 250 \div 350$ *мм*

1 — скоба; *2* — ребро; *3* — корпус скользящей опоры

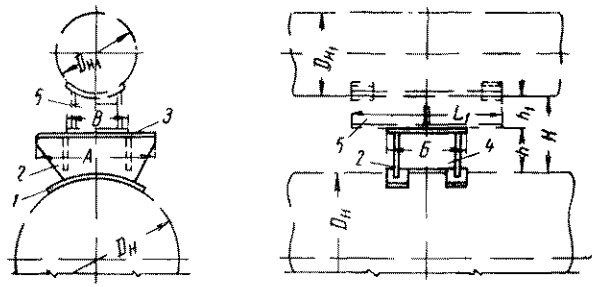


Рис. 3.22. Опорная конструкция на трубе $D_y = 400 \div 1000$ *мм*

1 — подушка; *2* — ребро; *3* — основание; *4* — ребро; *5* — корпус скользящей опоры

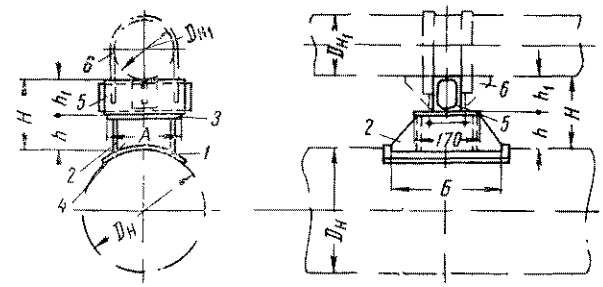


Рис. 3.23. Опорная конструкция в комплексе с опорными балками на трубах $D_y = 250 \div 1000$ *мм*

1 — подушка; *2* — ребро; *3* — основание; *4* — ребро; *5* — опорная балка; *6* — неподвижная хомутовая опора

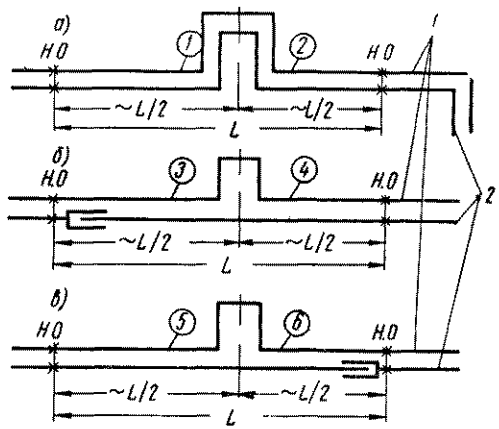


Рис. 3.24. Рекомендуемые схемы размещения компенсаторных узлов при прокладке «труба на трубе»

а — нижний трубопровод с П-образным компенсатором; *б* и *в* — нижний трубопровод с сальниковыми компенсаторами; *1* — верхний трубопровод; *2* — нижний трубопровод. В кружках дана нумерация точек к расчетным формулам (3.7) и (3.8)

торных узлов (рис. 3.24) и следующее сочетание диаметров труб:

Нижняя труба $D_у$ в *мм*	Верхняя труба $D_{у1}$ в *мм*
250	50, 70, 80, 100, 125
300	50, 70, 80, 100, 125, 150
350	80, 100, 125, 150, 175
400	100, 125, 150, 175, 200
450	100, 125, 150, 175, 200
500	150, 175, 200, 250
600	150, 175, 200, 250
700	150, 175, 200, 250, 300
800	200, 250, 300
900	200, 250, 300
1000	200, 250, 300

Таблица 3.14

Габариты опорных конструкций по чертежам «Теплоэлектропроекта»

Нижняя труба наружным диаметром $D_н$ в *мм*	Высота h в *мм*	Ширина A в *мм*		Длина $Б$ в *мм*	
		для осевого перемещения	для осевого и поперечного перемещения	для осевого перемещения	для осевого и поперечного перемещения
273	100	170	300	300	150
	150				
325—478	100	200			200
	150				
	200				
529—1020	100	260	400	300	250
	150			400	
	200				

Таблица 3.15

Расстояния между поверхностями труб H в зависимости от сочетания h и h_1

h в *мм*	100	150	200	100	150	200
h_1 в *мм*	90	90	90	140	140	140
H в *мм*	190	240	290	240	290	340

Расстояние между неподвижными опорами на прямых участках верхних трубопроводов может приниматься по допускаемому расстоянию между неподвижными опорами для нижнего трубопровода (см. табл. 3.7) с проверкой его по принятым габаритам опор, исходя из допустимых осевых перемещений и с соблюдением условия, чтобы минимальная длина соприкосновения скользящих опор с опорной конструкцией для прямых участков трубопроводов была не менее 100 *мм*.

Проверку расстояний между неподвижными опорами по допускаемому осевому перемещению опорных конструкций заданных габаритов можно производить по формулам:

для схемы *а* (см. рис. 3.24)

$$L = \frac{L_1 + Б - 200}{0{,}5\,(\delta_н + \delta_в)}\ м, \qquad (3.3)$$

для схем *б* и *в* (см. рис. 3.24)

$$L = \frac{L_1 + Б - 200}{\delta_н}\ м, \qquad (3.4)$$

где L — расстояние между неподвижными опорами в *м*;

$Б$ — длина опорной конструкции в *м*;

L_1 — длина корпуса скользящей опоры верхней трубы в *м*;

$\delta_н$, $\delta_в$ — тепловое удлинение одного метра нижней и верхней трубы в *мм*.

Тепловое удлинение одного метра трубы определяют по формулам:

$$\delta_н = \alpha\,(t_н - t_{н.о})\ мм/м; \qquad (3.5)$$

$$\delta_в = \alpha\,(t_в - t_{н.о})\ мм/м, \qquad (3.6)$$

где α — коэффициент линейного расширения трубной стали в *мм/м* °С;

$t_н$, $t_в$ — расчетные температуры теплоносителя нижней и верхней трубы в °С;

$t_{н.о}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С.

При установке подвижных опор на вылете П-образного компенсатора (для схемы *а*, рис. 3.24) следует проверять расстояние между неподвижными опорами исходя из возможного поперечного перемещения скользящей опоры верхнего трубопровода по опорной конструкции.

Для полного использования опорных поверхностей следует предусматривать смещение оси скользящих опор верхних труб на прямых участках трубопроводов относительно оси опорных конструкций при монтаже на величину, определяемую в зависимости от величины и возможного направления тепловых перемещений трубопроводов (верхнего и нижнего) с соблюдением условия, чтобы минимальная длина соприкосновения скользящих опор с опорной конструкцией была 100 *мм*.

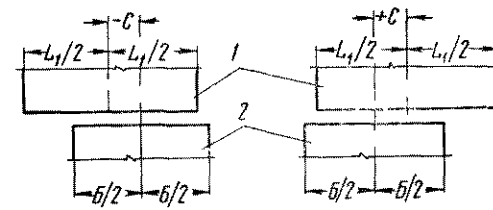


Рис. 3.25. Смещение оси скользящих опор верхних труб относительно оси опорных конструкций при монтаже

1 — корпус скользящей опоры верхней трубы; *2* — опорная конструкция на нижней трубе; *L* — длина корпуса скользящей опоры верхней трубы; *Б*—длина опорной конструкции; ± *С*—смещение оси скользящей опоры верхней трубы относительно оси опорной конструкции при монтаже

Величину смещения оси скользящих опор верхних труб относительно оси опорных конструкций при монтаже (рис. 3.25) определяют в зависимости от рассматриваемых точек (см. рис. 3.24) по формулам:

(для точек *1* и *5* со знаком «+», для точек *2* и *4* со знаком «—»)

$$C = \pm \frac{L(\delta_н - \delta_в)}{4} \text{ мм}; \quad (3.7)$$

(для точки *6* со знаком «+», для точки *3* со знаком «—»)

$$C = \pm \frac{L(\delta_н + \delta_в)}{2} \text{ мм}. \quad (3\ 8)$$

Для остальных опор смещение принимается такое же, как для расчетных На углах поворотов смещение опор при монтаже не предусматривается

При конструировании опорных конструкций длина опорной поверхности для осевых перемещений скользящих опор верхних трубопроводов может быть определена по формулам (3 3) и (3 4)

Габариты П-образных компенсаторов нижнего и верхнего трубопроводов принимают одинаковыми и равными максимальному из полученных по расчету для каждого трубопровода В том случае, когда определяющим является компенсатор верхнего трубопровода, следует производить его расчет без учета примыкающих к нему плеч (вместо $40 D_y$ для обычных случаев)

Длину компенсирующих плеч на углах поворотов трубопроводов определяют расчетом на прочность и проверяют по принятым габаритам опор исходя из допускаемых для этих опор тепловых перемещений и с соблюдением условия, чтобы при боковом перемещении опора не доходила до края опорной конструкции с каждой стороны не менее чем на 20—25 *мм*

Предварительная растяжка на углах поворотов не предусматривается

При прокладке трубопроводов «труба на трубе» необходим проверочный расчет нижнего трубопровода на прочность с учетом дополнительной нагрузки верхнего трубопровода

ГЛАВА 4

АРМАТУРА, ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, САЛЬНИКОВЫЕ И ВОЛНИСТЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Арматуру, фланцы, заглушки и компенсаторы выбирают в зависимости от температуры и вида теплоносителя (пар, вода) и условного давления.

Для тепловых сетей применяют стальную и чугунную арматуру с фланцевыми и муфтовыми присоединительными концами, а также с концами под приварку труб.

Применение арматуры с муфтовыми присоединительными концами допускается на трубопроводах с условным давлением $P_y \leqslant 16$ *кгс/см*^{2} и $t \leqslant 225°$ С, в основном на воздушниках и дренажах.

Применение арматуры в зависимости от материала корпуса дано в табл. 4.1.

Чугунная арматура должна быть защищена от изгибающих и по мере возможности осевых нагрузок.

Таблица 4.1

Применение арматуры в зависимости от материала корпуса

Материал корпуса арматуры	Водяные тепловые сети и конденсатопроводы	Паропроводы
Сталь — с	$P_{раб} \geqslant 9$ *кгс/см*^{2}	$t \geqslant 300°$С независимо от давления и диаметра
	$D_y \geqslant 250$ *мм* независимо от давления	$P_{раб} \geqslant 9$ *кгс/см*^{2} и $D_y \geqslant 200$ *мм* независимо от температуры
Ковкий чугун —кч	$P_{раб} \leqslant 9$ *кгс/см*^{2}	$D_y < 200$ *мм* и при $P_{раб} \leqslant 9$ *кгс/см*^{2} и $t \leqslant 300°$С
	$D_y \leqslant 250$ *мм* независимо от давления	
Серый чугун — ч	$P_{раб} \leqslant 9$ *кгс/см*^{2} и $D_y \leqslant 200$ *мм*	Не применяется

Примечания: 1. При надземной прокладке не допускается применение арматуры из ковкого чугуна, если расчетная для отопления температура наружного воздуха ниже —30° С, из серого — ниже —10° С.

2. Стальную арматуру применяют также взамен чугунной, если по местным условиям применение чугунной арматуры не допускается (при надземной прокладке и температуре наружного воздуха ниже допускаемой для чугуна, при наличии боковых усилий и др.)

3. Арматуру из серого чугуна допускается применять на дренажных трубопроводах, отводящих воду из камер и каналов тепловых сетей.

В тепловых сетях применяют стальные неразгруженные сальниковые компенсаторы. Начинает внедряться новая конструкция волнистых компенсаторов: универсальных шарнирного типа и осевых.

4.2. ЗАПОРНАЯ АРМАТУРА, ОБРАТНЫЕ И ПРИЕМНЫЕ КЛАПАНЫ

Запорную арматуру устанавливают для отключения ответвлений от магистралей, отключения перемычек, секционирования магистралей на время ремонта и промывки, постоянного и пускового дренажа паропроводов, спуска воды из трубопроводов, выпуска воздуха при заполнении трубопроводов водой или при спуске воды.

В зависимости от назначения и режима работы запорная арматура должна быть либо полностью открыта, либо закрыта. Использование запорной арматуры для регулирования расходов теплоносителя или давления не допускается, так как происходит эрозионное разрушение деталей запорных устройств и не обеспечивается достаточная плотность отключения в закрытом состоянии.

В качестве запорной арматуры применяют задвижки и вентили. Задвижки имеют меньшее гидравлическое сопротивление. На участках, требующих особо надежного и плотного отключения (дренажи, перемычки), рекомендуется устанавливать вентили, обеспечивающие большую плотность отключения.

Задвижки диаметром 350 *мм* и более должны иметь обвод. Если в конструкции задвижки обвод не предусмотрен, устраивают специальную обводную линию. Диаметр обводов принимают по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Диаметры обводов для задвижек

Условный проход задвижки D_y в *мм*	350	400	500	600	800	1000	1200
Условный проход обвода D_{y1} в *мм*	50	50	50	50	80	100	125

На трубопроводах условным проходом 500 *мм* и более устанавливают задвижки с электроприводом. Для трубопроводов условным проходом 600 *мм* и выше допускается установка задвижек меньшего диаметра с устройством по ходу воды конфузоров и диффузоров. Если возможно двухстороннее движение воды (кольцевая схема), то вместо конфузора устанавливают входной диффузор. Размеры переходов к задвижкам приведены в табл. 4.3.

Таблица 43

Размеры переходов к задвижкам (рис. 41)

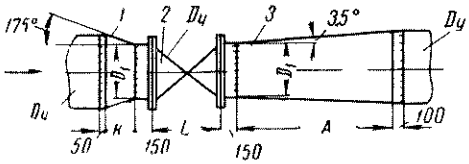


Рис 41 Переходы в трубопроводах к задвижкам

1 — конфузор *2* — задвижка *3* — диффузор

Условный проход трубопровода $D_у$ в *мм*	Условный проход задвижки $D_у$ в *мм*	Размеры в *мм*			
		D_1	L	K	A
600	500	530	700	160	820
700	500	530	700	300	1550
800	600	630	800	300	1550

Продолжение табл 43

Условный проход трубопровода $D_у$ в *мм*	Условный проход задвижки $D_у$ в *мм*	Размеры в *мм*			
		D_1	L	K	A
900	600	630	800	460	2400
1000	800	820	1000	320	1650
1200	800	820	1000	640	3300

Основные параметры задвижек, вентилей, обратных и приемных клапанов по «Каталогу трубопроводной арматуры» приведены в табл 44—47

43. ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Фланцевые соединения применяют для соединения труб с арматурой, соединения арматуры между собой и установки измерительных диафрагм

Таблица 44

Основные параметры задвижек

Условное давление $P_у$ в *кгс/см²*	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Рабочее положение (см условные обозначения)	Условное обозначение	Условный проход $D_у$ в *мм*																		
					50	80	100	125	150	200	250	250/150	250/200	300	350	400	400/300	500	500/400	600	800	1000	1000/800	1200
10	Вода, пар	225	1 2 3	30ч6ор	+	+	+	+	+	+	+	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
			1 4* 5*	30ч906бр	—	—	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—
			любое	30ч9бр	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Вода	100	1 2 3	30ч15бр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	—	—	—	—
			1 4 5	30ч315ор	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
			1 2 6	30ч515бр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—
			1	30ч915бр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+	—	—	+
		120		30ч930ор	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
25	Пар	450	1 2 3	30с9ст	—	—	+	—	+	—	+	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—
	Пар вода	300	1 4	30с327нж	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+	—	—	—
				30с927нж	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+	—	—	—
			1 2 3	30с64нж	—	—	+	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			1 2 6	30с564нж	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			1 4 5	30с964нж	—	—	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—
	Пар	400	1 2 3	30с72нт	—	—	+	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	—		—	—		—	—
			1 2	30с572нт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+	—	+	—	—	—	—	—
			1	30с972нт	—	—	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+	—	+	—	—		—	—

Продолжение табл. 4.4

Условное давление $P_у$ в *кгс/см²*	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Рабочее положение (см. условные обозначения)	Условное обозначение	Условный проход $D_у$ в *мм*																			
					50	80	100	125	150	200	250	250/150	250/200	300	350	400	400/300	500	500/400	600	800	1000	1000/800	1200
64	Вода, пар	300	1; 2; 3	30с66нж	—	—	—	—	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			1; 4	30с366нж	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—
	Пар	400	1; 2; 3	30с74нт	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			1	30с974нт	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Вода, пар	300	1; 2; 3	30с75нж	—	—	·	—	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			1	30с375нж	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
			1; 4	30с975нж	—	—	—	—	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			1; 2; 3	30с76нж	+	+	+	—	+	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—
				30с576нж	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{раб} \leqslant 14$		225	1; 2; 3	31с003бр	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{раб} \leqslant 13$				31с403бр	—	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{раб} \leqslant 10$				31с403бр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Условные обозначения рабочего положения

1. Задвижки устанавливают на горизонтальном трубопроводе в положении «маховиком вверх», «приводом вверх», «редуктором вверх» или «шарниром вверх» (с вертикальным расположением шпинделя).
2. Задвижки устанавливают на горизонтальном трубопроводе в положении «на ребро» (с горизонтальным расположением шпинделя).
3. Задвижки устанавливают на вертикальном трубопроводе в положении «плашмя» (с горизонтальным расположением шпинделя).
4. Задвижки устанавливают на горизонтальном трубопроводе в положении «на ребро», при этом редуктор или электропривод должен быть переставлен в положение червяком вниз.
5. Задвижки устанавливают на вертикальном трубопроводе в положении «плашмя», при этом редуктор или электропривод должен быть переставлен в положение червяком вниз.
6. Задвижки устанавливают на вертикальном трубопроводе в положении «плашмя», при соответствующей перестановке редуктора.

Примечания: 1. Рабочие положения задвижек 30ч906бр, отмеченные звездочкой, относятся только к задвижкам $D_у \geqslant 200$ *мм*.

2. Задвижки с уплотнительной поверхностью из латуни или бронзы 30с327бр, 30с927бр, 30с645бр, 30с564бр, 30с964бр, 30с755бр, 30с375бр, 30с975бр, 30с76бр, 30с576бр применяют при температуре теплоносителя не более 225°С вместо этих же задвижек, указанных в таблице с уплотнительной поверхностью из нержавеющей стали (нж).

3. Задвижки с уплотнительной поверхностью из нержавеющей стали 30с72нж, 30с572нж, 30с972нж, 30с74нж, 30с974нж применяют при температуре теплоносителя не более 300°С вместо этих же задвижек, указанных в таблице с уплотнительной поверхностью из нитрированной стали (нт).

4. Задвижки с ручным приводом допускается устанавливать в любом промежуточном положении в диапазоне 90° между вертикальным положением шпинделя и положением шпинделя «на ребро». Установка задвижек с наклоном шпинделя ниже горизонтали недопустима.

Таблица 4.5

Основные параметры вентилей

Условное давление в *кгс/см²*	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Условное обозначение	Условный проход $D_у$ в *мм*											
				15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	200
16	Вода, пар	225	15кч2бр	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—
			15ч8бр	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—

Продолжение табл. 4.5

Условное давление в *кгс/см²*	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Условное обозначение	Условный проход D_y в *мм*											
				15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	200
16	Вода, пар	225	15ч96р	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
			15ч14б р	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
	Пар		15кч18б р	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
	Вода, насыщенный пар	180	15кч9э	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
			15кч19э	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
	Пар	225	15кч19б р	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
	Вода, пар		15с58б р	—	—	—	—	—	+	—	+	+	—	—	—
	Перегретый пар	425	15с58нж	—	—	—	—	—	+	—	+	+	—	—	—
25	Вода, насыщенный пар	225	15кч16б р	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
	Перегретый пар	300	15кч16нж	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
	Насыщенный пар	225	15кч916б р	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
	Перегретый пар	300	15кч916нж	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
	Вода, пар	225	15кч22б р	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—
25	Пар	300	15кч22нж	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—
	Вода, пар	225	15с22б р	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+
	Перегретый пар	425	15с22нж	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+
	Пар	450	15с26нж	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
64	Пар	400	15с27нж1	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Вентиль 15кч916 устанавливают на горизонтальном трубопроводе в вертикальном положении электроприводом вверх, остальные вентили устанавливают в любом положении.

Таблица 4.6

Основные параметры обратных поворотных клапанов

Условное давление в *кгс/см²*	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Условное обозначение	Условный проход D_y в *мм*													
				50	70	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000
10	Вода, пар	200	19ч16б р	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
		225	19ч16б р	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—	—
			19ч16б р1	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 4.6

Условное давление в кгс/см²	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Условное обозначение	Условный проход D_y в мм													
				50	70	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000
16	Вода, пар	225	19ч16бр	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
			19ч16бр1	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
25		300	19с15нж	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
	Вода		19с24нж	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+
40	Вода, пар	425	19с17нж	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	–	–

Примечание. Клапаны 19ч16бр и 19с17нж устанавливают на горизонтальном трубопроводе крышкой вверх и на вертикальном трубопроводе — диском вниз; клапан 19ч16бр1 устанавливают на горизонтальном или вертикальном трубопроводе диском вниз; клапан 19с15нж устанавливают на горизонтальном трубопроводе крышкой вверх, а клапан 19с24нж — люком вверх.

Таблица 4.7

Основные параметры обратных подъемных и приемных клапанов

Условное давление в кгс/см²	Теплоноситель	Температура теплоносителя в °С не более	Условное обозначение	Условный проход D_y в мм														
				15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	200	250	300	400
2,5	Вода	50	16ч40р	–	–	–	–	–	+	–	+	+	–	+	+	+	+	
16	Вода, пар	225	16ч1бр	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			16ч2бр	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–
			16ч3бр	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			16ч6бр	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–
			16кч11бр	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	Вода, пар	225	16кч9бр	–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
	Пар	300	16кч9нж	–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
40	Вода, пар	300	16с13нж	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–

Примечание. Клапан 16ч40р устанавливают на конце вертикального трубопровода сеткой вниз, а остальные клапаны — на горизонтальном трубопроводе крышкой вверх.

В тепловых сетях применяют гладкие уплотнительные поверхности фланцев (см. рис. 4.2, 4.3 и 4.4) и с выступом или впадиной (см. рис. 4 5) в соответствии с ГОСТ 6971—54*.

Гладкие уплотнительные поверхности фланцев на условное давление $P_y \leqslant 25$ *кгс/см²* имеют соединительный выступ f, который входит в расчетную толщину фланца b. Уплотнительные поверхности фланцев на $P_y = 40$ и 64 *кгс/см²* помимо выступа f имеют выступ f_1, величина которого дается сверх расчетной толщины b, или впадину f_2, величина которой входит в расчетную толщину b. При наличии на присоединительном фланце арматуры впадины фланец трубопровода должен приниматься с выступом, и наоборот. Фланцы арматуры изготовляют только с впадиной, если при заказе арматуры не оговорен выступ.

Для соединения с арматурой, присоединительные фланцы которой выполнены с гладкой уплотнительной поверхностью (только с соединительным выступом f) на $P_y = 40$ *кгс/см²* или с совершенно гладкой уплотнительной поверхностью (без выступа f) на $P_y = 16$, 25 и 40 *кгс/см²*, ответные фланцы трубопроводов применяют с гладкой уплотнительной поверхностью, что следует оговаривать в спецификациях. Для соединения труб с арматурой при совпадающем P_y применяют фланцы по табл. 4.8.

Крепежные материалы для фланцевых соединений применяют:

при $P_y = 2{,}5$; 6; 10; 16 и 25 *кгс/см²* — болты получистые с шестигранной головкой с основной метрической резьбой по ГОСТ 7798—62, гайки получистые шестигранные по ГОСТ 5915—62;

при $P_y = 40$ и 64 *кгс/см²* — шпильки двухсторонние с метрической резьбой с крупным шагом по ГОСТ 9066—59; гайки чистые шестигранные по ГОСТ 9064—59, шайбы чистые по ГОСТ 6959—54*.

Марки стали для фланцев и крепежных материалов приведены в табл. 4.9.

Для уплотнения фланцевых соединений применяют мягкие прокладки из паронита по ГОСТ 481—58, пропитанного машинным маслом и смазанного графитом, толщиной 1—1,5 *мм*

Для фланцевых соединений трубопроводов с фланцевой арматурой при совпадающем условном давлении трубы и арматуры составлены табл. 4.10—4.13, в которых приведен набор фланцев, крепежных материалов и прокладок в зависимости от условных проходов трубопроводов.

Таблица 48

Фланцы (рис. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5)

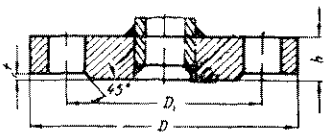


Рис 4 2 Фланец стальной плоский приварной на P_y = =2,5; 6 и 10 *кгс/см²*

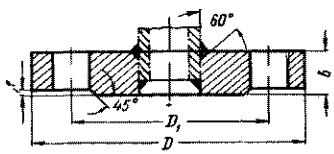


Рис 4.3 Фланец стальной плоский приварной на P_y = =16 и 25 *кгс/см²*

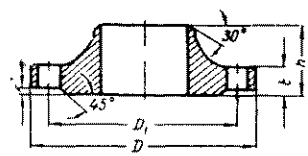


Рис. 4 4 Фланец стальной приварной в стык на P_y = =2,5; 6; 10; 16 и 25 *кгс/см²*

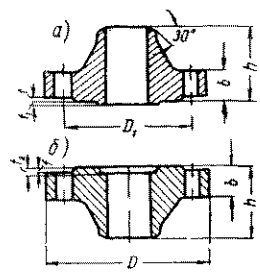


Рис. 4 5 Фланец стальной приварной в стык на P_y = 40 и 64 *кгс/см²*

а — с выступом, *б* — с впадиной

Тип и ГОСТ фланца	Температура теплоносителя в °С	Условный проход D_y в *мм* при условном давлении P_y в *кгс/см²*						
		2,5	6	10	16	25	40	64
Фланцы стальные плоские приварные по ГОСТ 1255—54*	До 300	От 15 до 1200	От 15 до 1000	От 15 до 600	От 15 до 600	От 15 до 500	—	—
Фланцы стальные приварные в стык по ГОСТ 1260—54*	„ 425	От 15 до 1200	От 15 до 1200	От 15 до 1200	От 15 до 1200	От 15 до 800	—	—
То же, с выступом или впадиной	„ 425	—	—	—	—	—	От 15 до 500	От 15 до 400

Примечание. Фланцы по ГОСТ 1260—54* на условные проходы, для которых имеются фланцы по ГОСТ 1255—54*, при температуре теплоносителя до 300°С применяют в том случае, когда толщина стенки труб для приварки плоских фланцев больше толщины стенок основного трубопровода.

Таблица 4.9

Марки стали, применяемые для фланцевых соединений труб

Наименование детали	Условное давление P_y в кгс/см²	Температура теплоносителя в °С, до			
		300	350	400	425
Фланцы стальные плоские приварные	2,5; 6; 10; 16; 25	Ст. 3; Ст. 4; МСт. 3 и МСт. 4	—	—	—
Фланцы стальные приварные в стык	2,5; 6, 10; 16; 25	МСт. 3; МСт. 4; Ст. 3 и Ст. 4	20 и 25		
	40; 64	20 и 25			
Заглушки фланцевые плоские стальные	2,5; 6; 10; 16; 25	Ст. 3 и Ст. 4	20 и 25		
	40; 64	20 и 25			

Продолжение табл. 4.9

Наименование детали	Условное давление P_y в кгс/см²	Температура теплоносителя в °С, до			
		300	350	400	425
Болты получистые с шестигранной головкой	2,5; 6; 10; 16; 25	Ст. 3*; Ст. 4 и Ст. 5		25 и 35	
Шпильки двухсторонние	40, 64			35 и 40	
Гайки чистые шестигранные	2,5; 6; 10; 16, 25	Ст. 3 и Ст. 4		20 и 25	
	40; 64	25 и 30			
Шайбы чистые	40, 64	Ст. 3; 20			

Примечания: 1. Сталь марок МСт.3, МСт.4, Ст.3, Ст.4 и Ст.5 — по ГОСТ 380—60; 20, 25 и 35 — по ГОСТ 1050—60.
2. Звездочкой обозначена марка стали болтов для фланцев по ГОСТ 1255—54*.

Таблица 4.10

Фланцевые соединения на P_y = 10 кгс/см²

D_y трубы в мм	Фланцы: наружный диаметр D в мм	Фланцы: диаметр болтовой окружности D_1 в мм	Фланцы: толщина b в мм	Фланцы: вес одного фланца в кг	Фланцы: ГОСТ	Крепежные детали: резьба	Болты по ГОСТ 7798—62: длина в мм, болта	Болты по ГОСТ 7798—62: длина в мм, резьбы	Болты по ГОСТ 7798—62: количество в шт.	Болты по ГОСТ 7798—62: вес в кг, одного болта	Болты по ГОСТ 7798—62: вес в кг, суммарный	Гайки по ГОСТ 5915—62: количество в шт.	Гайки по ГОСТ 5915—62: вес в кг, одной гайки	Гайки по ГОСТ 5915—62: вес в кг, суммарный	Прокладки паронитовые: наружный диаметр, в мм	Прокладки паронитовые: внутренний диаметр, в мм	Прокладки паронитовые: вес одной прокладки в кг
15	95	65	12	0,511	1255—54*	M12	40	30	4	0,051	0,204	4	0,0172	0,0688	45	18	0,004
20	105	75		0,748			40			0,051	0,204				57	27	0,006
25	115	85	14	0,89			45			0,055	0,22		0,0172	0,0688	65	33	0,007
32	135	100	16	1,40		M16	50	38		0,11	0,44		0,0335	0,134	75	40	0,01
40	145	110	18	1,71			55			0,117	0,468				87	49	0,012
50	160	125	18	2,09											102	57	0,017
70	180	145	20	2,84			60			0,125	0,5				120	80	0,019
80	195	160	20	3,24											138	89	0,026
100	215	180	22	4,01			65		8	0,133	1,064	8	0,0335	0,268	158	108	0,031
125	245	210	24	5,40			70			0,141	1,128				188	133	0,042
150	280	240	24	6,12		M20	75	46		0,249	1,992		1,0645	0,516	212	159	0,047
175	310	270	24	7,44											242	177	0,052
200	335	295	24	8,24											268	220	0,059

Продолжение табл. 4.10

D_y трубы в *мм*	Фланцы: наружный диаметр D в *мм*	Фланцы: диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	Фланцы: толщина b в *мм*	Фланцы: вес одного фланца в *кг*	Фланцы: ГОСТ	Крепежные детали: резьба	Болты по ГОСТ 7798—62: длина в *мм*: болта	Болты: длина резьбы	Болты: количество в шт.	Болты: вес в *кг*: одного болта	Болты: вес в *кг*: суммарный	Гайки по ГОСТ 5915—62: количество в шт.	Гайки: вес в *кг*: одной гайки	Гайки: вес в *кг*: суммарный	Прокладки паронитовые: наружный диаметр (в *мм*)	Прокладки: внутренний диаметр (в *мм*)	Прокладки: вес одной прокладки в *кг*
250	390	350	26	10,7	1255—54*	M20	75	46	12	0,249	2,99	12	0,0645	0,775	320	270	0,071
300	440	400	28	12,9			80			0,261	3,13				365	325	0,073
350	500	460	28	15,9					16	0,261	4 17	16	0,0645	1,03	420	378	0,112
400	565	515	30	21,8		M22	85	50		0,323	5,18		0,0731	1,17	482	426	0,13
450	615	565	30	24,4					20	0,323	6,46	20	0,0731	1,462	532	477	0,137
500	670	620	32	27,7			90			0,338	6,76				585	530	0,162
600	780	725	36	39,4		M27	100	60		0,609	12,2		0,166	3,32	685	630	0,188
700	895	840	30	69,5	1260—54*				24	0,609	14,6	24	0,166	3,98	800	692	0,4
800	1010	950	32	93,95		M30	110	66		0 834	20		0,231	5,55	905	792	0,475
900	1110	1050	34	111,9			115		28	0,861	24,2	28	0,231	6,48	1005	892	0,525
1000	1220	1160	34	133,6			120			0,889	24,9				1115	992	0,625

Таблица 4.11

Фланцевые соединения на $P_y = 16$ *кгс/см²*

D_y трубы в *мм*	Фланцы: наружный диаметр D в *мм*	Фланцы: диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	Фланцы: толщина b в *мм*	Фланцы: вес одного фланца в *кг*	Фланцы: ГОСТ	Крепежные детали: резьба	Болты по ГОСТ 7798—62: длина в *мм*: болта	Болты: длина резьбы	Болты: количество в шт.	Болты: вес в *кг*: одного болта	Болты: вес в *кг*: суммарный	Гайки по ГОСТ 5915—62: количество в шт.	Гайки: вес в *кг*: одной гайки	Гайки: вес в *кг*: суммарный	Прокладки паронитовые: наружный диаметр (в *мм*)	Прокладки: внутренний диаметр (в *мм*)	Прокладки: вес одной прокладки в *кг*
15	95	65	14	0,711	1255—54*	M12	45	30	4	0,055	0,22	4	0,0172	0,0688	45	18	0,004
20	105	75		0,867			45			0,055	0,22				57	27	0,006
25	115	85	18	1,174			50			0,059	0,238		0,0172	0,0688	65	33	0,007
32	135	100	18	1.6		M16	55	38		0,117	0,468		0,0335	0,134	75	40	0,01
40	145	110	20	2			60			0,125	0,5				87	49	0,012
50	160	125	22	2,61			65			0,133	0,532				102	57	0,017
70	180	145	24	3,45											120	80	0,019

Продолжение табл. 4 11

D_y трубы в *мм*	Фланцы					Крепежные детали на одно соединение								Прокладки паронитовые		
	наружный диаметр D в *мм*	диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	толщина b в *мм*	вес одного фланца в *кг*	ГОСТ	резьба	болты по ГОСТ 7798—62: длина в *мм* — болта	болты по ГОСТ 7798—62: длина в *мм* — резьбы	болты по ГОСТ 7798—62: количество в шт.	болты по ГОСТ 7798—62: вес в *кг* — одного болта	болты по ГОСТ 7798—62: вес в *кг* — суммарный	гайки по ГОСТ 5915—62: количество в шт	гайки по ГОСТ 5915—62: вес в *кг* — одной гайки	гайки по ГОСТ 5915—62: вес в *кг* — суммарный	наружный диаметр (в *мм*)	внутренний диаметр (в *мм*)	вес одной прокладки в *кг*
80	195	160	24	3,71	1255 –54*	M16	65	38	8	0,133	1,064	8	0,0335	0,268	138	89	0,026
100	215	180	26	4,8			70			0,141	1,128				158	108	0,031
125	245	210	28	6,47			75			0,149	1,19				188	133	0,042
150	280	240	28	7,92		M20	80	46		0,261	2,088		0,0645	0,516	212	159	0,047
175	310	270	28	8,81						0,261	2,088				242	194	0,052
200	335	295	30	10,1			85		12	0,273	3,28	12	0,0645	0,774	268	220	0,059
250	405	355	32	15,7		M22	90	50		0,338	4,17		0,0731	0,876	320	270	0,071
300	460	410	32	18,1											378	325	0,096
350	520	470	34	23,3			95		16	0,352	5,63	16	0,0731	1,17	420	378	0,112
400	580	525	38	31		M27	110	60		0,65	10,4		0,166	2,66	482	426	0,13
450	640	585	42	40,2			120		20	0,625	13,9	20	0,166	3,32	550	477	0,186
500	705	650	48	55,1		M30	130	66		0,944	18,9		0,231	4 62	610	530	0,233
600	840	770	50	80,3			140	78		1 508	30,2		0,383	7,66	720	630	0,304
700	910	840	48	102,3	1260– 54*	M36			24	1,508	36,2	24	0,383	9,2	790	692	0,363
800	1020	950	50	125,4											900	792	0,455
900	1120	1050	52	150,6			150		28	1,587	44,5	28	0,383	10.7	1000	892	0,51
1000	1255	1170	54	207,3		M42	160	96		2,369	66,5		0,617	17,2	1110	992	0,62

В тех случаях, когда условные давления арматуры и трубопроводов не совпадают (при отсутствии соответствующей арматуры), можно применять фланцы на меньшее условное давление, но с теми же присоединительными размерами Возможность такой замены при различных условных давлениях и проходах трубопроводов отражена в табл 4.14

Таблица 4.12

Фланцевые соединения на $P_y = 25$ кгс/см²

D_y трубы в мм	Фланцы: наружный диаметр D в мм	Фланцы: диаметр болтовой окружности D_1 в мм	Фланцы: толщина b в мм	Фланцы: вес одного фланца в кг	Фланцы: ГОСТ	Крепежные детали: резьба	Болты по ГОСТ 7798—72: длина в мм — болта	Болты по ГОСТ 7798—72: длина в мм — резьбы	Болты по ГОСТ 7798—72: количество в шт.	Болты по ГОСТ 7798—72: вес в кг — одного болта	Болты по ГОСТ 7798—72: вес в кг — суммарный	Гайки по ГОСТ 5915—62: количество в шт.	Гайки по ГОСТ 5915—62: вес в кг — одной гайки	Гайки по ГОСТ 5915—62: вес в кг — суммарный	Прокладки паронитовые: наружный диаметр (в мм)	Прокладки паронитовые: внутренний диаметр (в мм)	Прокладки паронитовые: вес одной прокладки в кг
15	95	65	16	0,804	1255—54*	M12	45	30	4	0,055	0,22	4	0,0172	0,0688	45	18	0,004
20	105	75		0,985			45			0,055	0,22				57	27	0,006
25	115	85	18	1,174			50			0,058	0,232		0,0172	0,0688	65	33	0,007
32	135	100	20	1,96		M16	60	38		0,125	0,5		0,0335	0,164	75	40	0,01
40	145	110	22	2,6			65			0,133	0,532				87	49	0,012
50	160	125	24	2,71											102	57	0,017
70	180	145	24	3,22					8	0,133	1,064	8	0,0335	0,268	120	80	0,019
80	195	160	26	4,06			70			0,141	1,128				138	89	0,026
100	230	190	28	6		M20	80	46		0,261	2,088		0,0645	0,516	158	108	0,031
125	270	220	30	8,26		M22	85			0,323	2,584		0,0731	0,585	188	133	0,042
150	300	250	30	10,4											212	159	0,047
175	330	280	32	11,9			90	50	12	0,338	4,17	12	0,0731	0,876	248	194	0,056
200	360	310	32	14,5			95			0,352	4,22				278	220	0,072
250	425	370	34	18,9		M27	100	60		0,609	7,3		0,166	1,99	335	270	0,094
300	485	430	36	26,8			110		16	0,65	10,41	16	0,166	2,66	390	320	0,117
350	550	490	42	34,35		M30	120	66		0,887	14,2		0,231	3,7	450	370	0,153
400	610	550	44	44,9											505	426	0,183
450	660	600	48	51,92			130		20	0,944	18,44	20	0,231	4,62	550	477	0,186
500	730	660	52	67,3		M36	140	78		1,508	30,16		0,383	7,66	610	530	0,233
600	840	770	54	125,6	1260—54*		150			1,587	31,74				830	630	0,75
700	955	875	58	170,8		M42	170	96	24	2,477	29,3	24	0,617	14,8	935	692	0,955
800	1070	990	60	228,7											1050	792	1,15

Таблица 4.13

Фланцевые соединения на $P_y = 40$ кгс/см²

D_y трубы в мм	Фланцы А и Б по ГОСТ 1260—54*					Крепежные детали на одно соединение										Прокладки паронитовые		
	наружный диаметр D в мм	диаметр болтовой окружности D_1 в мм	толщина b в мм	вес одного фланца в кг		резьба	шпильки по ГОСТ 9066—59				гайки по ГОСТ 9064—59			шайбы по ГОСТ 6958—54*			наружный диаметр	внутренний диаметр	вес одной прокладки в кг
				с выступом (фланец А)	с впадиной (фланец Б)		длина в мм		количество в шт.	вес в кг		количество в шт.	вес в кг		количество в шт.	вес в кг		в мм		
							шпильки	резьбы		одной шпильки	суммарный		одной гайки	суммарный		одной шайбы	суммарный			
15	95	65	16	0,807	0,739	М12	70	25	4	0,055	0,22	8	0,019	0,152	8	0,006	0,048	39	14	0,003
20	105	75		1,02	0,919													50	20	0,005
25	115	85	16	1,24	1,11		70	25		0,055	0,22		0,019	0,152		0,006	0,024	57	27	0,006
32	135	100	18	1,92	1,76	М16	90	32		0,126	0,504		0,039	0,312		0,014	0,112	65	33	0,007
40	145	110	18	2,21	2													75	40	0,01
50	160	125	20	2,92	2,68													87	49	0,012
70	180	145	22	3,94	3,59		100	32		0,142	1,136		0,039	0,624		0,014	0,224	109	68	0,017
80	195	160	24	5,02	4,64													120	80	0,019
100	230	190	26	7,56	6,97	М20	110	40	8	0,241	1,928	16	0,077	1,232	16	0,024	0,384	149	97	0,03
125	270	220	28	10,3	9,48	М22	120	45		0,321	2,568		0,093	1 488		0,03	0,48	175	123	0,037
150	300	250	30	13,5	12,6		130	45		0,35	2,8							203	148	0,046
175	350	295	36	21,4	20,2	М27	150	55	12	0,603	7,236	24	0,194	4,656	24	0,052	1,248	233	174	0,058
200	375	320	38	25	23,6													259	204	0,06
250	445	385	42	36,7	35		170	60		0,845	10,14		0,277	6,648			1,752	312	250	0,089
300	510	450	46	52,3	50	М30	180	60	16	0,901	14,416	32	0,277	8,864	32	0,073	2,336	363	300	0,097
350	570	510	52	66,3	64,1		190	60		0,956	15,296							421	350	0,131
400	655	585	58	105,4	102	М36	220	70		1,603	25,648		0,446	14,272		0,129	4,128	473	395	0,16

Таблица 4.14

Таблица взаимозаменяемости фланцев на разные условные давления по ГОСТ 1234-54*

Условный проход D_y в *мм*	Фланцы для P_y в *кгс/см²*					
	6	10	16	25	40	64
	Заменяющие фланцы для P_y в *кгс/см²*					
15	2,5	—	10	16, 10	25, 16, 10	—
20						
25						
32						
40						
50						
70			10	—	25	
80			—	16	25,16	
100			10	—	25,16	
125			10	—	25	
150			10	—	25	
200			—	—	—	
250			—	—	—	
300			—	—	—	
350			—	—	—	
400			—	—	—	
500			—	—	—	
600			—	16	—	
800			—	—	—	
1000			—	—	—	
1200			—	—	—	

4.4. ЗАГЛУШКИ

Для трубопроводов тепловых сетей применяют три типа заглушек по ГОСТ 6973—59:

тип I — на условное давление P_y =2,5; 6; 10; 16 и 25 *кгс/см²* с гладкой уплотнительной поверхностью;

типы II и III — на условное давление P_y=40 и 64 *кгс/см²*, заглушки типа II имеют уплотнительную поверхность с выступом, а тип III — с впадиной.

Характеристика заглушек приведена в табл. 4 15

Крепежные материалы и прокладки для фланцевых соединений с заглушками принимают в соответствии с табл 4 10—4.13. Марки стали для заглушек в зависимости от условных давлений и проходов даны в табл. 4 19.

4.5. САЛЬНИКОВЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

В тепловых сетях применяют стальные сальниковые компенсаторы на условное давление P_y до 16 *кгс/см²*, односторонние (рис. 4 6) и двухсторонние (рис. 4.7).

Основные размеры, вес и наибольшая компенсирующая способность этих компенсаторов даны в табл. 4.16 и 4.17.

Расчетную компенсирующую способность сальниковых компенсаторов принимают меньше указанной (см табл. 4.16—4.17) на величину *z*, которая учитывает не-

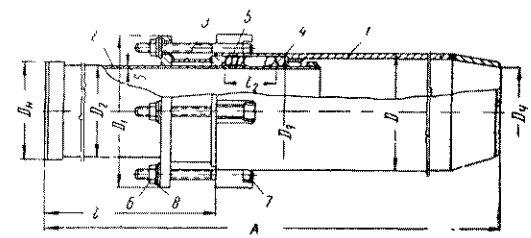


Рис. 4.6. Компенсатор сальниковый односторонний

1 — корпус; *2* — патрубок с кольцом; *3* — грундбукса; *4* — контрбукса, *5* — набивка; *6* — гайка; *7* — болт, *8* — шайба

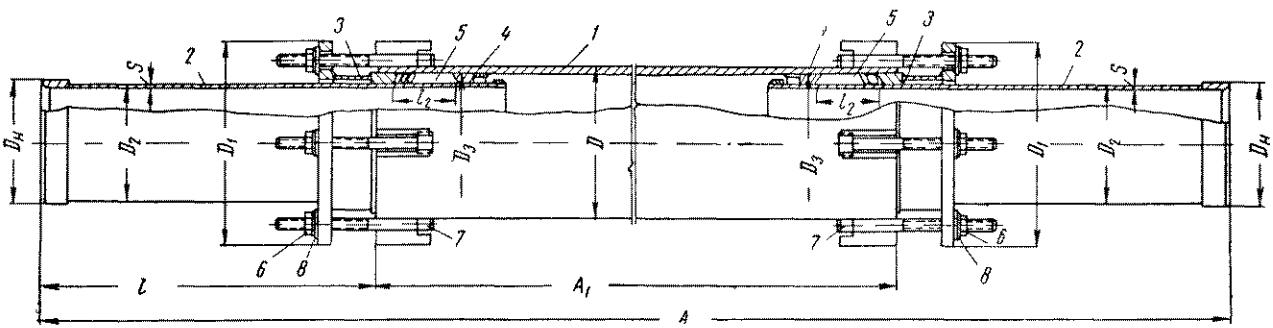


Рис. 4.7. Компенсатор сальниковый двухсторонний

1 — корпус; *2* — патрубок с кольцом; *3* — грундбукса; *4* — контрбукса, *5* — набивка; *6* — гайка; *7* — болт; *8* — шайба

достаточную точность изготовления компенсаторов и возможную податливость неподвижных опор

При определении габаритов камер учитывают установочную длину сальниковых компенсаторов $L_{уст}$, определяемую по формуле

$$L_{уст} = A - z \text{ мм}, \qquad (4.1)$$

где A — длина компенсатора в *мм* (см. табл. 4.16 и 4.17);

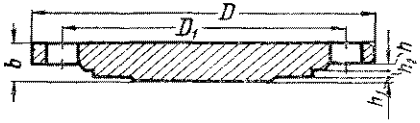
z — неиспользуемая компенсирующая способность в *мм*; принимают по табл. 4.18.

Значение величины $L_{уст}$ принимают по табл. 4 19.

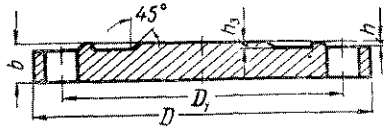
При неполном использовании компенсирующей спо-

Заглушки фланцевые плоские стальные на P_y до 64 *кгс/см²* (по ГОСТ 6973—59)

Тип I



Тип II



Тип III

D_y трубы в *мм*	P_y = 10 *кгс/см²*				P_y = 16 *кгс/см²*				P_y = 25 *кгс/см²*				P_y = 40 *кгс/см²*					P_y = 64 *кгс/см²*				
	наружный диаметр D в *мм*	диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	толщина b в *мм*	вес в *кг*	наружный диаметр D в *мм*	диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	толщина b в *мм*	вес в *кг*	наружный диаметр D в *мм*	диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	толщина b в *мм*	вес в *кг*	наружный диаметр D в *мм*	диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	толщина b в *мм*	вес в *кг* тип II	вес в *кг* тип III	наружный диаметр D в *мм*	диаметр болтовой окружности D_1 в *мм*	толщина b в *мм*	вес в *кг* тип II	вес в *кг* тип III
15	95	65	12	0,53	95	65	12	0,53	95	65	12	0,53	95	65	16	0,57	0,7	105	75	18	0,77	0,95
20	105	75		0,67	105	75		0,67	105	75		0,67	105	75		0,74	0,87	125	90	20	1,35	1,6
25	115	85	12	0,8	115	85	12	0,8	115	85	12	0,8	115	85	16	0,9	1,07	135	100	22	1,82	2,08
32	135	100		1,12	135	100		1,12	135	100		1,12	135	100		1,22	1,45	150	110		2,25	2,26
40	145	110	14	1,5	145	110	14	1,5	145	110	14	1,5	145	110		1,37	1,61	165	125	24	2,94	3,31
50	160	125		1,85	160	125		1,85	160	125		1,85	160	125	18	2,03	2,3	175	135	26	3,74	4,12
70	180	145		2,4	180	145		2,4	180	145	16	2,68	180	145	20	2,85	3,2	200	160	28	5,25	5,63
80	195	160		2,8	195	160		2,8	195	160	18	3,64	195	160	22	3,83	4,35	210	170	30	6,38	6,75
100	215	180		3,4	215	180		3,38	230	190	20	5,6	230	190	24	6,03	6,39	250	200	32	10,1	10,4
125	245	210	16	5,3	245	210	16	5,3	270	220	22	8,6	270	220	28	10	10,6	295	240	36	15,7	16,5
150	280	240		6,8	280	240	18	7,85	300	250	24	11,9	300	250	30	13,8	14,4	340	280	40	23,4	24,5
175	310	270		8,47	310	270		9,6	360	280	26	15,5	350	295	34	21,1	22	370	310	46	32,6	33,3
200	335	295		10	335	295	20	12,8	360	310		18,7	375	320	38	27,9	28,8	405	345	50	42,9	44,4
250	390	350	18	15,7	405	355	24	22	425	310	30	30,4	445	385	44	46,4	47,8	470	400	58	67,7	69,3
300	440	400	20	22	460	410	28	34	485	430	34	44,7	510	450	48	66,3	68	530	460	62	91 7	93,8
350	500	460	24	34	520	470	32	49,8	550	490	38	64,6	570	510	50	88,1	90,3	595	525	64	121,9	124,6
400	565	515	26	47,7	580	525	34	65,5	610	550	40	84,8	655	585	56	131	134	670	585	68	163,6	167,2
450	615	565	28	61,5	640	585	38	90,6	660	600	42	104,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	670	620	30	78,5	705	650	40	114,5	730	660	48	144,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	780	725	34	120	840	770	46	186	840	770	50	202,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
700	895	840	40	188,2	910	840	50	238	955	875	62	321,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	1010	950	42	252	1020	950	52	315	1070	990	64	423,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	1110	1050	46	335	1120	1050	56	410	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	1220	1160	50	442	1255	1170	64	587	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4 16

Компенсаторы сальниковые по МН 2593-61

Условный проход сальникового компенсатора D_y в *мм* (шифр МН)	Размеры в *мм*								Площадь патрубка по наружному диаметру $F_{сн}$ в $см^2$	Набивка-шнур марки АПР или АН ГОСТ 5152—55				Болты		Общий вес в *кг*	Наибольшая компенсируемая способность в *мм*
	$D_н$	A	l	D_1	D	D_3	D_2	S		диаметр или сторона квадрата в *мм*	количество колец в шт	l_1 в *мм*	площадь поперечного сечения $f_н$ в $см^2$	диаметр	количество n в шт.		
100	108	820	375	190	133	124	104	3	85	10	8—10	65	35,8	M16	3	20,5	250
125	133	835		215	159	150	128		129				48,2			25,4	
150	159	990	435	250	194	182	154	3,5	186	13		85	73,9		4	43,8	300
175	194	965		280	219	208	188		278	10	10—12		62,2			49,9	
200	219	1160	490	345	273	250	212	4	353	25	8—10	130	177,9	M20		92	
250	273	1150		395	325	310	265	4,5	552	22			203,2		6	125,9	
300	325	1170		450	377	358	318	5	794	19			212,4			158	
350	377	1175		500	426	405	370	6	1075				213			167	
400	426	1360	590	560	478	456	418	7	1372				260	M24	8	212	400
450	478	1360		610	529	505	470	8	1735				268			243	
500	529	1370		675	578	570	520		2124	25		140	428		10	333	
600	630	1375		780	680	672	622	9	3039				508		10	400	
700	720	1380		875	774	762	712	10	3982				578		12	479	
800	820	1385		980	874	862	812	11	5178				658	M27		600	
900	920	1385		1085	974	962	912	12	6533				735		14	687	
1000	1020	1390		1185	1078	1062	1012		8044				808			790	

Примечания. 1. Допускается изготовление корпуса компенсаторов D_y = 950 — 1000 *мм* из одной обечайки.

2. Размеры A и l даны при полностью выдвинутом патрубке компенсатора.

3. Все детали компенсаторов, кроме болтов, изготовляют из стали марки Ст. 3 по ГОСТ 380—60, болты изготовляют из стали Ст. 5 по ГОСТ 380—60.

4. Два-три передних или средних кольца сальниковой набивки со стороны грундбуксы выполняют из термостойкой резины того же поперечного сечения, что и асбестовые кольца. В водяных тепловых сетях применяют термостойкую резину по ГОСТ 7338—55.

Таблица 4.17

Компенсаторы сальниковые двухсторонние по МН 2598-61

Условный проход сальникового компенсатора D_y в *мм* (шифр по МН)	Размеры в *мм*		Общий вес (при A_1) в *кг*	Наибольшая компенсирующая способность в *мм*
	A	A		
100	1620	870	40,92	2×250
125			42,93	
150	1900	1030	86,43	2×300
175			100	
200	2160	1180	177	
250			243	
300			305	
350			318	
400	2560	1380	406	2×400
450			468	
500	2620	1440	651	
600			784	
700			939	
800			1169	
900			1339	
1000			1528	

Примечания: 1. Остальные размеры принимают по табл. 4.16, при этом количество колец набивки и количество болтов удваиваются.

2. Если по условиям компоновки необходимо ответвление трубопровода от корпуса компенсатора, допускается увеличение длины корпуса A_1 на величину, равную наружному диаметру ответвляемого трубопровода.

3. Размер A дан при полностью выдвинутом патрубке компенсатора.

4. Материал — см. примечания 3 и 4 к табл. 4.16.

Таблица 4.18

Значение величины z

Условный проход сальникового компенсатора D_y в *мм*	Значение z в *мм*	
	односторонний сальниковый компенсатор	двухсторонний сальниковый компенсатор
100, 125	20	40
150—350	30	60
400—1000	40	80

собности величину $L_{уст}$ принимают уменьшенной и определяют по формуле

$$L_{уст} = A - z - (a_{расч} - \Delta l)\ м. \qquad (4.2)$$

где $a_{расч}$ — расчетная компенсирующая способность компенсатора в *мм* (см. табл. 4.19);

Δl — полное тепловое удлинение рассчитываемого участка трубопровода в *мм*.

Полное тепловое удлинение определяют по формуле

$$\Delta l = \alpha L (t - t_{н.о})\ мм, \qquad (4.3)$$

где α — коэффициент линейного расширения трубной стали в *мм/м*°С;

L — расстояние между неподвижными опорами в *м*;

t — расчетная температура теплоносителя в °С;

$t_{н.о}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С.

Монтажная длина сальникового компенсатора $L_{монт}$ учитывает температуру наружного воздуха при монтаже трубопроводов и определяется по формуле

$$L_{монт} = L_{уст} - 0{,}012 (t_м - t_{н.о})\ L, \qquad (4.4)$$

где $t_м$ — температура наружного воздуха, при которой ведется монтаж трубопровода в °С.

Таблица 4.19

Установочная длина и расчетная компенсирующая способность сальниковых компенсаторов

Условный проход сальникового компенсатора D_y в *мм*	Установочная длина сальникового компенсатора $L_{уст}$ в *мм*		Расчетная компенсирующая способность сальникового компенсатора $a_{расч}$ в *мм*	
	одностороннего	двухстороннего	одностороннего	двухстороннего
100	800	1580	230	460
125	815			
150	960	1840	270	540
175	935			
200	1130	2100		
250	1120			
300	1140			
350	1145			
400	1320	2480	360	720
450	1320			
500	1330	2540		
600	1335			
700	1340			
800	1345			
900	1345			
1000	1350			

Примечание. В таблице дана установочная длина сальниковых компенсаторов при полном использовании расчетной компенсирующей способности.

4.6. ВОЛНИСТЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

Институтом Гипронефтемаш разработаны волнистые компенсаторы: универсальные шарнирного типа (рис. 4.8) и осевые. Компенсаторы изготавливаются для труб условным проходом $D_y = 150 \div 400$ *мм* на давление $P_y = 16$ и 25 *кгс/см²* при температуре теплоносителя до 450° С.

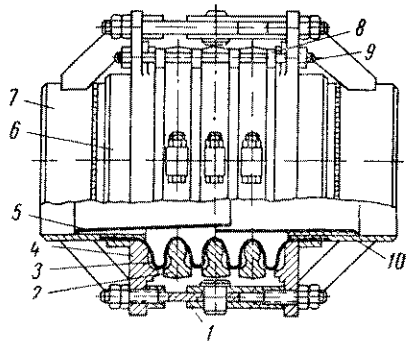


Рис. 4 8. Компенсатор волнистый универсальный шарнирного типа

1 — шарнир; *2* — полукольцо ограничительное; *3* — гибкий элемент; *4* — кольцо опорное; *5* — обечайка коническая; *6* — кольцо бандажное; *7* — патрубок; *8* — проставка; *9* — шпилька; *10* — обечайка цилиндрическая

Компенсаторы шарнирного типа встраиваются в трубопроводы различной конфигурации и обеспечивают компенсацию значительных тепловых удлинений, работая на изгиб в одной плоскости вокруг осей своих шарниров. Пример размещения шарнирных компенсаторов на участке *Z*-образной конфигурации показан на рис. 4 9. В табл. 4.20 приведены наибольшие односторонние углы изгиба универсальных компенсаторов шарнирного типа, а в табл. 4 21 компенсирующая способность Z-образной схемы в зависимости от расстояния между осями шарниров и числа волн у компенсатора.

Таблица 4.20

Наибольшие односторонние углы изгиба универсальных компенсаторов при $P_y = 25$ *кгс/см²*

Условный проход компенсатора D_y в *мм*	Наибольшие односторонние углы изгиба α_1 при числе волн		
	1	3	6
150	2°20′	7°	14°
200	2°08′	6°24′	12°48′
250	2°03′	6°09′	12°18′
300	2°	6°	12°
350	1°55′	5°45′	11°15′
400	1°50′	5°30′	11°

Осевые компенсаторы, работающие на сжатие и растяжение, устанавливают на прямых участках трубопроводов. Величина компенсирующей способности одной волны в зависимости от диаметра трубопровода и параметров теплоносителя для осевых компенсаторов дана в табл. 4.22.

Для изготовления волнистых компенсаторов применяют материал гибкого элемента Х18Н9Т, материал приварных патрубков — сталь 20.

Число волн одного компенсатора от 2 до 10.

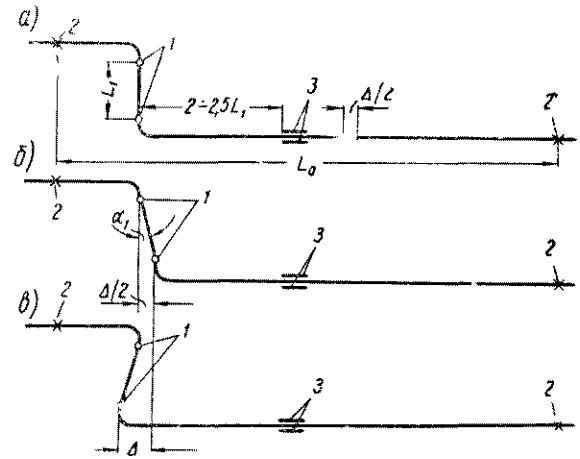


Рис. 4.9. Z-образная схема применения двух универсальных компенсаторов шарнирного типа

а — в состоянии монтажа; *б* — предварительная растяжка; *в* — в рабочем состоянии; *1* — универсальный компенсатор шарнирного типа; *2* — неподвижная опора; *3* — направляющая опора; L_1 — расстояние между осями шарниров; L_0 — расстояние между неподвижными опорами; α_1 — односторонний угол изгиба компенсатора, Δ — полная компенсирующая способность компенсатора; $\Delta/2$ — половина полной компенсирующей способности компенсатора и величина предварительной растяжки

Таблица 4.21

Компенсирующая способность *Z*-образной схемы

Количество компенсаторов в узле	Количество волн одного компенсатора	Расстояние между осями шарниров L_1 в *мм*	Полная компенсирующая способность Δ в *мм*
2	3	2	400
		4	800
		6	1200
	6	2	850
		4	1700
		6	2500

Таблица 4.22

Компенсирующая способность одной волны осевых компенсаторов в *мм*

Условный проход компенсатора D_y в *мм*	Давление условное P_y в *кгс/см²*	
	16	25
150	10	10
200	14	12
250	16	14
300	18	16
350	20	18
400	20	18

ГЛАВА 5

ДРЕНАЖНЫЕ УСТРОЙСТВА ТРУБОПРОВОДОВ

5.1. ДРЕНАЖ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Для дренажа трубопроводов водяных тепловых сетей и конденсатопроводов предусматривают установку в низших точках трубопроводов устройств для спуска воды (спускников), а в высших точках — устройств для выпуска воздуха (воздушников) (рис. 5.1 и 5.2).

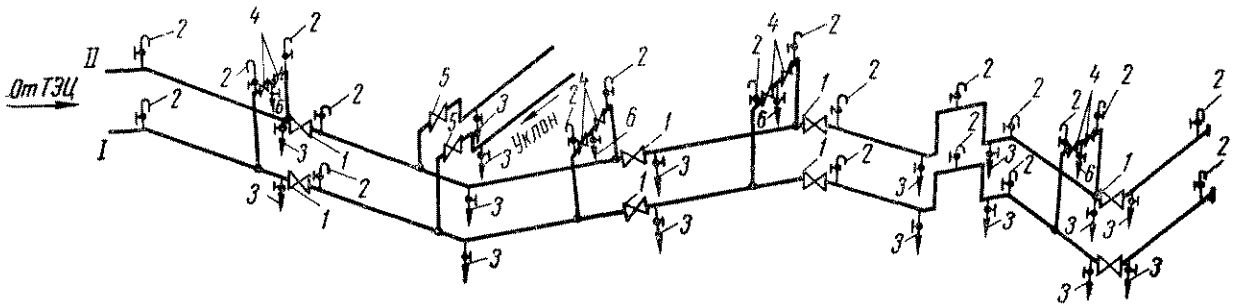


Рис. 5.1 Примерная схема расстановки спускников и воздушников на трубопроводах водяных тепловых сетей

I — подающий трубопровод; *II* — обратный трубопровод; *1* — секционирующие задвижки; *2* — воздушники; *3* — спускники; *4* — запорная арматура на перемычке; *5* — запорная арматура на ответвлении; *6* — контрольный спускник на перемычке

На ответвлениях от основных трубопроводов спускники и воздушники перед задвижкой ответвления не устанавливают; после задвижек при диаметре труб 300 *мм* и выше устанавливают либо воздушники, либо

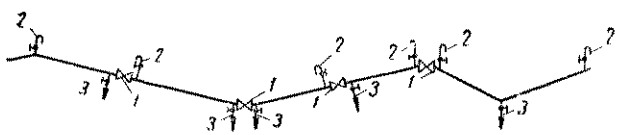


Рис. 5 2 Примерная схема расстановки спускников и воздушников на конденсатопроводах

1 — секционирующие задвижки; *2*—воздушники; *3*—спускники

спускники в зависимости от направления уклона на ответвлении. Дренаж ответвлений с меньшими диаметрами труб производят за счет разболчивания фланцевого соединения задвижки.

Если на участке имеются вертикальные подъемы трубопроводов (переходы через железную дорогу и т. п.), в нижней точке перед подъемом устанавливают спускник, а в высшей точке перехода — воздушник.

При местных изгибах трубопроводов в вертикальной плоскости высотой до 1 *м* установка воздушников необязательна. Для спускников и воздушников предусматривают врезку в трубопровод штуцера с торцом под муфтовую или фланцевую арматуру (вентиль или задвижка).

На каждом спускнике или воздушнике устанавливают вентиль или задвижку. Условные проходы штуцера и запорной арматуры принимают одинаковыми.

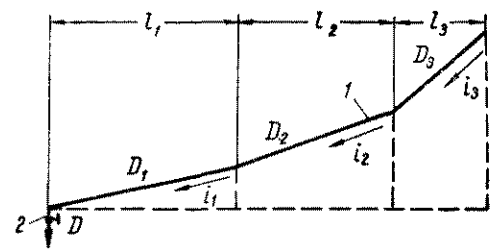


Рис. 5.3. Схема одностороннего дренирования

1 — дренируемый трубопровод, *2* — спускник; l_1, l_2 l_3 — длины дренируемых участков трубопровода диаметрами D_1, D_2 и D_3 и уклонами i_1, i_2 и i_3; D — диаметр спускника

Таблица 5.1

Диаметры штуцеров и запорной арматуры для спускников

Условный проход трубопровода $D_у$ в *мм*	До 70 вкл.	80—125	150—175	200—250	300—400	450—500	600—700	800—900	1000—1200
Условный проход штуцера и запорной арматуры $D_{у1}$ в *мм*	25	40	50	80	100	150	200	250	300

Таблица 5.2

Диаметры воздушников

Условный проход трубопровода $D_у$ в *мм*	25—80	100—150	175—300	350—450	500—700	800—1200
Условный проход воздушника $D_{у1}$ в *мм*	15	20	25	32	40	50

Диаметры спускников определяют из условия спуска воды из дренируемого участка не более чем за 5 *ч*.

При скорости воды в дренажной линии порядка 1 *м/сек* диаметр спускника при одностороннем дренировании (рис. 5.3) определяют по формуле

$$D = D_{пр} a \sqrt[4]{\frac{\Sigma l}{i_{пр}}}\, n \text{ м}, \qquad (5.1)$$

где $D_{пр}$ — приведенный диаметр дренируемого трубопровода в *м*;

Σl — общая длина дренируемого трубопровода в *м*;

$i_{пр}$ — приведенный уклон дренируемого трубопровода;

a — коэффициент, зависящий от коэффициента расхода запорной арматуры: для вентиля $a=0{,}0144$, для задвижки $a=0{,}011$;

n — коэффициент, зависящий от времени дренирования участка t

при $t=5$ *ч* $n=0{,}45$
» $t=4$ » $n=0{,}5$
» $t=3$ » $n=0{,}58$
» $t=2$ » $n=0{,}72$
» $t=1$ » $n=1$

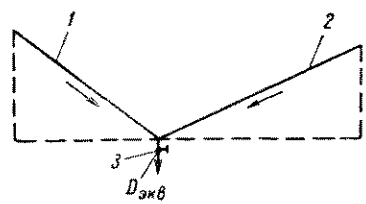


Рис. 5.4. Схема двухстороннего дренирования

1 — первый участок дренируемого трубопровода *2* — второй участок дренируемого трубопровода *3* — спускник, $D_{экв}$ — эквивалентный диаметр спускника при двухстороннем дренировании

Приведенный диаметр дренируемого трубопровода определяют по формуле

$$D_{пр} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \cdots + D_n l_n}{\Sigma l} \text{ м}. \qquad (5.2)$$

Приведенный уклон дренируемого трубопровода определяют по формуле

$$i_{пр} = \frac{i_1 l_1 + i_2 l_2 + \cdots + i_n l_n}{\Sigma l}. \qquad (5.3)$$

В формулах (5.2) и (5.3): l_1, l_2, ..., l_n — длины дренируемых участков трубопроводов в *м* диаметрами D_1, D_2, ..., D_n в *м* с уклонами i_1, i_2, ..., i_n.

При двухстороннем дренировании (рис. 5.4) диаметр спускника определяют по формуле

$$D_{экв} = \sqrt{D_I^2 + D_{II}^2} \text{ м}, \qquad (5.4)$$

где D_I, D_{II} — диаметры спускников первого и второго участков трубопровода, определенные отдельно для каждого участка, как при одностороннем дренировании по формуле (5.1), в *м*.

Для облегчения расчетов по формуле (5.1) Мосэнергопроектом построена номограмма при $n=1$ (рис. 5.5).

Диаметры воздушников должны быть в 2—3 раза меньше диаметра спускника, но не меньше 15 *мм*.

Допускается принимать диаметры спускников и воздушников без специальных расчетов в зависимости от диаметра дренируемого трубопровода (табл. 5.1 и 5.2).

Необходимо дренажную арматуру располагать возможно ближе к дренируемому трубопроводу для устройства общей тепловой изоляции. Минимальная высота штуцера для присоединения фланцевой арматуры приводится в табл. 5.3, а минимальная высота штуцера из водогазопроводных труб для присоединения муфтовой арматуры — в табл. 5.4.

При надземной прокладке для того, чтобы еще больше приблизить дренажное устройство к основному трубопроводу, применяют конструкцию спускного устройства, приведенную на рис. 5.8.

При размещении спускников в камерах или узлах проходных тоннелей дренажные трубопроводы подводят к приямку в дне камеры или тоннеля отдельно для каж-

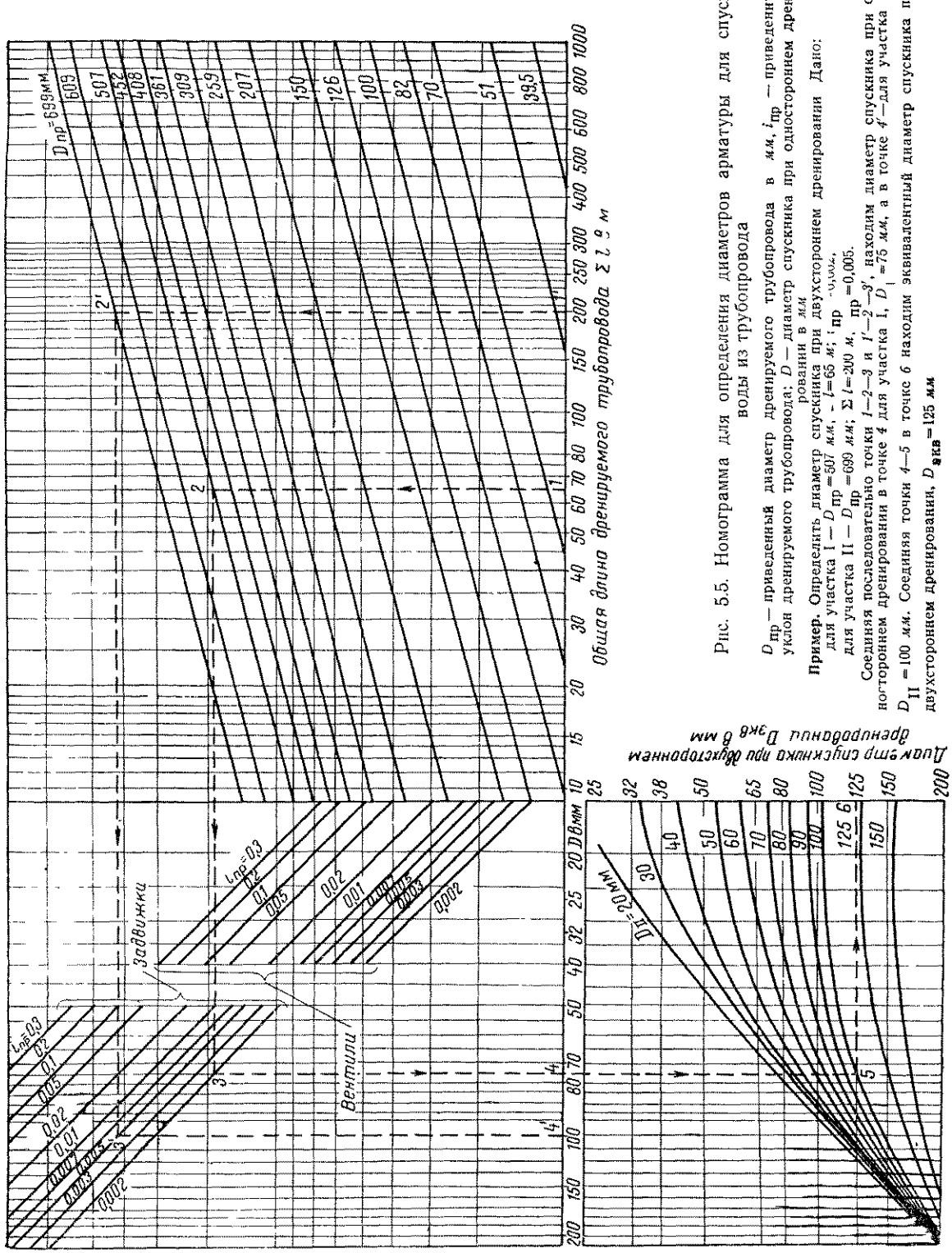


Рис. 5.5. Номограмма для определения диаметров арматуры для спуска воды из трубопровода

$D_{пр}$ — приведенный диаметр дренируемого трубопровода в *мм*, $i_{пр}$ — приведенный уклон дренируемого трубопровода; D — диаметр спускника при одностороннем дренировании в *мм*

Пример. Определить диаметр спускника при двухстороннем дренировании. Дано: для участка I — $D_{пр}=507$ *мм*, $l=65$ *м*; $i_{пр}=0{,}005$,
для участка II — $D_{пр}=699$ *мм*; $\Sigma l=200$ *м*, $i_{пр}=0{,}005$.
Соединяя последовательно точки *1—2—3* и *1'—2'—3'*, находим диаметр спускника при одностороннем дренировании в точке *4* для участка I, $D_{I}=75$ *мм*, а в точке *4'*—для участка II, $D_{II}=100$ *мм*. Соединяя точки *4—5* в точке *6* находим эквивалентный диаметр спускника при двухстороннем дренировании, $D_{экв}=125$ *мм*

Таблица 5.3

Минимальная высота штуцера для присоединения фланцевой арматуры на дренажных устройствах при $P_у \leqslant 25$ кгс/см² (рис. 5 6)

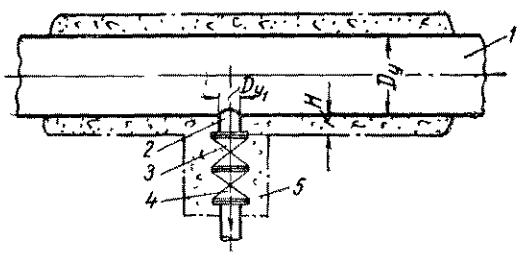


Рис 5 6 Конструкция спускников на водяных тепловых сетях и конденсатопроводах и пусковых дренажей на паропроводах (вариант I)

1—дренируемый трубопровод условным проходом D_y; *2* — штуцер, *3* — задвижка или вентиль, *4* — то же, только для пускового дренажа паропроводов при $P_{раб} > 22$ кгс/см²; *5* — изоляция

Условный проход дренажного устройства D_{y1} в мм	15	20	25	32	40	50	80	100	150	200	250	300
Минимальная высота штуцера H в мм	80	80	90	100	110	110	115	130	140	150	160	170

Таблица 54

Минимальная высота штуцера и длина резьбы для присоединения муфтовой арматуры на дренажных устройствах при $P_у \leqslant 16$ кгс/см² и $t \leqslant 225°$ С (рис. 5.7)

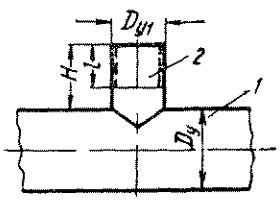


Рис. 5.7. Штуцер для присоединения муфтовой арматуры

1 — дренируемый трубопровод условным проходом D_y; *2* — штуцер

Условный проход дренажного устройства D_{y1} в мм	15	20	25	32	40	50	80
Минимальная высота штуцера H в мм	65	65	70	70	75	75	80
Длина резьбы l по ГОСТ 6357—52 в мм	14	16	18	20	22	24	30

дой трубы и не объединяют в коллекторы или в общие спускные трубы.

При откачке спускаемой из трубопроводов воды передвижными насосами целесообразно откачивать воду непосредственно из трубопроводов, для чего на открытых концевых торцах дренажных труб устанавливают соединительные головки (табл. 5.5) для присоединения к ним гибких шлангов. Соединительные головки могут применяться типа II — цапковые с наружной резьбой для ввинчивания в муфтовый вентиль или для

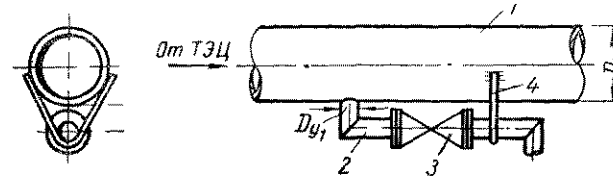


Рис 5 8 Конструкция спускников на водяных тепловых сетях и конденсатопроводах и пусковых дренажей на паропроводах при $P_{раб} \leqslant 22$ кгс/см² (вариант 2)

1 — дренируемый трубопровод условным проходом D_y *2* — дренажный трубопровод условным проходом D_{y1}, *3* — задвижка или вентиль; *4* — опора — хомут из полосовой стали

соединения с трубой при помощи муфты и типа III — муфтовые с внутренней резьбой для навертывания головки на дренажную трубу.

Таблица 5.5

Соединительные головки по ГОСТ 2217—54 (рис. 5.9)

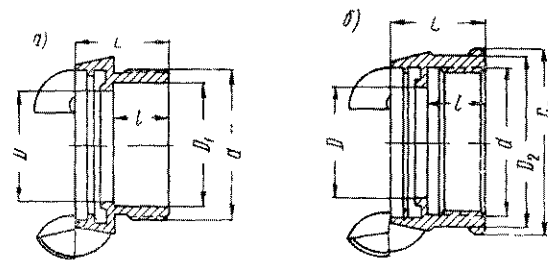


Рис. 5 9 Соединительная головка

а — тип II — цапковая; *б* — тип III — муфтовая

Условный проход D_y в мм	Размеры в мм						Трубная резьба d в дюймах	Вес в кг	
	D	D_1	D_2	D_3	L	l		тип II	тип III
25	25	25	38	42	29	16	1	0,167	0,166
40	31	38	54	58	33	20	1½	0,205	0 21
50	43	50	67	72	37	22	2	0,280	0,36
70	57	65	83	88	41	25	2½	0,469	0,52
80	69	76	96	102	45	28	3	0,622	0.722

Примечание Корпус соединительных головок изготовляют из чугуна марок кч30 6 или кч30 3 по ГОСТ 1215—59 Соединительные головки поставляют комплектно вместе с резиновыми уплотнительными кольцами по ГОСТ 6557—53.

Если дренажный трубопровод имеет диаметр больше 80 мм, соединительная головка устанавливается на специальном штуцере перед задвижкой.

При надземной прокладке на высоте более 2 м для обслуживания спускников и воздушников сооружают

постоянные лестницы и площадки. При условии обогрева дренажных труб за счет прокладки их в общей тепловой изоляции с основной трубой допускается отводить дренажную арматуру к узлу трубопроводов или опускать к земле.

5.2. ДРЕНАЖ ПАРОПРОВОДОВ

Для дренажа паропроводов предусматривают пусковые и постоянные дренажи, а также воздушники, устанавливаемые временно на пусковой период (для гидравлического испытания).

Для улучшения условий обслуживания при прогреве паропроводов, проложенных в непроходных каналах или тоннелях, дренажные трубы рекомендуется выводить за пределы камеры или тоннеля в рядом расположенный специальный колодец канализационного типа.

Для отвода конденсата от паропровода насыщенного пара во время его работы предусматривают постоянные дренажи: во всех нижних точках перед вертикальными подъемами, на прямых участках при попутном уклоне через 400—500 *м*, при встречном — через 200—300 *м*.

Таблица 5.6

Диаметры штуцеров и запорной арматуры для пускового дренажа паропроводов

Условный проход паропровода D_y в *мм*	До 70 вкл.	180—125	150—175	200—250	300—400	450—600	700—800	900—1200
Условный проход штуцера и запорной арматуры D_{y1} в *мм*	25	32	40	50	80	100	125	150

Воздушники устанавливают во всех верхних точках паропровода; пусковые дренажи на паропроводах предусматривают во всех нижних точках, перед вертикальными подъемами, на прямых участках при попутном уклоне через 400—500 *м*, при встречном уклоне — через 200—300 *м* и перед арматурой (рис. 5.10). Все отсекае-

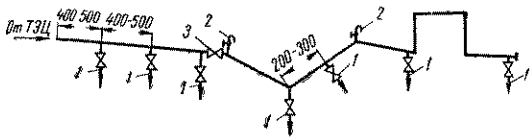


Рис. 5.10. Примерная схема расстановки пусковых дренажей и воздушников на паропроводах

1 — пусковой дренаж; *2* — воздушник; *3* — секционирующая задвижка

Таблица 5.7

Минимальная высота штуцеров H в *мм* для пусковых дренажей паропроводов (см. рис. 5.6)

Условный проход штуцера и запорной арматуры D_{y1} в *мм*	Условное давление в паропроводе P_y в *кгс/см²*			
	≤16	25	40	64
25	90	90	110	140
32	100	100	130	155
40	100	110	130	155
50	110	110	130	155
80	110	115	145	170
100	120	130	160	180
125	125	135	175	210
150	130	140	190	220

мые участки паропровода должны иметь пусковые дренажи. В точках пускового дренажа на паропроводах предусматривают врезку штуцеров с запорной арматурой. На каждом штуцере устанавливают: при давлении пара до 22 *кгс/см²* задвижку или вентиль, при давлении пара выше 22 *кгс/см²* два последовательно расположенных вентиля — запорный и регулировочный (дренажный).

Диаметр штуцера и запорной арматуры принимают в зависимости от диаметра паропровода по табл. 5.6.

В зависимости от способа изоляции паропроводов (матами или скорлупами) можно принимать конструкцию дренажей, приведенную на рис. 5.6 или 5.8. Минимальная высота штуцеров для пускового дренажа может приниматься по табл. 5.7.

Для пускового дренажа паропроводов $P_y \leqslant 25$ *кгс/см²* может применяться также незамерзающий дренажный клапан, разработанный Иркутским филиалом Гипронефтемаша (рис. 5.11). Конструкция пускового дренажа с таким клапаном приведена на рис. 5.12.

Конденсат, образующийся при прогреве паропроводов от точек пускового дренажа, выбрасывается наружу.

Постоянные дренажи на паропроводах перегретого пара, как правило, не устанавливают, однако если паропровод работает с переменным расходом пара (отключение потребителей, постепенность ввода в действие потребителей и др.), пар при некоторых режимах может перейти в состояние насыщения. В таких случаях на паропроводах предусматривают постоянные дренажи так же, как и на паропроводе насыщенного пара.

Постоянные дренажи обычно совмещают с пусковыми дренажами. Тогда в точках постоянного дренажа на паропроводах $D_y \geqslant 100$ *мм* устанавливают так называемые карманы (рис. 5.13 и 5.14).

Диаметр кармана принимают в зависимости от диаметра паропровода по табл. 5.8. Характеристика штуцера с вварным донышком дана в табл. 5.9.

Для паропроводов условным проходом $D_y < 100$ *мм* карман можно выполнять по типу, приведенному на рис. 5.15.

Постоянный дренаж осуществляют через конденсатоотводчики. Диаметр трубопроводов и арматуры для постоянных дренажей можно принимать по табл. 5.10.

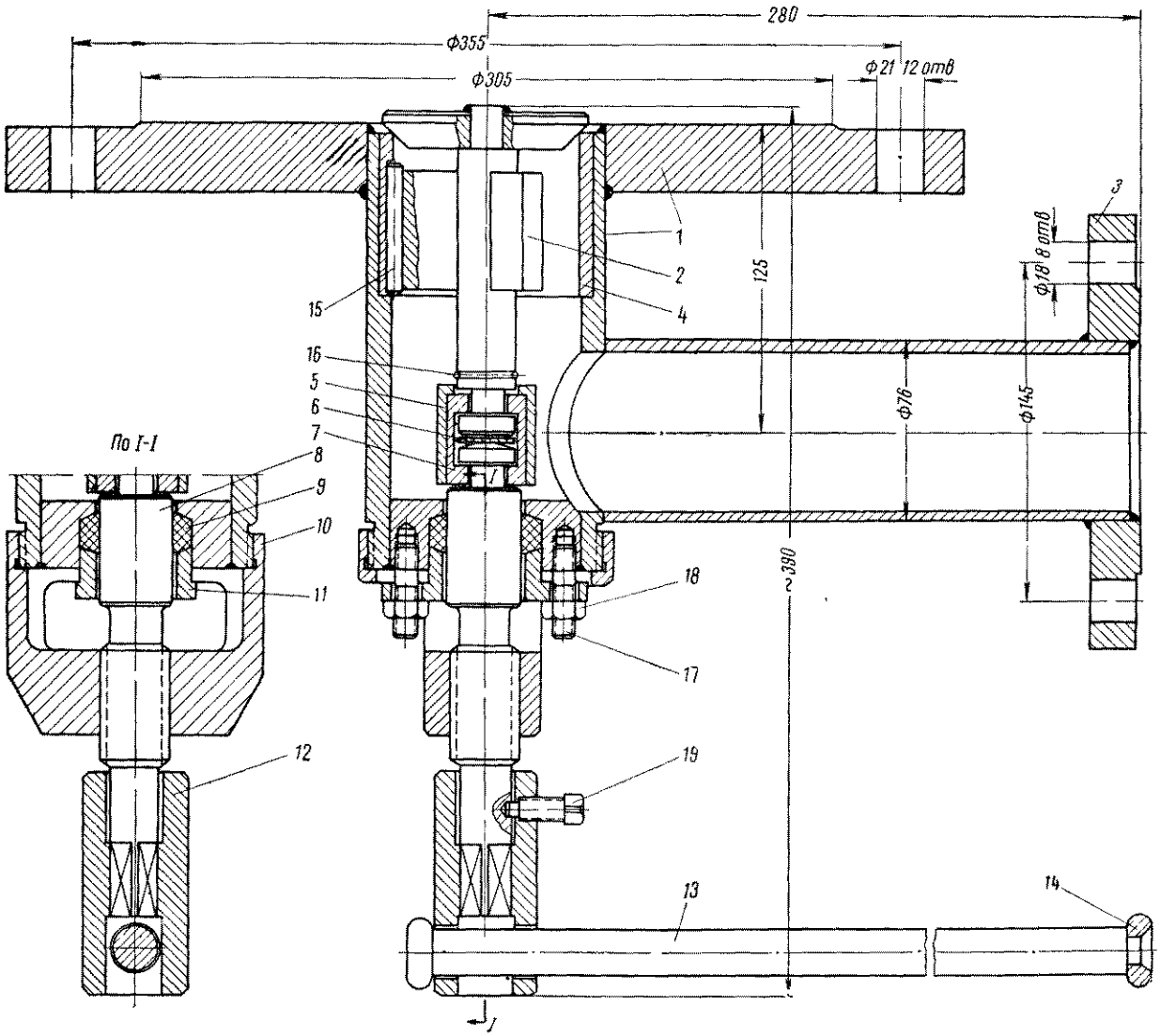


Рис. 5.11. Незамерзающий дренажный клапан $D_y = 80$ *мм*

1 — корпус; *2* — клапан; *3* — фланец; *4* — седло; *5* — втулка; *6* — шайба; *7* — обойма разрезная; *8* — шпиндель; *9* — сальниковое уплотнение; *10* — крышка; *11* — фланец нажимной; *12* — втулка; *13* — рычаг; *14* — шайба; *15* — палец; *16* — кольцо пружинное; *17* — шпилька; *18* — гайка; *19* — винт

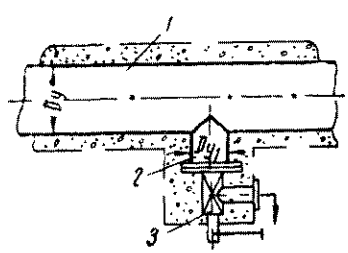


Рис. 5.12. Конструкция пускового дренажа с незамерзающим дренажным клапаном

1 — паропровод условным проходом D_y; *2*—штуцер условным проходом D_{y1}; *3* — дренажный клапан

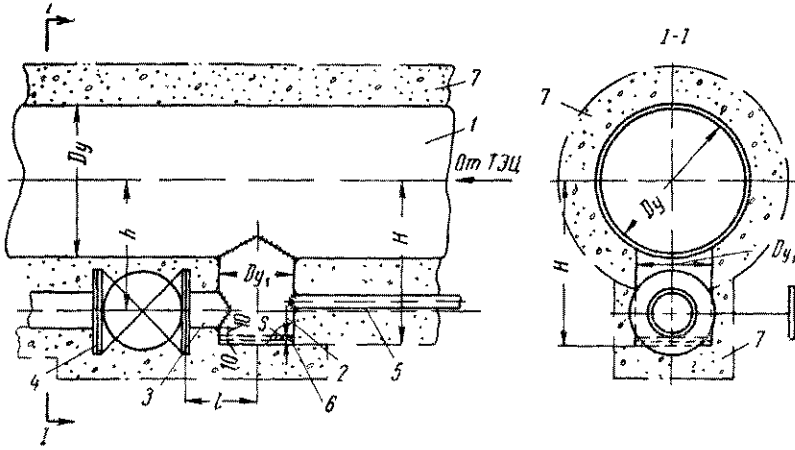


Рис. 5.13. Штуцер с вварным донышком (карман) для постоянного и пускового дренажа паропровода

1 — паропровод условным проходом D_{y1}; *2* — штуцер условным проходом D_{y1} с вварным донышком; *3* — штуцер для пускового дренажа; *4* — вентиль или задвижка; *5* — труба для постоянного дренажа; *6* — донышко; *7* — изоляция

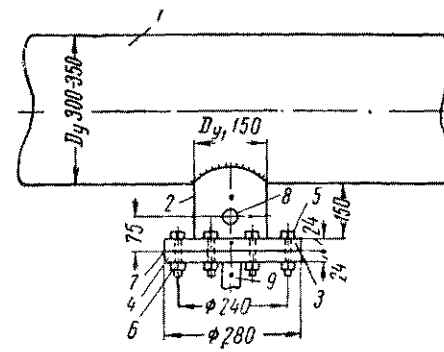


Рис. 5.14. Штуцер с заглушкой (карман) для постоянного и пускового дренажа паропроводов $D_y \geqslant 100$ *мм*

1 — паропровод условным проходом $D_y = 300 \div 350$ *мм*; *2* — штуцер условным проходом $D_{y1} = 150$ *мм*; *3* — фланец приварной; *4* — фланец переходной; *5* — болт; *6* — гайка; *7* — прокладка; *8* — труба для постоянного дренажа; *9* — труба для пускового дренажа

Таблица 5.8

Диаметры карманов

Условный проход паропровода D_y в *мм*	100—125	150—175	200—250	300—350	400—450	500—600	700—800	900—12 0
Условный проход кармана D_{y1} в *мм*	50	80	100	150	200	250	300	350

Таблица 5.9

Толщина донышка и размеры привязки штуцера (см. рис. 5.13)

Условный проход трубы D_y в *мм*	Штуцер		l в *мм*	Толщина донышка s в *мм*			h в *мм*			H в *мм*		
	условный проход D_{y1} в *мм*	внутренний диаметр в *мм*		условное давление P_y в *кгс/см²*								
				64	25	10	64	25	10	64	25	10
100	50	51	150	10	6	5	154	158	159	200	200	200
125							264	268	169	210	210	210
150	80	82	160	12	10	6	172	274	178	220		
200	100	100	180	15	10	8	226	231	223	290	280	280
250							246	251	253	310	310	310
300	150	150	220	22	15	10	293	300	300	380	380	375
350							323	330	325	410	410	400
400	200	207	250	30	20	13	355	355	352	450	440	430
450							—	—	383	—	—	470
500	250	259	280	—	—	16	—	—	410	—	—	500

Конденсат, образующийся при работе паропровода, отводят от точек постоянного дренажа в сборный конденсатопровод или выбрасывают наружу. Отвод конденсата в конденсатопроводы для возврата конденсата от потребителей может быть осуществлен при условии, что давление в паропроводе в точке дренажа превышает

Таблица 5.10

Диаметры трубопроводов и арматуры для постоянных дренажей

Условный проход паропровода $D_у$ в *мм*	50—100	125—350	400—600	700—1200
Условный проход трубопроводов и арматуры $D_{у1}$ в *мм* для постоянных дренажей	15	20	25	32

давление в конденсатопроводе не менее чем на 1 *кгс/см²*. Специальные конденсатопроводы для сбора попутного конденсата, как правило, не прокладывают.

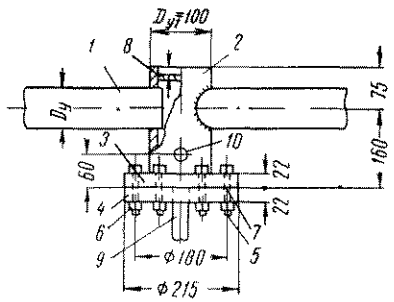


Рис. 5.15 Штуцер с заглушкой (карман) для постоянного и пускового дренажа паропроводов $D_у$<100 *мм*

1 — паропровод условным проходом $D_у$; *2* — штуцер условным проходом $D_{у1}$; *3*—фланец приварной; *4* — фланец переходной; *5* — болт, *6*—гайка; *7* — прокладка; *8* — донышко; *9*—труба для пускового дренажа, *10* — труба для постоянного дренажа

При параллельной прокладке нескольких паропроводов различных давлений допускается «каскадная» схема отвода конденсата с перепуском конденсата из паропровода с более высоким давлением пара в карман отвода конденсата паропровода более низкого давления. Такая схема возможна при разности давлений пара не менее 3 *кгс/см²*. В этом случае на паропроводе более низкого давления применяют штуцер с вваркой в него сбоку трубы для впуска конденсата от пара более высокого давления.

5.3. КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ГОРШКИ И КОНДЕНСАТООТВОДЧИКИ

Выбор конденсатоотводчиков производят в зависимости от количества конденсата, образующегося в паропроводе, и перепада давлений до и после конденсатоотводчика.

Давление конденсата до конденсатоотводчика принимают равным давлению пара в точке дренажа.

Давление конденсата после конденсатоотводчика принимают: при выборе типа конденсатоотводчика — равным давлению пара за закрытым конденсатоотводчиком (при отводе конденсата в паропровод с более низким давлением в сборный или напорный конденсатопровод — равным давлению пара в точке присоединения дренажного конденсатопровода, при сбросе конденсата в атмосферу или в бак, сообщающийся с атмосферой, — равным атмосферному давлению), при определении пропускной способности конденсатоотводчика — равным давлению пара за открытым конденсатоотводчиком с учетом потерь давления в дренажных трубах.

Пропускная способность конденсатоотводчиков по горячему конденсату может быть определена по номограмме (рис. 5.16), скорректированной для расчета конденсатоотводчиков.

В том случае, если количество образующегося в паропроводе конденсата больше пропускной способности выбранного конденсатоотводчика, устанавливают несколько конденсатоотводчиков.

Для постоянного дренажа паропроводов применяют конденсатоотводчики 45ч9нж и 45с10нж (рис. 5.17 и 5.18) и конденсационный горшок с $D_у$=25 *мм* БКЗ 5С-1-1 (рис. 5.19).

Характеристики конденсатоотводчиков 45ч9нж и 45с10нж даны в табл. 5.11 и 5.12. Выбор типа конден-

Таблица 5.11

Характеристика конденсатоотводчика 45ч9нж (см. рис. 5.17)

Условный проход $D_у$ в *мм*	Условное обозначение конденсатоотводчика	Перепад давлений ΔP в *кгс/см²*	Номер седла	Диаметр отверстия в седле d в *мм*	Трубная резьба $d_{труб}$ в дюймах	Основные размеры в *мм*				Вес в *кг*
						D	L	H	h	
20	45ч9нж1	От 0,5 до 1,5	1	9	¾	182	115	260	17	9,8
	45ч9нж2	» 1,5 » 4	2	6						
25	45ч9нж3	» 4 » 8	3	4	1	182	115	260	17	9,8
	45ч9нж4	» 8 » 13	4	3						
40	45ч9нж5	От 0,5 до 1,5	5	14	1, 1½	215	160	300	20	17,2
	45ч9нж6	» 1,5 » 4	6	10						
	45ч9нж7	» 4 » 8	7	7						
	45ч9нж8	» 8 » 13	8	5,2						
50	45ч9нж9	От 0,5 до 1,5	9	20	2	230	170	315	25	22,6
	45ч9нж10	» 1,5 » 4	10	14						
	45ч9нж11	» 4 » 8	11	10						
	45ч9нж12	» 8 » 13	12	8						

Примечания: 1. Конденсатоотводчик можно применять при условном давлении пара $P_у \leqslant 16$ *кгс/см²* и температуре $t \leqslant 250°C$.

2. При заказе следует указывать условный проход и условное обозначение конденсатоотводчика в соответствии с таблицей; последняя цифра в условном обозначении обозначает номер сменного седла, рассчитанного на определенную пропускную способность конденсата.

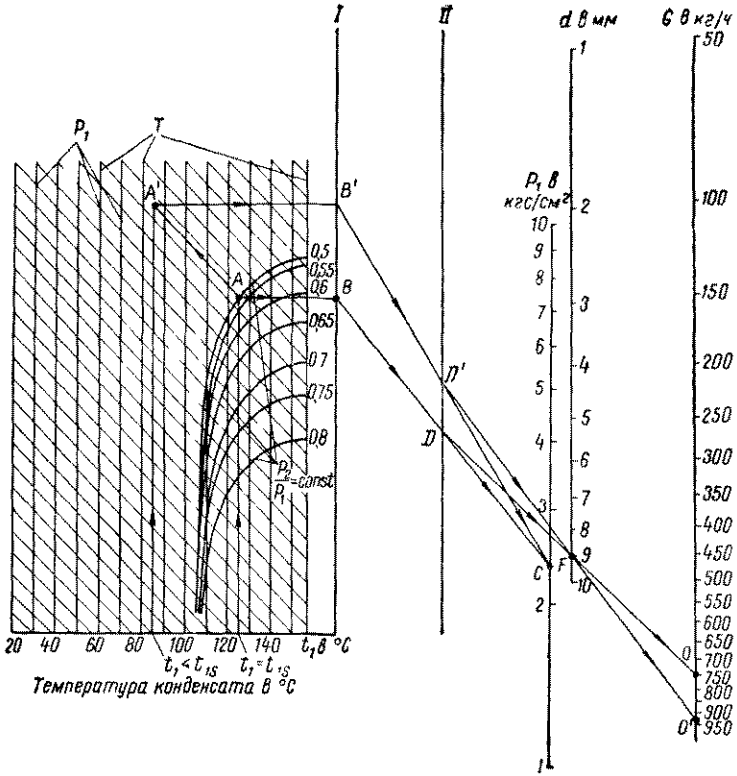


Рис. 5.16*. Заимствовано у канд. техн. наук В. С. Соколовского. Номограмма для определения пропускной способности конденсатоотводчиков по горячему конденсату

P_2/P_1 — отношение давления пара после конденсатоотводчиков к давлению пара перед конденсатоотводчиком; t_1 — температура конденсата в °С; t_{1S} — температура насыщения пара при давлении P_1 в °С; d — диаметр отверстия в седле конденсатоотводчика в *мм*. G — пропускная способность конденсатоотводчика в *кг/ч*. При $P_2/P_1<0{,}5$ следует пользоваться кривой $P_2/P_1=0{,}5$.

Пример расчета при $t_1=t_{1S}$. Давление пара перед конденсатоотводчиком $P_1=2{,}4$ *кгс/см²*, давление пара после конденсатоотводчика (с учетом потерь в дренажных трубах) $P_2=1{,}25$ *кгс/см²*; температура конденсата $t_1=t_{1S}=125°$ С; диаметр отверстия в конденсатоотводчике для пропуска конденсата $d=9{,}8$ *мм*.

Решение. Из точки, соответствующей $t_1=125°$ С, проводим вертикальную прямую до пересечения с кривой $P_2/P_1=\frac{1{,}2}{2{,}4}=0{,}5$ и определяем точку *A*. Из точки *A* проводим горизонтальную прямую до пересечения с безразмерной шкалой *I* и определяем точку *B*.

Соединив точку *B* с точкой *C*, соответствующей значению P_1, и точку *D*, полученную на безразмерной шкале II, с точкой, соответствующей значению 9 *мм* на шкале значений *d*, определим в точке 0 пропускную способность конденсатоотводчика $G=760$ *кг/ч*.

Пример расчета при $t_1=85°\text{ С}<t_{1S}$ остальные данные принять по предыдущему примеру.

Решение. Определяем точку *A*, как в предыдущем примере. Проведя из точки, соответствующей $t_1=85°$ С, вертикальную прямую до пересечения с прямой, проведенной из точки *A* параллельно прямым давлений P_1, определим точку *A'*. Затем, проведя построение по номограмме, аналогичное предыдущему примеру, определим в точке 0' пропускную способность конденсатоотводчика $G=920$ *кг/ч*

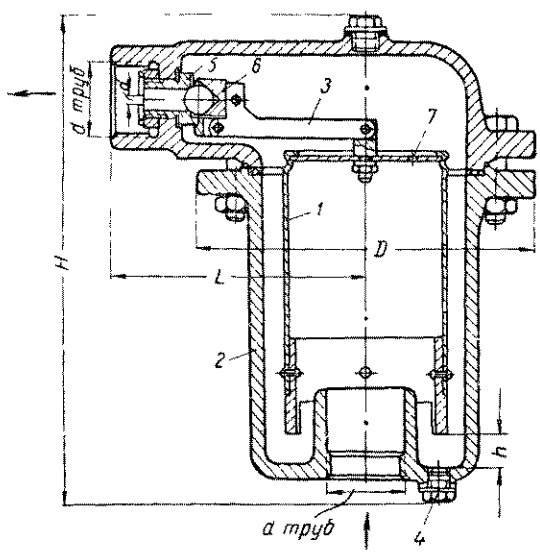


Рис. 5.17. Конденсатоотводчик с поплавком муфтовый 45ч9нж

1 — поплавок; *2* — корпус; *3* — рычаг; *4* — спускная пробка; *5* — седло; *6* — клапан; *7* — отверстие

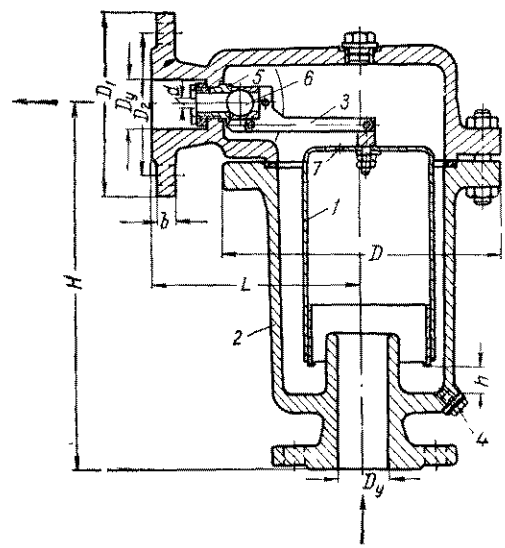


Рис. 5.18 Конденсатоотводчик с поплавком фланцевый 45с10нж

1 — поплавок; *2* — корпус; *3* — рычаг; *4* — спускная пробка; *5* — седло; *6* — клапан; *7* — отверстие

Таблица 5.12

Характеристика конденсатоотводчика 45с10нж (см. рис. 5.18)

Условный проход D_y в *мм*	Условное обозначение конденсатоотводчика	Перепад давлений ΔP в *кгс/см²*	Номер седла	Диаметр отверстий в седле d в *мм*	Основные размеры в *мм*							Болтовые отверстия		Вес в *кг*, не более
					D	L	H	h	D_1	D_2	b	диаметр в *мм*	количество в шт.	
20	45с10нж 1	От 0,5 до 1,5	1	9	182	130	290	12	105	75	16	14	4	13,3
	45с10нж 2	» 1,5 » 4	2	5										
	45с10нж 3	» 4 » 8	3	4										
	45с10нж 4	» 8 » 13	4	3										
25	45с10нж 5	» 13 » 18	5	2,6	182	130	295	12	115	85	16	14	4	15
40	45с10нж 1	От 0,5 до 1,5	1	14	222	165	360	22	145	110	18	18	4	26,5
	45с10нж 2	» 1,5 » 4	2	10										
	45с10нж 3	» 4 » 8	3	7										
	45с10нж 4	» 8 » 13	4	5,2										
	45с10нж 5	» 13 » 16	5	4,9										

Примечания: 1. Конденсатоотводчик можно применять при условном давлении пара $P_y \leqslant 25$ *кгс/см²* и температуре $t \leqslant 450°$С.

2. При заказе следует указывать условный проход и условное обозначение конденсатоотводчика в соответствии с таблицей; последняя цифра в условном обозначении означает номер сменного седла, обеспечивающего определенную пропускную способность конденсата.

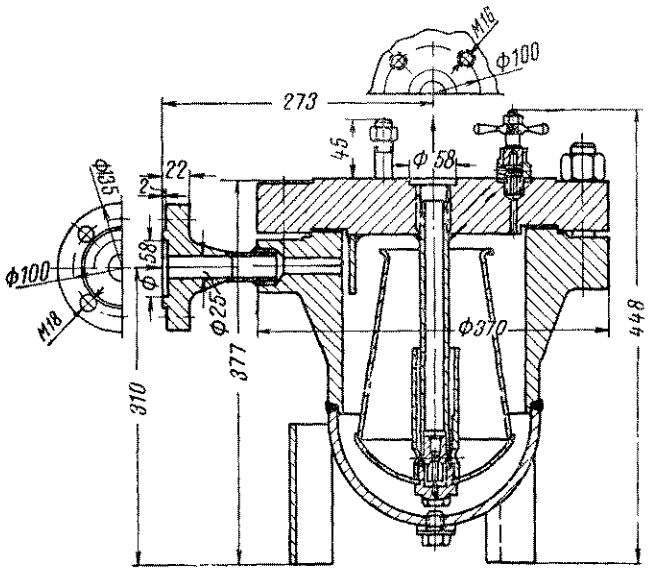


Рис 5 19. Конденсационный горшок D_y=25 *мм* БКЗ 5С-1-1. Вес 86 *кг*

сатоотводчиков производят по перепаду давлений до и после конденсатоотводчика при закрытом конденсатоотводчике по табл. 5.11 и 5.12.

Пропускная способность конденсатоотводчиков 45ч9нж и 45с10нж по холодному конденсату может быть определена по рис. 5.20.

Конденсатоотводчик 45ч9нж имеет муфтовые присоединительные концы. В качестве дренажных труб применяют водогазопроводные трубы по ГОСТ 3262—62 с резьбой, соответствующей резьбе на конденсатоотводчике, указанной в таблице.

Конденсатоотводчик 45с10нж имеет фланцевые присоединительные концы по ГОСТ 1240—54, в качестве ответных фланцев трубопроводов применяют фланцы по ГОСТ 1255—54* на условное давление 25 *кгс/см²*.

Конденсационный горшок БКЗ 5С-1-1 применяют для условного давления $P_y \leqslant$ 64 *кгс/см²* и температуре пара $t \leqslant 425°$ С. Конструкция предусматривает установку конденсационного горшка в строго вертикальном положении и обязательную заливку горшка водой до пуска его в эксплуатацию. Конденсационный горшок имеет фланцевые присоединительные концы. Входной фланец имеет четыре отверстия М18, а выходной — четыре отверстия М16. Ответные фланцы трубопроводов применяют типа А с D_y=25 *мм* по ГОСТ 1260—54* на условное давление P_y=64 *кгс/см²*.

Схема установки конденсатоотводчиков и конденсационных горшков для дренажа паропроводов дана на рис. 5.21.

При установке конденсационных горшков и конденсатоотводчиков делают обвод для ремонта, осмотра, спуска конденсата при прогреве паропроводов и для продувки конденсатопроводов. Обводная линия может не предусматриваться при дренаже конденсата в паропровод более низкого давления.

За конденсатоотводчиками и конденсационными горшками, работающими со сбросом конденсата в общий конденсатопровод, при подаче конденсата на высоту или в паропровод более низкого давления следует устанавливать обратные клапаны, за исключением тех случаев, когда обратные клапаны предусматриваются в конструкции самого конденсатоотводчика

Конденсационные горшки и конденсатоотводчики обычно устанавливают ниже отметки дренажа конденсата из паропровода, но не выше отметки дренажного штуцера; при этом соединение точки отвода конденсата из паропровода с конденсатоотводчиком или конденсационным горшком осуществляют вертикальным либо горизонтальным трубопроводом с уклоном не менее 0,1 в сторону горшка.

Конденсационные горшки и конденсатоотводчики устанавливают по возможности ближе к дренируемому

паропроводу во избежание больших потерь давления и тепла на этом участке.

При надземной прокладке паропроводов конденсационные горшки и конденсатоотводчики устанавливают в специальных утепленных помещениях (будках) или в металлических ящиках (рис. 5.22) с тепловой изоляцией, размещаемых либо на специальных площадках на эстакадах, либо на бетонных подушках на земле под эстакадой.

При многотрубной прокладке для каждого паропровода предусматривают отдельный конденсатоотводчик. Установка одного конденсатоотводчика на несколько паропроводов или объединение дренажных линий паропроводов не рекомендуется.

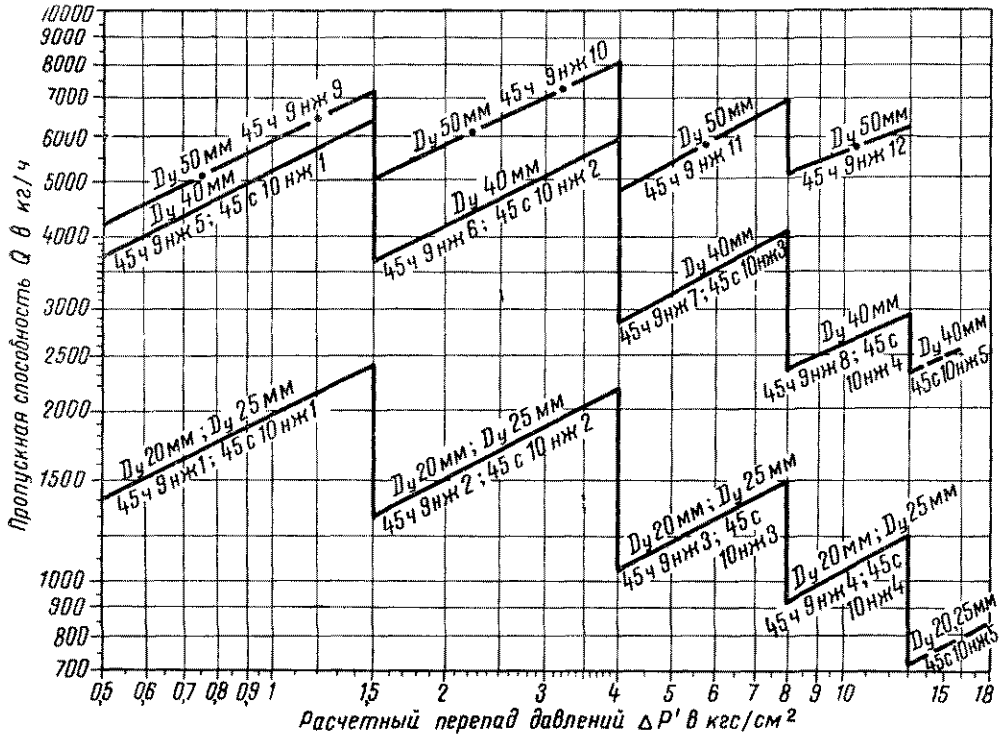


Рис. 5.20. График для определения пропускной способности конденсатоотводчиков 45ч9иж и 45с10нж по холодному конденсату

Условные обозначения:
- для конденсатоотводчиков 45ч9иж и 45с10нж
- для конденсатоотводчика 45с10нж
- для конденсатоотводчика 45ч9нж

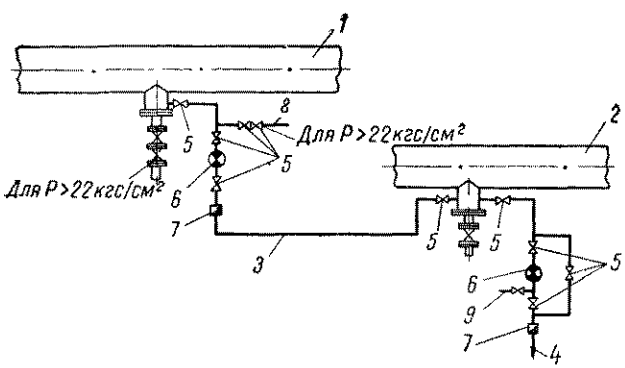


Рис. 5.21. Схема установки конденсатоотводчиков на постоянном дренаже паропроводов при $P > P_1$

1 — паропровод давлением P *кгс/см²*; *2* — паропровод давлением P_1 *кгс/см²*; *3* — конденсатопровод для отвода конденсата из паропровода *1* в паропровод *2*; *4* — конденсатопровод для отвода конденсата из паропровода *2* в общий конденсатопровод; *5*—вентиль; *6* — конденсатоотводчик; *7* — обратный клапан; *8* — трубопровод пусковой продувки; *9* — контрольный спускник

5.4. ПРОМЫВКА ТРУБОПРОВОДОВ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В процессе производства строительно-монтажных работ в трубопроводы тепловых сетей попадают песок, окалина, обрезки дерева, куски стройматериалов, электроды и пр., которые, как правило, остаются в смонтированных трубопроводах.

До сдачи тепловых сетей в эксплуатацию эти засоры должны быть удалены.

Паропроводы продувают паром от ТЭЦ или котельной. Выпуск пара производится через открытый торец продуваемого участка или через специальные временные выхлопные патрубки. Скорость пара при продувке должна превышать рабочую, насколько это позволяет производительность источника тепла.

Водяные сети и конденсатопроводы промывают водой (гидравлическая промывка) или водовоздушной смесью (гидропневматическая промывка).

Существуют две стадии гидравлической промывки: черновая и чистовая. При черновой промывке трубопроводы наполняют водой под давлением $3 \approx 4$ *ати*, а затем вода сбрасывается через открытые дренажи в конце промываемого участка. При чистовой промывке

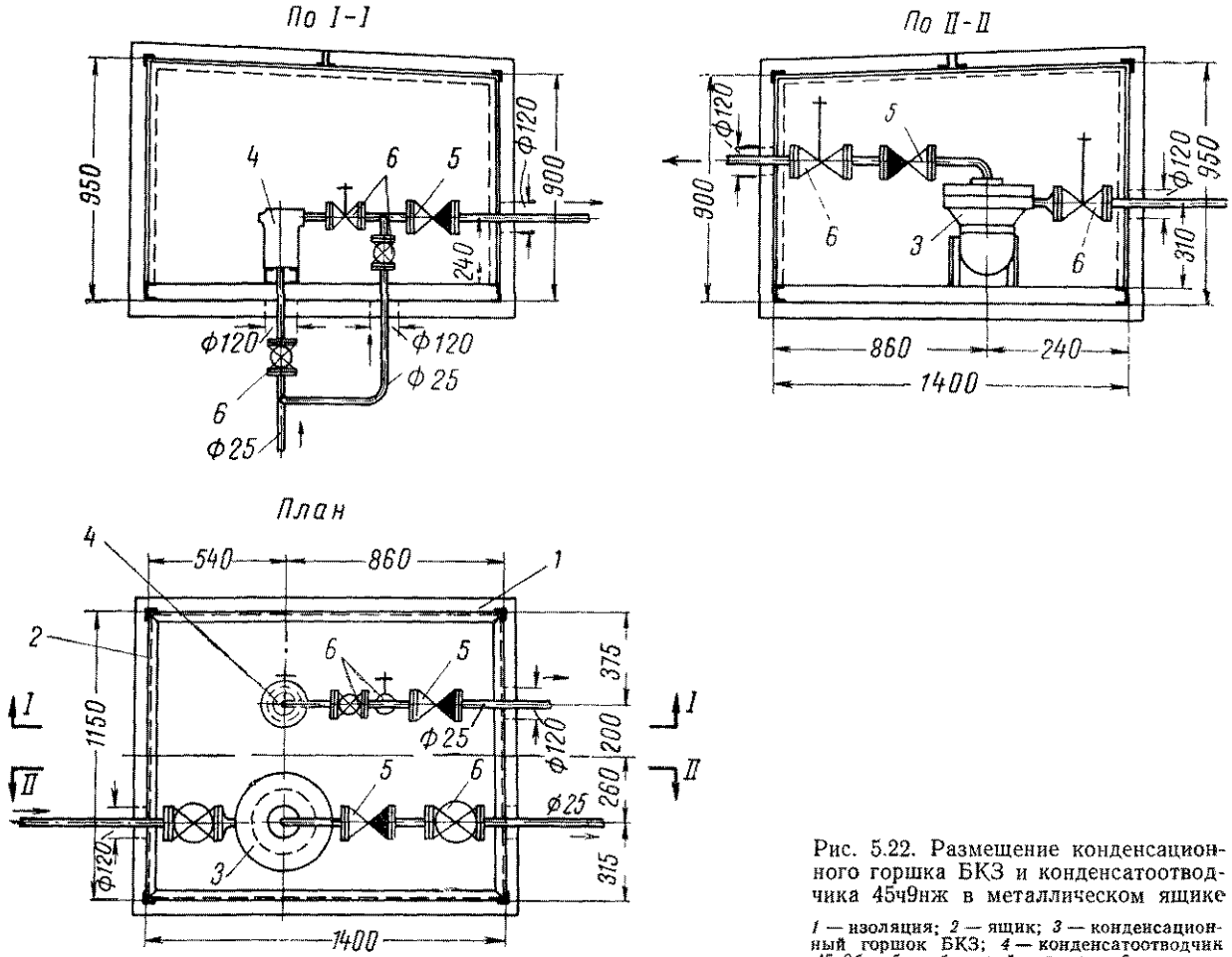


Рис. 5.22. Размещение конденсационного горшка БКЗ и конденсатоотводчика 45ч9нж в металлическом ящике

1 — изоляция; *2* — ящик; *3* — конденсационный горшок БКЗ; *4* — конденсатоотводчик 45ч9бк; *5* — обратный клапан; *6* — вентиль

используются сетевые насосы. Заполняют и подпитывают сети при этом водопроводной водой.

При подземной прокладке тепловой сети чистовая промывка осуществляется пропуском циркулирующей воды через грязевики, устанавливаемые в конце участков (по ходу воды) в узлах секционирующих задвижек (рис. 5.23). Подающий и обратный трубопроводы в этих узлах соединяют перемычками, на которых устанавливают по две запорные задвижки с контрольным спускным вентилем между ними. Диаметр перемычки рекомендуется принимать не менее 0,3 диаметра трубопровода. Грязевики с сетками, как правило, остаются на последующий отопительный период, в течение которого их периодически прочищают.

По окончании первого отопительного сезона грязевики могут демонтироваться. Практически ввиду сложности демонтажа ограничиваются удалением из грязевиков сеток.

При надземной прокладке водяных сетей грязевики не устанавливаются, и чистовая промывка сети происходит в процессе наладки и эксплуатации через абонентские и станционные грязевики.

Конденсатопроводы промывают в две стадии: предварительно водопроводной водой до полного осветления промывочной воды и в последующем — конденсатом до тех пор, пока анализ не покажет необходимое качество конденсата.

В последнее время начала применяться гидропневматическая промывка как водяных сетей, так и конденсатопроводов, при которой создаются турбулентность движения и ударный эффект.

Преимуществом этого способа промывки для подземной прокладки тепловых сетей является отсутствие на тепловой сети грязевиков, благодаря чему существенно сокращаются габариты камер в местах установки секционирующих задвижек.

При гидропневматической промывке (рис. 5.24) применяют передвижные компрессоры типов ВКС-1, АК-6, ДК-9 производительностью $Q = 5 \div 6$ *м³/сек* с давлением сжатого воздуха 6 *ата*.

Для подвода воды и воздуха в промываемый трубопровод врезают два патрубка — один с обратным клапаном и вентилем для подвода воздуха от компрессорной установки, другой — с задвижкой для подачи воды из водопровода.

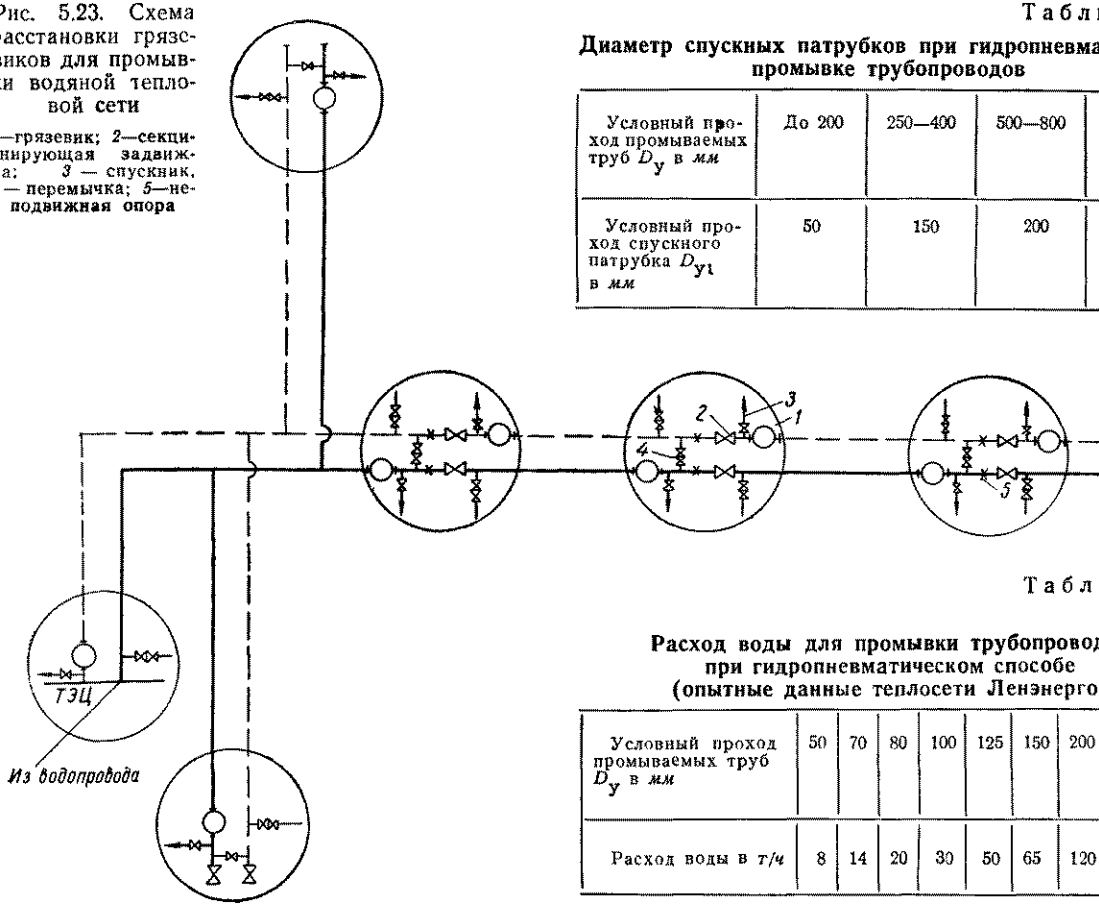


Рис. 5.23. Схема расстановки грязевиков для промывки водяной тепловой сети

1—грязевик; *2*—секционирующая задвижка; *3* — спускник, *4* — перемычка; *5*—неподвижная опора

Таблица 5.13

Диаметр спускных патрубков при гидропневматической промывке трубопроводов

Условный проход промываемых труб $D_у$ в *мм*	До 200	250—400	500—800	900 и выше
Условный проход спускного патрубка $D_{у1}$ в *мм*	50	150	200	300

Таблица 5.14

Расход воды для промывки трубопроводов при гидропневматическом способе (опытные данные теплосети Ленэнерго)

Условный проход промываемых труб $D_у$ в *мм*	50	70	80	100	125	150	200	250	300
Расход воды в *т/ч*	8	14	20	30	50	65	120	160	260

Для выпуска промывочной воды и воздуха из трубопроводов используются спускники, устанавливаемые в конце промываемого участка. Диаметр спускных патрубков выбирается в зависимости от диаметра промываемого трубопровода (табл. 5.13).

Воду после промывки спускают в поверхностные водостоки или же в приямок камеры, откуда ее непрерывно откачивают передвижными насосами.

Наилучшие результаты промывки достигаются при скоростях водовоздушной смеси в конце участка от 1,5 до 3 *м/сек*. Расходы воды при гидропневматической промывке для получения необходимой скорости могут приниматься по табл. 5.14.

Необходимое количество воздуха может быть определено по экспериментальной формуле

$$W = G_в \left(1 - \frac{v_к}{v_{ср}}\right) м^3/сек, \qquad (5.5)$$

где $G_в$ — расход промывочной воды в $м^3/сек$;

$v_к$ — конечная скорость смеси в конце промываемого участка, принимаемая от 1,5 до 3 *м/сек*;

$v_{ср}$ — средняя условная скорость движения воды, принимаемая около 1 *м/сек*.

Давление воды в водопроводе должно быть не менее 2 $кгс/см^2$.

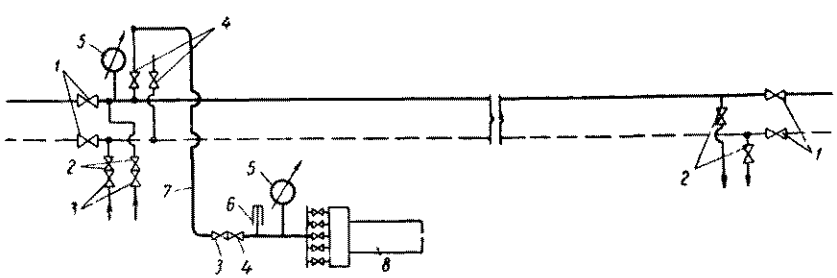


Рис. 5.24. Схема гидропневматической промывки водяных сетей

1 — задвижки секционирующие; *2*—задвижки запорные; *3* — обратный клапан, *4*—вентиль на воздухопроводе; *5* — манометр; *6* — термометр; *7* — резиновый шланг; *8* — компрессор

Давление воздуха в компрессоре должно превышать давление воды не менее чем на 1 *кгс/см²*.

5.5. ГРЯЗЕВИКИ

Для тепловых сетей применяют грязевики:

промывочные (табл. 5.15 и 5.16) на рабочее давление воды до 16 *кгс/см²* и температуру до 200° С для условных проходов от D_y=150 *мм* до D_y =1000 *мм*;

станционные (табл. 5.17) на рабочее давление воды до 10 *кгс/см²* и температуру до 200° С для условных проходов от D_y =200 *мм* до D_y =1000 *мм*;

абонентские по МВН 1280—59 на рабочее давление воды до 16 *кгс/см²* и температуру до 200° С для условных проходов от D_y=40 *мм* до D_y =200 *мм*.

Промывочные грязевики применяют как временное оборудование при гидравлической промывке тепловых сетей.

Таблица 5.15

Промывочные грязевики D_y 150—300 *мм* по МВН 1264—59 (рис. 5.25)

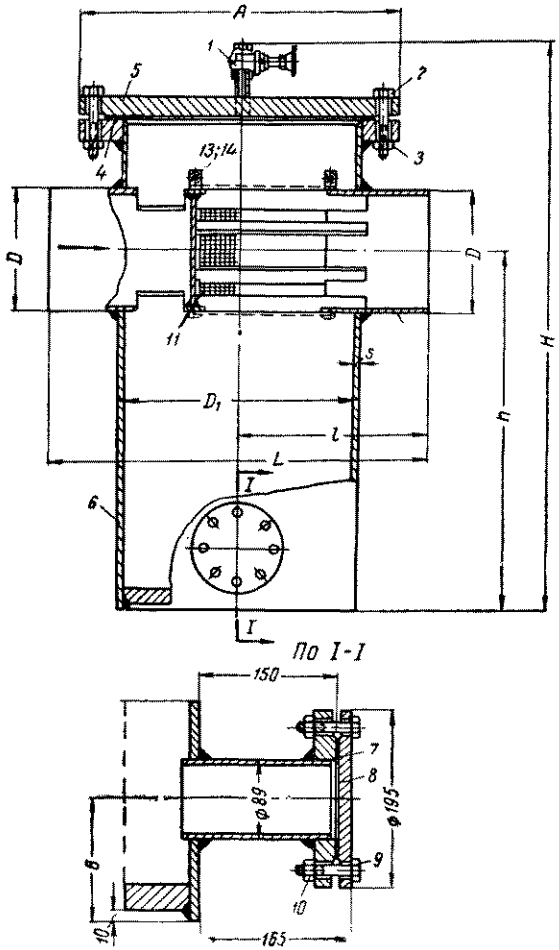


Рис. 5.25. Грязевики промывочные D_y =150 ÷ ÷300 *мм*

1 — вентиль муфтовый; *2, 9, 13* — болт; *3, 10, 14* — гайка; *4, 7* — прокладка паронитовая; *5, 8* — заглушка; *6* — корпус; *11* — сетка № 5—1,4

Условный проход грязевика D_y в *мм*	Обозначение грязевика—номер МВН	Основные размеры в *мм*									Вес в *кг*	Наибольшая осевая нагрузка в *т*
		D_1	*s*	*D*	*H*	*h*	*L*	*l*	*A*	*B*		
150	1264-11	325	8	159	953	600	620	310	460	115	136	12
175	1264-12	377	9	194	1007	620	670	335	520	120	190	12
200	1264-13	426	9	219	1061	650	720	360	580	125	247	20
250	1264-14	529	9	273	1271	800	840	420	705	135	413	30
300	1264-15	630	9	325	1428	900	980	490	840	140	626	45

Примечания: 1. Корпус промывочных грязевиков изготовляют из бесшовных труб по ГОСТ 8732—58* (для корпуса D_1=325; 377 *мм*) и из сварных труб по ГОСТ 4015—58 (для корпуса D_1=426 *мм* и более) из стали марки Ст. 3. Сетки № 5—1, 4 изготавливают по ГОСТ 3826—47 из стальной низкоуглеродистой оцинкованной проволоки по ГОСТ 3282—46.

2. Осевая нагрузка на промывочные грязевики от примыкающих трубопроводов не должна превышать наибольшей осевой нагрузки, указанной в таблице.

Стационарные станционные грязевики устанавливают на обратных трубопроводах тепловых сетей перед сетевыми насосами, в тепловых пунктах крупных предприятий и перед подкачивающими насосами. Стационарные грязевики в тепловых пунктах отдельных зданий (абонентские) предусматривают на подающем трубопроводе во всех случаях, а на обратном — перед расходомерами, водомерами и тепломерами.

Таблица 5.16

Промывочные грязевики D_y 350 ÷ 1000 *мм* по МВН 1272—59 (рис. 5.26)

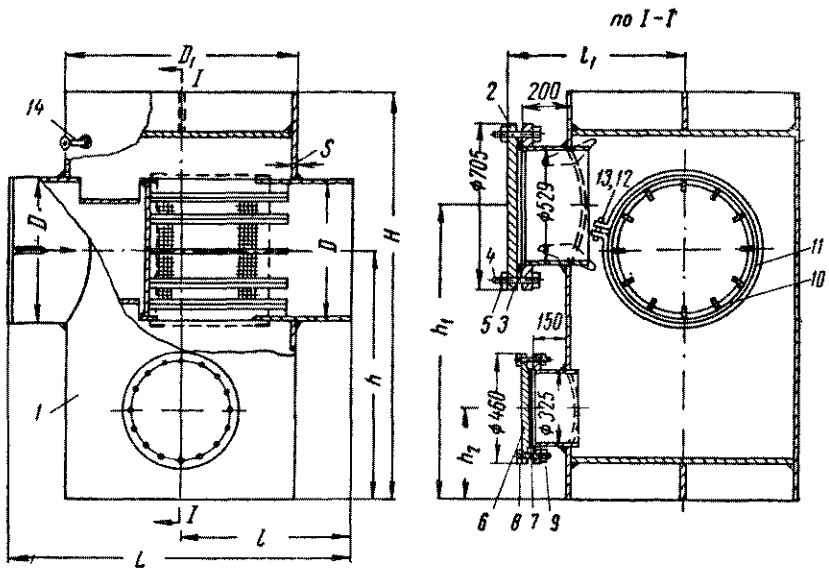


Рис. 5.26. Грязевики промывочные D_y = 350 ÷ 1000 *мм*

1 — корпус; *2*, *6* — заглушка; *3*, *7* — прокладка; *4*, *8*, *12* — болт; *5*, *9*, *13* — гайка; *10* — сетка; *11* — хомут; *14* — вентиль

Условный проход грязевика D_y в *мм*	Обозначение грязевика — номер МВН	Основные размеры в *мм*										Вес в *кг*	Наибольшая осевая нагрузка в *т*
		D_1	s	D	H	h	L	l	l_1	h_1	h_2		
350	1272-21	820	9	377	1550	1000	1200	600	649	1100	350	947	60
400	1272-22			426	1600					1150		948	45
450	1272-23	920	9	478			1340	670	699		370	1200	50
500	1272-24			529	1700		1340	670		1250	370	1233	60
600	1272-25	1020	10	630	1800	1100	1500	750	749	1300	390	1513	80
700	1272-26	1220	12	720	1900	1200	1700	850	849	1350	440	2252	90
800	1272-27			820	2000		1800	900		1450		2387	120
900	1272-28	1420	12	920	2100		2000	1000	949	1500	470	3341	140
1000	1272-29			1020	2200	1250				1600		3465	180

Примечания: 1. Корпус промывочных грязевиков изготовляют из сварных труб по ГОСТ 4015—58 из стали марки Ст. 3. Сетки № 5—1, 4 для грязевиков изготовляют по ГОСТ 3826—47 из стальной низкоуглеродистой оцинкованной проволоки по ГОСТ 3282—46.
2. См. примечание 2 к табл. 5. 15.

Таблица 5.17

Станционные грязевики D_y 200 ÷ 1000 *мм* по МВН 1244—59 (рис. 5.27)

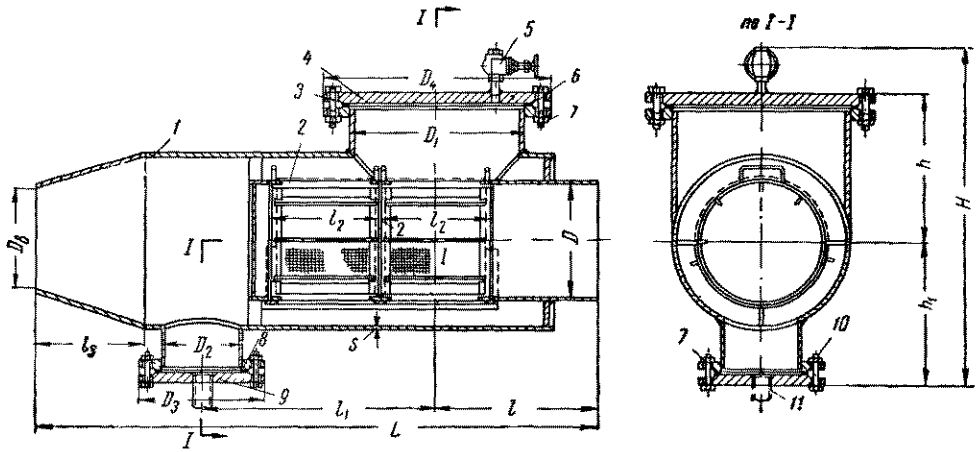


Рис. 5 27. Грязевики станционные

1 — корпус, *2* — фильтр; *3*, *8* — прокладка; *4*, *9* — заглушка, *5* — вентиль муфтовый; *6*, *10* — болт, *7* — гайка, *11* — спускная труба

Условный проход грязевика D_y в *мм*	Обозначение грязевика—номер МВН	Основные размеры в *мм*														Вес в *кг*
		D	D_1	s	D_2	D_3	D_4	D_B	L	l	l_1	l_2	l_3	H	h	h_1	
200	1244-21	219	377	9			500	207	1490	390	560	250	378	740	323	291	220
250	1244-22	273	426	6			565	259	1575	420	610	280	383	817	365	326	236
300	1244-23	325	478	6	219	335	615	309	1635	445	635	300	393	889	397	366	287
350	1244-24	377	529	6			670	359	1705	480	670	320	393	951	429	396	342
400	1244-25	426	630	7			780	414	2030	560	820	410	489	1064	492	446	502
450	1244-26	478	720	7			895	466	2302	630	930	480	581	1170	548	496	682
500	1244-27	529	820	8	273	390	1010	517	2632	680	1070	560	691	1294	610	558	940
600	1244-28	630	920	9			1110	616	2740	730	1130	600	689	1428	674	628	1217
700	1244-29	720	1020	10	325	440	1220	706	3002	830	1240	640	710	1553	738	689	1613
800	1244-30	820	1220	12			1460	804	3605	930	1510	820	943	1761	836	799	2214
900	1244-31	920	1420	12	426	560	1685	902	4176	1040	1680	900	1185	2015	964	925	3257
1000	1244-32	1020	1420	12			1685	1000	3943	1040	1680	900	952	2015	964	925	3180

Примечание. Корпус станционных грязевиков изготовляют из бесшовных труб D_1=377 *мм* по ГОСТ 8732—58 и из сварных труб D_1=426 *мм* и более по ГОСТ 4015—58 из стали марки Ст. 3. Фильтры для грязевиков изготовляют из латунной сетки № 2, 5 по ГОСТ 6613—53.

РАЗДЕЛ II

СХЕМЫ И РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

ГЛАВА 6

СХЕМЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Тепловые сети являются одним из узлов комплекса сооружений системы централизованного теплоснабжения, включающего источник тепла, тепловую сеть и местные системы потребителей тепла.

По своему назначению тепловые сети в соответствии с классификацией СНиП II-Г.10-62 подразделяются на следующие категории:

магистральные — от источника тепла до территории промышленных предприятий и микрорайонов (или кварталов) населенных мест;

распределительные — от магистральных тепловых сетей по территории промышленных предприятий и микрорайонов (или кварталов) населенных мест до узлов ответвлений тепловых сетей к отдельным зданиям;

ответвления к отдельным зданиям — от распределительных тепловых сетей (в отдельных случаях от магистральных) до ввода в здание (до обреза фундамента или стены здания).

Схемы тепловых сетей в зависимости от взаимного размещения источников тепла и потребителей могут быть:

лучевыми (радиальными) с прокладкой от одного источника тепла отдельных магистралей в районы размещения тепловых потребителей (рис. 6.1), эти магистрали могут быть одинарными или дублированными;

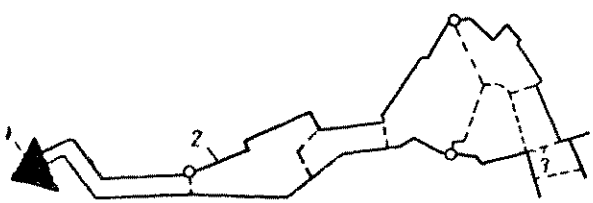


Рис 6 1. Лучевая схема тепловых сетей города при одном источнике тепла

1 — источник тепла; *2* — магистраль; *3* — перемычки

кольцевыми с прокладкой от источника тепла к одной группе потребителей не менее двух магистралей, соединяющихся между собой в районе размещения потребителей, обеспечивая двухстороннюю подачу тепла.

При теплоснабжении от нескольких источников лучевые магистрали, как правило, соединяются между собой перемычками (рис. 6.2).

Перемычки между магистралями одного или нескольких источников тепла предназначены для проведения летних ремонтов с наименьшим ограничением потребителей бытового горячего водоснабжения.

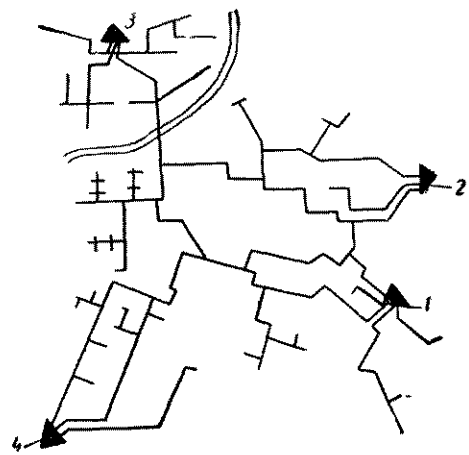


Рис. 6.2. Схема тепловых сетей города при нескольких источниках тепла

1, 2, 3, 4 — источники тепла

Лучевые схемы с дублированными магистралями или кольцевые применяются для подачи тепла к потребителям, не допускающим перерывов в подаче тепла.

В зависимости от теплоносителя тепловые сети подразделяются на водяные, паровые и сети сбора и возврата конденсата (конденсатопроводы).

Водяные тепловые сети могут быть закрытыми и открытыми в зависимости от способа подачи тепла к местным системам горячего водоснабжения.

В закрытой системе вода в местную систему горячего водоснабжения поступает из системы питьевого водопровода и подогревается в водоводяных подогревателях, установленных на вводе тепловой сети в каждое здание или группу зданий

В открытой системе вода для местной системы горячего водоснабжения отбирается непосредственно из тепловой сети на вводе ее в каждое здание или группу зданий.

Отобранная из тепловых сетей вода компенсируется таким же количеством воды на ТЭЦ или в котельной. Водяные сети подразделяются на одно, двух, трех- и четырехтрубные.

Однотрубные водяные сети применяют для централизованной подачи воды на бытовое горячее водоснабжение или на технологические процессы при установке у всех потребителей местных баков аккумуляторов горячей воды, рассчитанных на подачу среднечасового (за сутки) количества воды, или же при присоединении потребителей с круглосуточным непрерывным расходом воды.

В однотрубных системах для совместной подачи тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение вода, охлажденная в системах отопления и вентиляции, используется полностью для бытового горячего водоснабжения.

Равенство в расходах воды, поступающей от источника тепла и использованной на горячее водоснабжение, достигается повышением ее температуры до 180—200° С, увеличением полезного перепада температур, подачей от основного источника тепла базовой нагрузки и местным аккумулированием горячей воды после систем отопления.

Разработаны две принципиально различные схемы — с прокладкой одной трубы до каждого потребителя (рис. 6.3) и с прокладкой одной трубы только на транзитном участке магистрали.

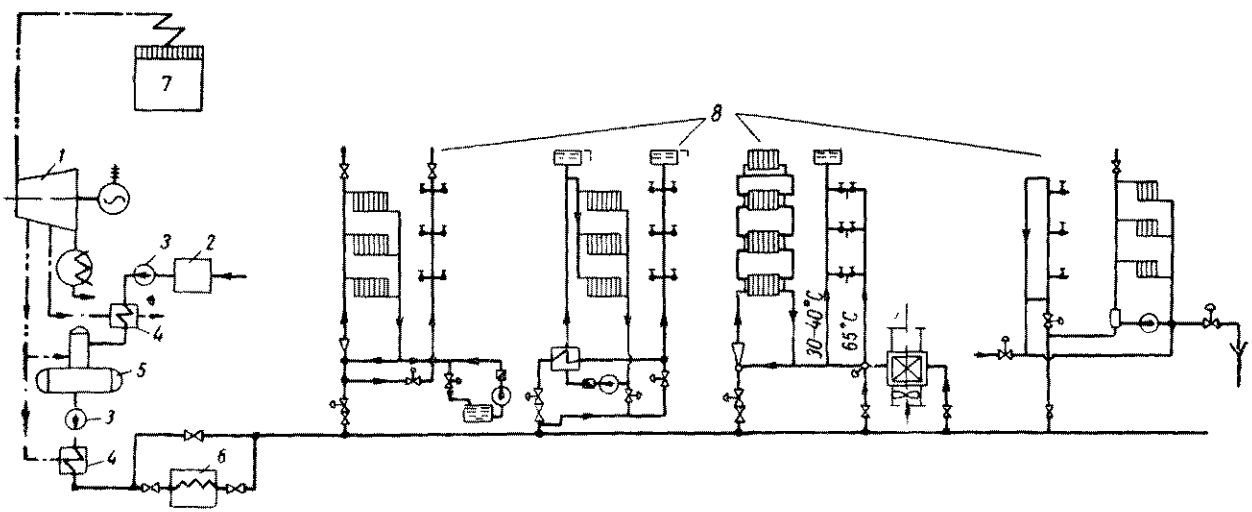


Рис. 6 3. Принципиальная схема однотрубной водяной сети при теплоснабжении от ТЭЦ

— турбина; *2* — химводоочистка; *3* — сетевые насосы; *4* — подогреватели сетевой воды; *5* — деаэратор; *6* — пиковый котел; *7*—энергетический котел; *8* — местные системы потребителей

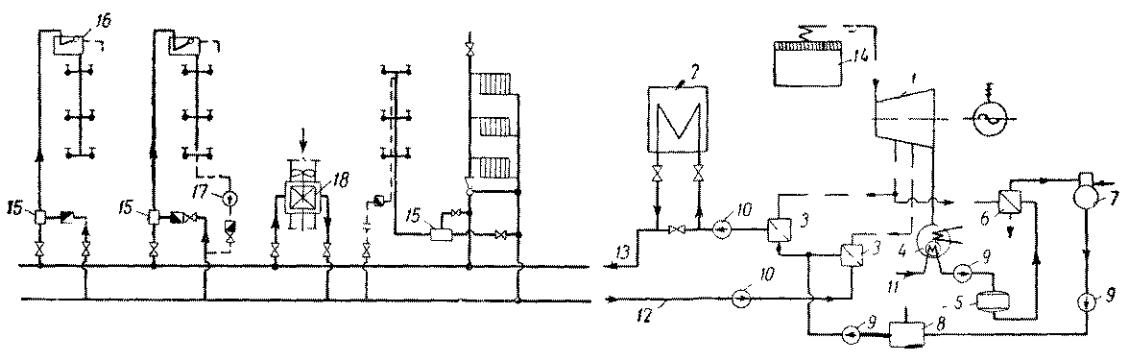


Рис. 6.4. Принципиальная схема двухтрубной водяной сети с непосредственным водоразбором на горячее водоснабжение—открытая система. Источник тепла ТЭЦ

1 — турбина; *2* — пиковый котел; *3* — подогреватель сетевой воды; *4* — конденсатор; *5* — химводоочистка; *6* — подогреватель подпиточной воды; *7* — вакуумный деаэратор; *8* — бак-аккумулятор; *9* — подпиточные насосы; *10* — сетевые насосы; *11* — трубопровод воды питьевого водопровода; *12* — обратный трубопровод; *13* — подающий трубопровод; *14* — энергетический котел; *15* — смеситель; *16* — бак-аккумулятор местной системы горячего водоснабжения; *17* — циркуляционный насос местной системы горячего водоснабжения; *18* — калорифер системы вентиляции

Во второй схеме источник тепла, снимающий пику тепловой нагрузки, размещается в районе тепловых потребителей в узле перехода однотрубной магистрали в двухтрубные тепловые сети.

Первая схема может быть реализована без слива, если у всех потребителей отношение среднечасовой (за неделю) нагрузки горячего водоснабжения к расчетной часовой нагрузке отопления составляет не менее 0,55—0,65. Вторая схема может быть всегда выполнена без слива воды. При отношении среднечасовой (за неделю) нагрузки горячего водоснабжения к расчетной часовой нагрузке отопления порядка 20—25% эта схема обеспечивает коэффициент теплофикации около 0,5.

Двухтрубные водяные сети являются основными для совместной подачи тепла на отопление, вентиляцию и бытовое горячее водоснабжение жилых районов и промышленных предприятий (рис. 6.4 и 6.5). Двухтрубные водяные сети применяются также для подачи воды на бытовое горячее водоснабжение или на технологические процессы, когда суточный режим расхода воды приводит к выстыванию воды ниже допустимых пределов и при этом отсутствует возможность установки у потребителей местных баков аккумуляторов.

Трехтрубные сети имеют два подающих трубопровода и один общий обратный (рис. 6.6). В одном из подающих трубопроводов поддерживается постоянная температура воды. Этот трубопровод предназначен для подачи тепла к технологической аппаратуре и к местным системам горячего водоснабжения. Во втором, по-

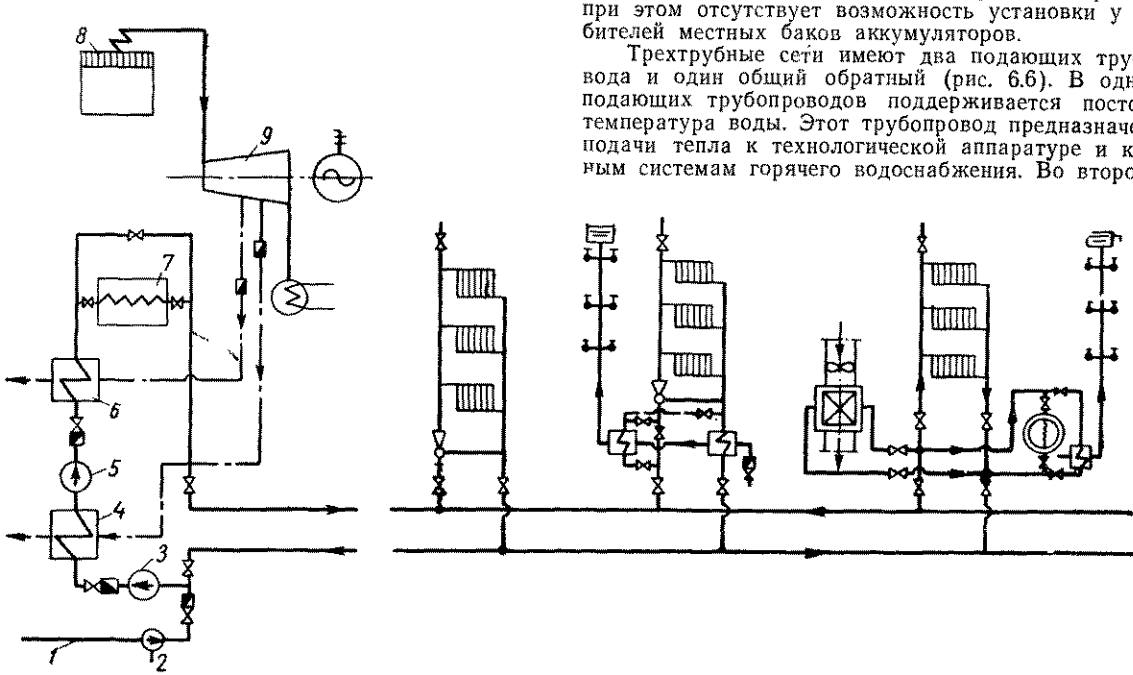


Рис. 6.5. Принципиальная схема закрытой двухтрубной водяной сети

1 — трубопровод подпиточной воды; *2* — подпиточный насос; *3* — первая группа сетевых насосов; *4* — первая ступень сетевых подогревателей; *5* — вторая группа сетевых насосов; *6* — вторая ступень сетевых подогревателей; *7* — пиковый котел; *8* — котел энергетический; *9* — турбина

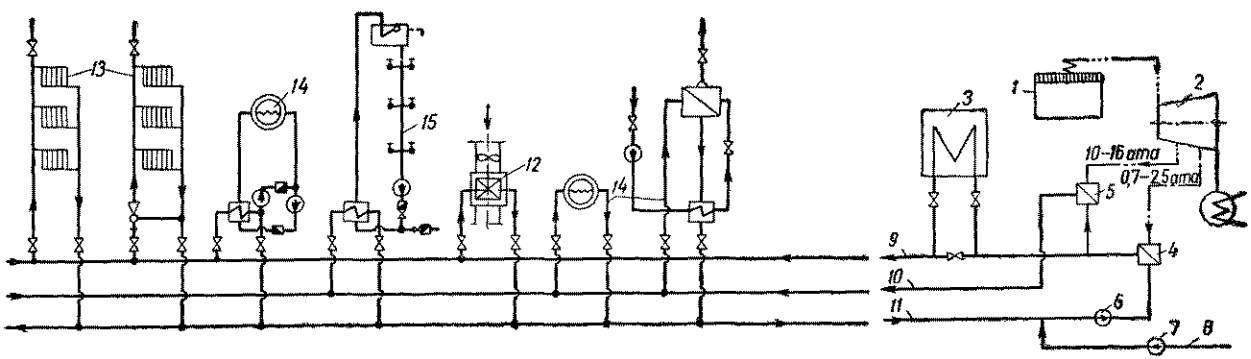


Рис. 6.6. Принципиальная схема трехтрубной водяной тепловой сети. Источник тепла ТЭЦ с турбинами типа ПТ

1 — энергетический котел; *2* — турбина; *3* — пиковый котел; *4* — подогреватель сетевой воды первой ступени; *5* — подогреватель сетевой воды второй ступени; *6* — сетевой насос; *7* — подпиточный насос; *8* — трубопровод подпиточной воды; *9* — подающий трубопровод для отопления и вентиляции; *10* — подающий трубопровод для горячего водоснабжения и технологии; *11* — общий обратный трубопровод; *12* — местная система вентиляции; *13* — местные системы отопления цехов и бытовых помещений; *14* — местные системы технологических трубопроводов; *15* — местная система горячего водоснабжения

дающем трубопроводе, предназначенном для подачи тепла к системам отопления и вентиляции, температура воды меняется по отопительному графику.

Технологическая аппаратура, от которой возможно поступление в сетевую воду вредных веществ, присоединяется к общей тепловой сети через промежуточный водяной контур, давление воды в котором должно быть ниже, чем в тепловой сети.

В трехтрубных системах там, где это возможно по параметрам технологических процессов, применяют многоступенчатое охлаждение сетевой воды с последовательным включением теплообменников.

В некоторых случаях трехтрубной системой условно называют сочетание двухтрубной циркуляционной си-

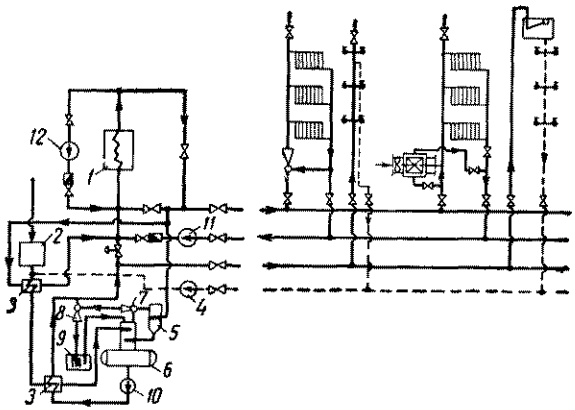


Рис. 6.7. Принципиальная схема четырехтрубной водяной сети. Источник тепла котельная

1 — водогрейный котел; *2* — химводоочистка; *3* — водоводяные подогреватели и охладители подпиточной воды; *4* — циркуляционный насос; *5* — расширитель; *6* — вакуумный деаэратор; *7* — пароструйный эжектор, *8*—водоструйный эжектор; *9* — бачок для отделения воздуха; *10*—подпиточный насос; *11* — сетевый насос; *12* — рециркуляционный насос

стемы для отопления и вентиляции с однотрубной системой для горячего водоснабжения.

Четырехтрубные водяные сети представляют собой сочетание двух двухтрубных циркуляционных водяных сетей: одной для подачи тепла на отопление и вентиляцию и второй для подачи тепла тем же потребителям на горячее водоснабжение или на технологические процессы (рис. 6.7).

Паровые тепловые сети (паропроводы) классифицируются по начальным параметрам транспортируемого пара (рис. 6.8) Близкие по заданному давлению пара потребители с разницей 3—5 *ат*, как правило, снабжаются паром от одной системы, подающей пар наибольшего давления.

У отдельных потребителей, расходующих пар более низкого давления на вводе паровой сети, предусмотрены редукционные или редукционно-увлажнительные установки.

При получении пара от промышленных котельных с параметрами пара на котлах выше требующихся всем потребителям в котельной предусматривается центральная редукционная или редукционно-увлажнительная установка. Централизованное снижение давления пара в котельной облегчает выбор труб и арматуры в паровой сети, повышает надежность работы и упрощает эксплуатацию.

Конденсатопроводы подразделяются на сборные и напорные.

Конденсат от теплообменников по сборным конденсатопроводам подается к сборным бакам конденсатных

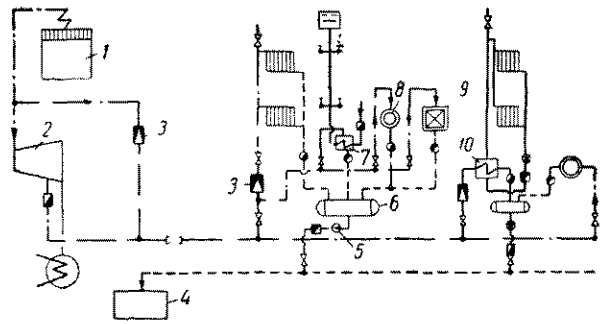


Рис. 6.8. Принципиальная схема паровой сети с возвратом конденсата

1 — котел паровой; *2* — турбина; *3* — редукционно-увлажнительная установка; *4* — приемный бак производственного конденсата; *5* — насосы перекачки конденсата; *6* — сборные баки конденсата; *7* — пароводяной подогреватель горячего водоснабжения; *8* — технологический теплообменник; *9* — калорифер системы вентиляции; *10* — пароводяной подогреватель водяной системы отопления

насосных, откуда по напорным конденсатопроводам насосами подается к источнику тепла (рис. 6.9).

Конденсатоотводчики могут подавать конденсат в общую сеть сборных конденсатопроводов при разнице в давлении пара перед отдельными конденсатоотводчиками не более 2,5—3 *ата*. При большей разнице давлений предусматривают отдельные системы сборных конденсатопроводов или же выравнивают давление в специальных бачках-расширителях. Высота установки бач-

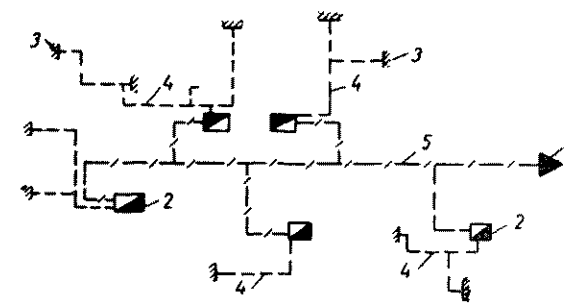


Рис. 6.9. Схема сборных и напорных конденсатопроводов

1 — источник тепла; *2* — конденсатные насосные, *3* — потребители пара; *4* — сборные конденсатопроводы; *5*—напорные конденсатопроводы

ка-расширителя должна быть достаточной для подачи конденсата по сборным конденсатопроводам к сборным бакам.

Бачки-расширители устанавливают в одной системе сборных конденсатопроводов на одной отметке, которая определяется для наиболее неблагоприятно располо-

женного потребителя как по дальности расстояния от сборного бака, так и по отметке пола здания.

Пар вторичного вскипания в бачках-расширителях при небольшом количестве выводится наружу, а при значительном (0,1 *т/ч* и более) — используется у потребителей.

Конденсатные насосные рекомендуется размещать в промышленных зданиях с большим возвратом конденсата 3—5 *т/ч* и более В сборные баки этих насосных подается конденсат от близко расположенных потребителей с меньшим выходом конденсата.

Количество насосных, работающих на общую систему напорных конденсатопроводов, практически не ограничивается, поэтому, как правило, сооружается одна система напорных конденсатопроводов.

Несколько систем напорных конденсатопроводов может сооружаться в магистральных тепловых сетях при возврате конденсата к крупному источнику тепла от отдельных предприятий с различными режимами в паропотреблении.

Системы сборных и напорных конденсатопроводов выполняются закрытыми. Избыточное давление создается паровой подушкой в сборных баках конденсата и принимается не менее 0,05 и не более 0,5 *кгс/см*^{2}.

Для образования паровой подушки используется пар из расширительного бачка конденсатной насосной или же из системы паропроводов.

Открытые системы сборных конденсатопроводов применяются, как исключение, при низком давлении пара у потребителей (до 2 *кгс/см*^{2}) или же при сборе и возврате замасленного конденсата.

Напорные конденсатопроводы как в открытой, так и в закрытой системах должны постоянно находиться под избыточным давлением независимо от рельефа местности и режима возврата конденсата.

При надземной прокладке напорных конденсатопроводов должна предусматриваться непрерывная откачка конденсата или же их обогрев при отрицательных температурах наружного воздуха.

ГЛАВА 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТЕПЛА

7.1. ЧАСОВЫЕ РАСХОДЫ ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ

Расходы тепла на отопление принимают по проектам местных систем отопления жилых и общественных зданий. Для городов, населенных мест, группы зданий или отдельных зданий можно определять расходы тепла по укрупненным показателям.

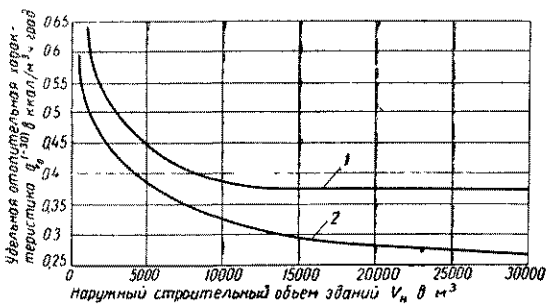


Рис. 7.1. График удельных отопительных характеристик жилых и общественных зданий в зависимости от наружного строительного объема зданий при $t_{н.о} = -30°$ С

1 — для зданий, построенных после 1958 г.; *2* — для зданий строительства до 1958 г.

Для определения максимальных часовых расходов тепла на отопление по укрупненным показателям применяют усредненные удельные отопительные характеристики зданий, представляющие собой удельный расход тепла на 1 $м^3$ здания по наружному обмеру на один градус разности температур между усредненной расчетной температурой воздуха внутри отапливаемых помещений и расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления. В соответствии с этим максимальный часовой расход тепла на отопление определяют по формуле

$$Q_0 = q_0 (t_{вн} - t_{н.о}) V_н \text{ ккал/ч}, \qquad (7.1)$$

где q_0 — удельная отопительная характеристика жилых и общественных зданий при $t_{н.о}$ в *ккал/м³ ч град*;

$t_{вн}$ — усредненная расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий в °С; принимают по табл. 7.1;

$t_{н.о}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С; см. табл. 1.3;

$V_н$ — наружный строительный объем зданий (без подвала) в $м^3$.

Таблица 7.1

Усредненные расчетные температуры внутреннего воздуха (по СНиП II-Г.10-62)

Назначение зданий	$t_{вн}$ в °С
Жилые здания, гостиницы, общежития, административные здания	+18
Учебные заведения, общеобразовательные школы, школы-интернаты, лаборатории, предприятия общественного питания, клубы, дома культуры	+16
Театры, магазины, прачечные, пожарные депо	+15
Кинотеатры	+14
Гаражи	+10
Детские ясли-сады, поликлиники, амбулатории, диспансеры, больницы	+20
Бани	+25

Примечание. При отсутствии перечня общественных зданий с указанием их назначения расчетную температуру внутреннего воздуха для всех зданий принимают $t_{вн} = +18°$ С.

Удельные отопительные характеристики жилых и общественных зданий определяют по материалам типовых серий, примененных для застройки данного района. При отсутствии сведений о типовой серии зданий удельные отопительные характеристики можно определять по графику рис. 7.1 или по табл. 7.2.

В табл. 7.2 и на графике рис. 7.1 даны удельные отопительные характеристики $q_0^{(-30)}$, отнесенные к расчетной температуре наружного воздуха $t_{н.о} = -30°$ С, в связи с этим удельные отопительные характеристики для других климатических районов пересчитывают по формуле

$$q_0 = q_0^{(-30)} \eta \text{ ккал/м}^3 \text{ ч град}, \qquad (7.2)$$

где η — коэффициент, учитывающий климатические условия района, принимают:

при $t_{н.о} \geqslant -10$ °С . . . . . $\eta = 1{,}2$

„ $t_{н.о} = -20$ °С . . . . . $\eta = 1{,}1$

„ $t_{н.о} \leqslant -40$ °С . . . . . $\eta = 0{,}9$

Таблица 7.2

Удельные отопительные характеристики жилых и общественных зданий в зависимости от этажности застройки при $t_{н.о} = -30°$ С (по СНиП II-Г.10-62)

Этажность застройки	$q_0^{(-30)}$ в *ккал/м³ ч град*
1	0,6—0,7
2—3	0,4—0,5
4—5	0,35—0,4
6 и более этажей	0,3—0,4

Примечание. При отсутствии данных об этажности общественных зданий удельную отопительную характеристику для этих зданий принимают равной 0,4 *ккал/м³ ч град*.

Удельные расходы тепла на отопление на 1 $м^2$ жилой площади, учитывающие климатические условия района, могут быть определены по графику рис. 7.2.

Расход тепла на отопление при температурах наружного воздуха, отличных от расчетной, принимают: если температура наружного воздуха ниже расчетной — равным максимальному часовому расходу тепла, определенному по формуле (7.1); если температура наружного воздуха выше расчетной — пропорционально расчетной разности температур по формуле

$$Q_0^x = Q_0 \frac{t_{вн} - t_н^x}{t_{вн} - t_{н.о}} \text{ ккал/ч}, \qquad (7.3)$$

где $t_н^x$ — температура наружного воздуха, при которой определяют расход тепла, в °С.

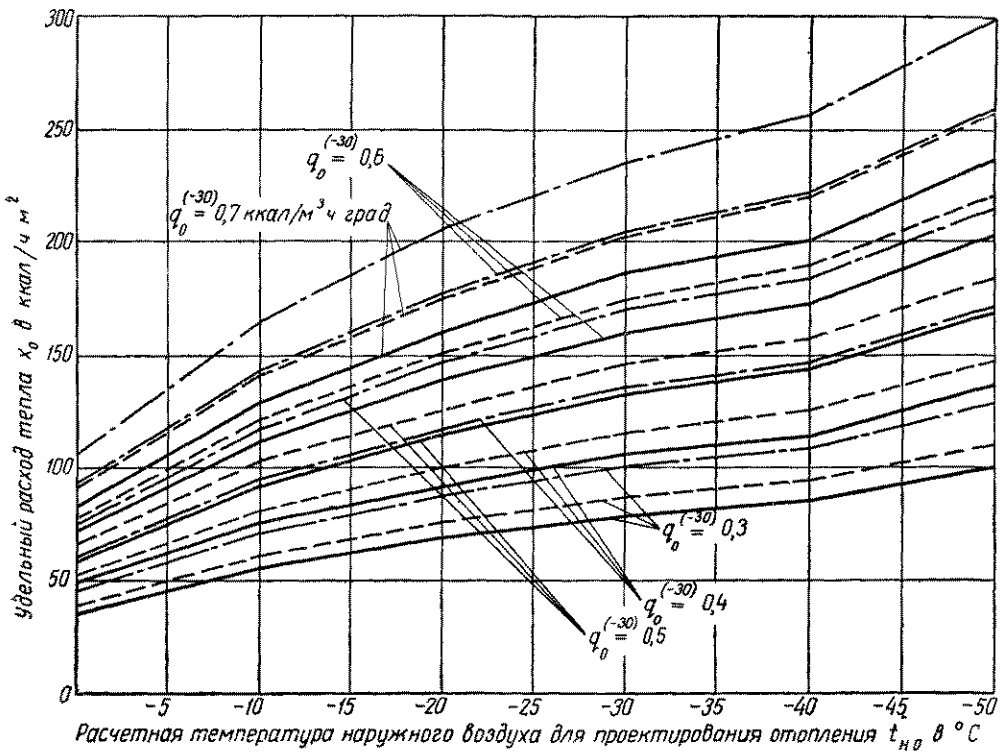


Рис. 7.2. График удельных расходов тепла на 1 $м^2$ жилой площади

——— кривые x_0 при отношении наружного строительного объема к жилой площади здания $\omega = 5{,}5$ $м^3/м^2$;
— — — — то же, при $\omega = 6$ $м^3/м^2$;
— — — — то же, при $\omega = 7$ $м^3/м^2$

Объем одного здания принимают: при проектировании магистральных тепловых сетей — по среднему наружному строительному объему одного здания в микрорайоне; при проектировании распределительных тепловых сетей — для каждого здания по его наружному строительному объему, а при отсутствии этих данных — по среднему объему одного здания в микрорайоне; при проектировании ответвлений тепловых сетей к отдельным зданиям — по наружному строительному объему данного здания.

Максимальный часовой расход тепла на отопление общественных зданий можно принимать ориентировочно 25% от максимального часового расхода тепла жилых зданий.

Расходы тепла на вентиляцию общественных зданий, в которых проектируют приточную вентиляцию с подогревом воздуха, принимают по проектам местных систем вентиляции. При отсутствии проектов местных систем расходы тепла для этих зданий (кроме уникальных зданий — театров, высотных и т. п., а также зданий с установками для кондиционирования воздуха) можно определять по укрупненным показателям.

Для определения максимальных часовых расходов тепла на вентиляцию по укрупненным показателям применяют удельные вентиляционные характеристики зданий, представляющие собой удельный расход тепла на 1 $м^3$ вентилируемого здания по наружному обмеру на один градус разности температур между усреднен-

ной расчетной температурой воздуха внутри вентилируемых помещений и расчетной температурой наружного воздуха для проектирования вентиляции. В соответствии с этим максимальный часовой расход тепла на вентиляцию определяют по формуле:

$$Q_в = q_в (t_{вн} - t_{н.в})\ ккал/ч, \qquad (7.4)$$

где $q_в$ — удельная вентиляционная характеристика общественных зданий в *ккал/м³ ч град*;

$t_{н.в}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции в °С, см. табл. 1.3.

Удельные вентиляционные характеристики общественных зданий принимают по типовым проектам зданий, а при их отсутствии — в зависимости от назначения зданий по табл. 7.3.

Таблица 7.3

Удельные вентиляционные характеристики общественных зданий (по СНиП II-Г.10-62)

Назначение зданий	Удельные вентиляционные характеристики $q_в$ *ккал/м³ ч град*
Административные здания, здания научно-исследовательских и проектных институтов	0,18
Клубы	0,2
Театры, кинотеатры	0,4
Магазины, учебные заведения, пожарные депо	0,1
Поликлиники, диспансеры, амбулатории	0, 5
Больницы	0,3
Бани, лаборатории	1
Предприятия общественного питания, гаражи	0,7
Прачечные	0,8
Детские ясли-сады	0,1
Школы общеобразовательные	0,08

Примечание. При отсутствии перечня общественных зданий усредненную удельную вентиляционную характеристику принимают равной 0,2 *ккал/м³ч град* к суммарному объему всех общественных зданий.

При отсутствии списка общественных зданий с указанием их назначения усредненную удельную вентиляционную характеристику принимают равной $q_в = 0{,}2$ *ккал/м³ ч град*; в этом случае при определении расхода тепла на вентиляцию по формуле (7.4) учитывают суммарный наружный объем всех общественных зданий, который принимают по данным генпланов городов, если же данных нет — принимают равным 30% от объема жилых зданий.

Расход тепла на вентиляцию при температурах наружного воздуха, отличных от расчетной, принимают: если температура наружного воздуха ниже расчетной — равным максимальному часовому расходу тепла, определенному по формуле (7.4), что достигается сокращением кратности обмена воздуха в этот период; если температура наружного воздуха выше расчетной — пропорционально расчетной разности температур по формуле

$$Q^x_в = Q_в \frac{t_{вн} - t^x_н}{t_{вн} - t_{н.в}}\ ккал/ч. \qquad (7.5)$$

Для ориентировочных расчетов можно принимать, что максимальный часовой расход тепла на вентиляцию общественных зданий составляет примерно 30—50% от соответствующего расхода на отопление или 7—12,5% от расхода тепла на отопление жилых зданий.

Удельные часовые расходы тепла на одного жителя можно определить по графику рис. 7.3, при составлении которого расход тепла на вентиляцию общественных зданий учтен в размере 30% от расходов тепла на их отопление.

Расходы тепла на отопление, вентиляцию и технологические процессы промышленных зданий определяют по проектам местных систем или по укрупненным показателям на основании инструкций специализированных проектных организаций.

7.2. ЧАСОВЫЕ РАСХОДЫ ТЕПЛА НА БЫТОВОЕ ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Расход тепла на бытовое горячее водоснабжение отдельных жилых, общественных и промышленных зданий или группы однотипных зданий определяют по нормам расхода горячей воды с температурой 65° С, приведенным в СНиП II-Г.8-62. Максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение за сутки наибольшего водопотребления $Q_г^{макс}$, а также среднечасовой расход тепла за неделю $Q_г^{ср.н}$ для жилых и общественных зданий различного назначения определяют по формулам, приведенным в табл. 7.4. Значения коэффициентов неравномерности потребления горячей воды приведены в табл. 7.5.

Среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за сутки наибольшего водопотребления определяют по формуле

$$Q^{ср}_г = k_с Q^{ср.н}_г\ ккал/ч, \qquad (7.6)$$

где $k_с$ — коэффициент суточной неравномерности расхода тепла за неделю, принимают для жилых и общественных зданий $k_с = 1{,}2$, а для промышленных зданий и предприятий — $k_с = 1$.

Расходы тепла на бытовое горячее водоснабжение микрорайонов или кварталов городов и населенных мест, а также промышленных предприятий за сутки наибольшего водопотребления определяют по формулам: среднечасовой

$$Q^{ср}_г = k_с \Sigma Q^{ср.н}_г\ ккал/ч; \qquad (7.7)$$

максимальный часовой

$$Q^{макс}_г = k_ч Q^{ср}_г\ ккал/ч, \qquad (7.8)$$

где $Q^{ср.н}_г$ — среднечасовой расход тепла за неделю на горячее водоснабжение каждого здания, определяемый по формулам, приведенным в табл. 7.1, в *ккал/ч*;

$k_с$ — коэффициент суточной неравномерности расхода тепла за неделю; принимают для населенных мест $k_с = 1{,}2$, а для промышленных предприятий $k_с = 1$;

$k_ч$ — коэффициент часовой неравномерности расхода тепла за сутки наибольшего водопотребления; принимают для населенных мест $k_ч = 1{,}7 \div 2$; а для промышленных предприятий $k_ч = 1$.

При составлении схем теплоснабжения городов или районов, а также при проектировании магистральных

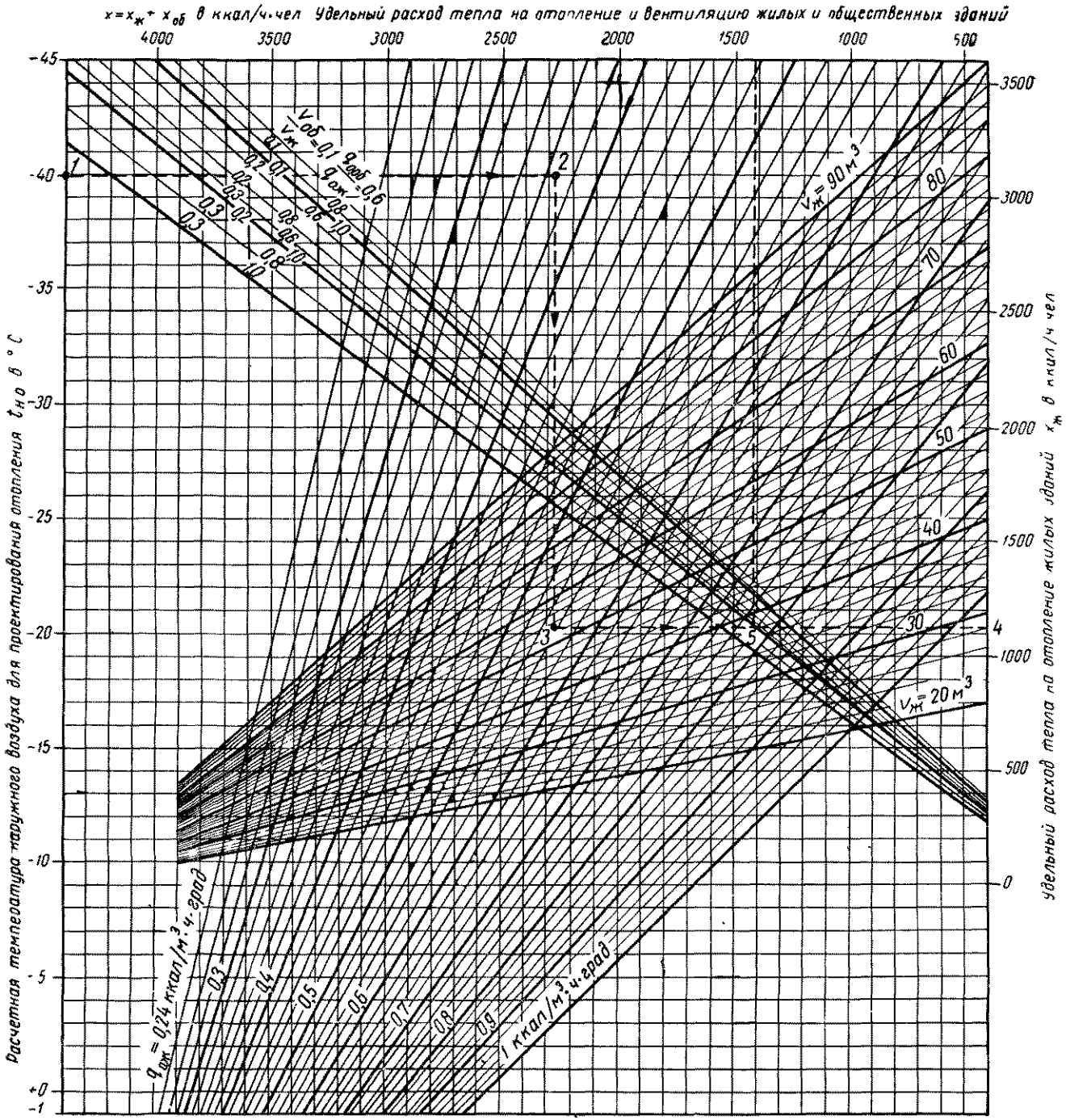


Рис. 7.3. График для определения удельных часовых расходов тепла на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий на одного человека

$q_{о.ж}$, $q_{о.об}$ — удельные отопительные характеристики жилых и общественных зданий; $v_ж$; $v_{об}$ — удельный наружный объем жилых и общественных зданий на одного человека $v_ж = f\omega$ $м^3/чел$; f — норма жилой площади на человека в $м^2/чел$, ω — отношение наружного строительного объема к жилой площади здания в $м^3/м^2$

Таблица 74

Формулы для определения максимальных часовых расходов тепла на бытовое горячее водоснабжение за сутки наибольшего водопотребления и среднечасовых за неделю отдельными жилыми, общественными и промышленными зданиями или группой однотипных зданий

Потребители	Единицы потребления	Расчетные формулы для определения расходов тепла на горячее водоснабжение		Количество единиц потребления, m	Коэффициент неравномерности расхода горячей воды, k
		максимальных часовых за сутки наибольшего водопотребления $Q_г^{макс}$ в *ккал/ч*	среднечасовых за неделю $Q_г^{ср\ н}$ в *ккал/ч*		
Жилые дома	1 житель в сутки	$k\frac{ma\,(65-t_{х.з})}{24}=2{,}5kma$	$\frac{ma\,(65-t_{х.з})}{24}=2{,}5ma$	Количество людей в здании или группе зданий	По СНиП II-Г. 8-62
Общежития				Количество людей, проживающих в общежитии	
Гостиницы и пансионаты				Количество людей, проживающих в гостинице	
Больницы	1 койка в сутки			Количество коек	
Санатории и дома отдыха					
Поликлиники и амбулатории	1 посетитель	$ma\,(65-t_{х.з})=60ma$	$\frac{ma\,(65-t_{х.з})\,T}{kT_з}=\frac{60maT}{kT_з}$	Количество посетителей в час	По табл 7,5
Душевые	1 душевая сетка в час		$\frac{ma\,(65-t_{х.з})\,T_{душ}}{T_з}=\frac{60maT_{душ}}{T_з}$	Количество душевых сеток	—
Бани	1 посетитель		$\frac{ma\,(65-t_{х.з})\,T}{kT_з}=\frac{60maT}{kT_з}$	Количество посетителей бани в час, равное количеству мест в раздевальной	По табл 7.5
Прачечные	1 *кг* сухого белья			Производительность прачечной в *кг* белья в час	
Школы-интернаты	1 место в сутки	$\frac{ma\,(65-t_{х.з})}{24}k=2{,}5\,kma$	$\frac{ma\,(65-t_{х.з})}{24}=2{,}5ma$	Количество мест[3]	По СНиП II-Г 8-62
Детские ясли-сады	1 ребенок в сутки			Количество детей в яслях-садах	По табл. 7,5
Учебные заведения	1 учащийся в смену	$\frac{kma\,(65-t_{х.з})}{T}=\frac{60mak}{T}$	$\frac{ma\,(65-t_{х.з})}{T_з}=\frac{60ma}{T_з}$	Количество учащихся в смену	

Продолжение табл. 7.4

Потребители	Единицы потребления	Расчетные формулы для определения расходов тепла на горячее водоснабжение: максимальных часовых за сутки наибольшего водопотребления $Q_г^{макс}$ в *ккал/ч*	Расчетные формулы для определения расходов тепла на горячее водоснабжение: среднечасовых за неделю $Q_г^{ср.н}$ в *ккал/ч*	Количество единиц потребления, m	Коэффициент неравномерности расхода горячей воды, k
Предприятия общественного питания	1 блюдо	$ma\,(65 - t_{х.з}) = 60ma$	$\frac{ma\,(65 - t_{х.з})\,T}{kT_з} = \frac{60maT}{kT_з}$	Количество реализованных блюд в час $m = 22{,}2Np$, где N — количество посадочных мест; p — количество посадок в час, принимаемое: для столовых открытого типа и кафе $p=2$; для столовых при промышленных предприятиях и студенческих $p=3$; для ресторанов $p=1{,}5$	По табл. 7.5
Водоразборные точки	1 точка в час	$ma\,(65 - t_{х.з}) = 60ma$	$\frac{ma\,(65 - t_{х.з})\,T}{T_з} = 60ma\frac{T}{T_з}$	Количество точек	—
Краны умывальников	1 точка в час	$ma\,(65 - t_{х.з}) = 60ma$	$\frac{ma\,(65 - t_{х.з})\,T}{T_з} = 60ma\frac{T}{T_з}$	Количество точек	—
Гаражи	1 машина	$ma\,(65 - t_{х.з}) = 60ma$	$\frac{ma\,(65 - t_{х.з})\,T}{kT_з} = \frac{60maT}{k'_з}$	Количество обслуживаемых машин	По табл. 7.5

В таблице приняты следующие обозначения:

a — норма расхода горячей воды в *л* при температуре 65° С, принимают по СНиП II-Г. 8-62;

m — расчетное количество единиц потребления;

$t_{х.з}$ — температура холодной (водопроводной) воды в зимний период (при отсутствии данных принимают $t_{х.з} = +5$ °С);

k — коэффициент неравномерности расхода горячей воды (суточной за неделю и часовой за сутки наибольшего водопотребления);

$T_{душ}$ — число часов работы душевых сеток в сутки;

$T_з$ — число часов зарядки баков-аккумуляторов системы горячего водоснабжения в сутки, а для учебных заведений в смену. Для промышленных зданий принимают число часов зарядки баков-аккумуляторов в смену, не менее:

при числе душевых сеток до 5	1
то же, от 6 до 20	2
„ „ 21 „ 30	3
„ „ 31 и более	4

T — число часов работы общественного здания или предприятия в сутки, а для учебных заведений — число часов работы в смену.

Примечания: 1. Упрощенные формулы даны при значении $t_{х.з} = +5$ °С.

2. При отсутствии баков-аккумуляторов $T_з$ принимают $T_з = T$.

3. Как для общежитий.

Таблица 7.5

Значения коэффициента неравномерности потребления горячей воды для некоторых общественных зданий

Потребитель	Значения коэффициента неравномерности k
Поликлиники и амбулатории	2
Бани	2
Прачечные	1,5
Детские ясли-сады	4
Учебные заведения	3
Предприятия общественного питания	2
Гаражи	1,5

тепловых сетей обычно отсутствует перечень общественных зданий, поэтому нельзя определить расход тепла по табл. 7.4. В этом случае можно определять среднесуточный расход воды всеми общественными зданиями, исходя из нормы расхода горячей воды температурой 65° С, на одного жителя в сутки в размере 20—25 *л*, что составит 1200—1500 *ккал/сутки*. Тогда для городов и населенных мест среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за сутки наибольшего водопотребления в зависимости от общего числа жителей можно определять по формуле

$$Q_г^{ср} = 1{,}2\frac{m\,(a+b)\,(65 - t_{х.з})}{24} = 3m\,(a+b)\ ккал/ч, \qquad (7.9)$$

а максимальный часовой расход тепла по формуле

$$Q_г^{макс} = 2Q_г^{ср} \; ккал/ч, \qquad (7.10)$$

где a — норма расхода горячей воды в $л$ при температуре 65° С для жилых зданий на одного жителя, принимаемая по СНиП II-Г.8-62;

b — расход горячей воды в $л$ при температуре 65° С для всех общественных зданий города или населенного места на одного жителя; можно принимать 20—25 $л$ в сутки;

m — число жителей в городе или населенном месте;

$t_{х.з}$ — температура холодной (водопроводной) воды в зимний период в °С (при отсутствии данных принимают $t_{х.з} = +5°$ С).

Суммарный среднесуточный расход воды и удельные среднечасовые расходы тепла на горячее водоснабжение на одного жителя в зависимости от характера застройки могут быть приняты по табл. 7.6 при полном обеспечении населения ваннами, прачечными и общественным питанием.

Таблица 7.6

Суммарные среднесуточные расходы воды и среднечасовые расходы тепла на горячее водоснабжение для жилых и общественных зданий на одного жителя

Характер застройки	Среднесуточный расход воды на одного жителя *л/чел.сутки* при температуре воды $t_г = 60°$ С	Среднечасовой расход тепла на одного жителя *ккал/чел. ч*
Старый жилой фонд	125	285
Жилищное строительство последних лет	135	310
Районы с малометражными квартирами	145	335

7.3. ГОДОВЫЕ РАСХОДЫ ТЕПЛА ЖИЛЫМИ И ОБЩЕСТВЕННЫМИ ЗДАНИЯМИ

Годовой расход тепла жилыми и общественными зданиями определяют по формуле

$$Q^{год} = Q_о^{год} + Q_в^{год} + Q_г^{год} \; Гкал/год, \qquad (7.11)$$

где $Q_о^{год}$ — годовой расход тепла на отопление жилых и общественных зданий в *Гкал/год*;

$Q_в^{год}$ — годовой расход тепла на вентиляцию общественных зданий в *Гкал/год*;

$Q_г^{год}$ — годовой расход тепла на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий в *Гкал/год*.

Годовые расходы тепла жилыми и общественными зданиями по видам теплопотребления (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение) определяют по формулам:

на отопление

$$Q_о^{год} = Q_о \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{ср}}{t_{вн} - t_{н.о}} n_о \; ккал/год; \qquad (7.12)$$

на вентиляцию

$$Q_в^{год} = \frac{Q_в z_в}{24} \left[n_в + \frac{t_{вн} - t_{н.в}^{ср}}{t_{вн} - t_{н.в}} (n_о - n_в) \right] ккал/год; \qquad (7.13)$$

на горячее водоснабжение

$$Q_г^{год} = Q_г^{ср.н} n_о + 0{,}8 Q_г^{ср.н} \frac{60 - t_{х.л}}{60 - t_{х.з}} \times \times (8400 - n_о) \; ккал/год. \qquad (7.14)$$

В этих формулах:

$Q_о$; $Q_в$ — максимальные часовые расходы тепла на отопление и вентиляцию в *ккал/ч*;

$Q_г^{ср.н}$ — среднечасовой за неделю расход тепла на горячее водоснабжение в *ккал/ч*;

$n_о$ — продолжительность отопительного периода в часах (см. табл. 1.3);

$n_в$ — число часов в отопительном периоде с температурами наружного воздуха ниже расчетной для проектирования вентиляции (при $t_{н.в} = t_{н.о}$ $n_в = 0$);

$z_в$ — число часов работы вентиляции в течение суток;

$t_{вн}$ — усредненная температура внутреннего воздуха зданий в °С;

$t_{н.о}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С;

$t_{н.в}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции в °С;

$t_{н.о}^{ср}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период в °С;

$t_{н.в}^{ср}$ — средняя температура наружного воздуха в диапазоне отопительного периода от расчетной температуры для проектирования вентиляции и выше в °С;

$t_{х.з}$; $t_{х.л}$ — температура холодной (водопроводной) воды в зимний и летний периоды; при отсутствии данных принимают: $t_{х.з} = +5°$ С; $t_{х.л} = +15°$ С;

0,8 — коэффициент, учитывающий снижение часового расхода воды на горячее водоснабжение в летний период;

8400 — число часов работы системы горячего водоснабжения в год.

Среднюю температуру наружного воздуха за любой интервал температур отопительного периода определяют как алгебраическую сумму произведений средних температур наружного воздуха на продолжительность их стояния по формуле

$$t_н^{ср} = \frac{n_1 t_{н1}^{ср} + n_2 t_{н2}^{ср} + \dots + n_m t_{нm}^{ср}}{n_1 + n_2 + \dots + n_m} °С, \qquad (7.15)$$

где n_1, n_2, ..., n_m — средняя продолжительность стояния наружных температур для интервалов через каждые 5° С в сутках или часах;

$t_{н1}^{ср}$, $t_{н2}^{ср}$, ..., $t_{нm}^{ср}$ — средние температуры наружного воздуха для тех же интервалов в °С.

Значения n_1, n_2, ..., n_m и $t_{н1}^{ср}$, $t_{н2}^{ср}$, ..., $t_{нm}^{ср}$ см. табл 1.3.

ГЛАВА 8

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛА

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В паровых сетях осуществляется местное регулирование отпуска тепла.

В водяных тепловых сетях основное регулирование отпуска тепла в зависимости от температуры наружного воздуха осуществляется центрально (на ТЭЦ или в котельной), как правило, следующими способами:

изменением температуры воды в подающем трубопроводе без регулирования расхода воды (качественное регулирование);

изменением расхода сетевой воды при сохранении постоянной температуры воды в подающем трубопроводе (количественное регулирование).

изменением температуры воды в подающем трубопроводе с соответствующим изменением расхода воды (качественно-количественное регулирование).

Для корректирования центрального регулирования в водяных тепловых сетях проводится дополнительно групповое местное регулирование на центральных тепловых пунктах (промышленных предприятий и жилых кварталов) и на тепловых пунктах зданий, а также местное индивидуальное регулирование на отдельных агрегатах и приборах.

Рассматриваемые ниже графики регулирования отпуска тепла от ТЭЦ или центральной котельной носят при проектировании вспомогательный характер, поэтому при их построении вносят следующие упрощения:

температура внутреннего воздуха всех отапливаемых и вентилируемых помещений зданий принимается одинаковой (для тепловых сетей жилых районов и общих тепловых сетей промышленных предприятий и жилых районов +18° С; для тепловых сетей промышленных районов по преобладающей температуре в промышленных предприятиях данного района, а при отсутствии данных +16° С);

внутренние тепловыделения в жилых и общественных зданиях не учитываются;

максимальный и средний расходы тепла на горячее водоснабжение в течение отопительного периода принимаются постоянными.

Наличие в отдельных группах зданий значительных внутренних тепловыделений или резкого отклонения внутренней температуры от принятой при построении графика центрального регулирования должно учитываться в специальных эксплуатационных графиках местного регулирования.

В приведенных ниже формулах для расчета графиков регулирования отпуска тепла приняты следующие основные обозначения:

$Q_о$; $Q_в$ — расходы тепла на отопление и вентиляцию в *ккал/ч* при произвольной температуре наружного воздуха;

$Q_г$, $Q_г^{ср}$, $Q_г^{макс}$ — произвольный, среднечасовой и максимальный часовой расходы тепла на горячее водоснабжение в *ккал/ч*;

$Q_г^б = Q_г^{ср} \varkappa_б$ — «балансовый» часовой расход тепла на горячее водоснабжение, при котором для последовательных двухступенчатых схем обеспечивается суточный баланс тепла на отопление в *ккал/ч*;

$\varkappa = \frac{Q_г}{Q_г^{ср}}$; $\varkappa_б = \frac{Q_г^б}{Q_г^{ср}}$; $\varkappa_{макс} = \frac{Q_г^{макс}}{Q_г^{ср}}$ — произвольный, «балансовый» и максимальный коэффициенты нагрузки горячего водоснабжения (величина $\varkappa_{макс}$ равна коэффициенту часовой неравномерности нагрузки горячего водоснабжения $K_ч$);

$\rho = \frac{Q_г}{Q_о'}$, $\rho_{ср} = \frac{Q_г^{ср}}{Q_о'}$; $\rho_б = \frac{Q_г^б}{Q_о'}$ и $\rho_м = \frac{Q_г^{макс}}{Q_о'}$ — отношения произвольного, среднечасового, «балансового» и максимального часового расходов тепла на горячее водоснабжение к расчетному расходу тепла на отопление;

Q_I, $Q_I^{ср}$, $Q_I^б$, $Q_I^{макс}$ — производительность ступени I двухступенчатых подогревателей горячего водоснабжения при произвольном, среднечасовом, «балансовом» и максимальном часовом расходах тепла в *ккал/ч*;

$\theta = \frac{Q_I}{Q_г}$; $\theta_{ср} = \frac{Q_I^{ср}}{Q_г^{ср}}$; $\theta_б = \frac{Q_I^б}{Q_г^б}$; $\theta_м = \frac{Q_I^{мак}}{Q_г^{макс}}$ — производительность ступени I подогревателей при произвольном, среднем, «балансовом» и максимальном часовом расходах тепла в долях от общей производительности обеих ступеней подогревателей при этих же расходах тепла;

$G_о$, $G_в$ — расходы воды на отопление и вентиляцию в *кг/ч* при произвольной температуре наружного воздуха;

$G_г$, $G_г^{ср}$, $G_г^{макс}$ — произвольный, среднечасовой и максимальный часовой расходы сетевой воды на горячее водоснабжение при закрытых тепловых сетях в *кг/ч*;

G, $G_{ср}$, $G_б$, $G_{макс}$ — произвольный, среднечасовой, «балансовый» и максимальный часовой общие (на отопление и горячее водоснабжение) расходы сетевой воды в *кг/ч*;

$\varphi = \frac{G}{G_o'}$, $\varphi_{ср} = \frac{G_{ср}}{G_o'}$, $\varphi_б = \frac{G_б}{G_o'}$, $\varphi_м = \frac{G_{макс}}{G_o'}$ — отношение произвольного, среднего, «балансового» и максимального общих расходов сетевой воды к расчетному расходу воды на отопление в *кг/ч*,

$G_{г.м}$, $G_{г.м}^{ср}$, $G_{г.м}^{макс}$ — произвольный, среднечасовой и максимальный часовой расходы воды, поступающей в местную систему горячего водоснабжения, в *кг/ч*,

$G_{1г}$, $G_{2г}$ — количества воды, отбираемые из подающего и обратного трубопроводов открытых тепловых сетей на горячее водоснабжение, в *кг/ч*;

$t_в$ — расчетная температура внутреннего воздуха в °С;

$t_н$ — произвольная (текущая) температура наружного воздуха в °С, для которой определяют температуры и расход воды;

$t_{н.о}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С;

$t_{н.в}$ — расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции в °С;

$t_н'''$ — температура наружного воздуха в точке излома графика температур воды (см. рис. 8.5) в °С,

τ_1 — температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети в °С;

$\tau_{1\,о}$, $\tau_{1\,о.б}$, $\tau_{1\,о.м}$ — температуры воды в подающем трубопроводе перед элеватором (или смешивающим насосом) в °С при произвольном, «балансовом» и максимальном часовом расходах тепла на горячее водоснабжение в случае двухступенчатой последовательной схемы (для скорректированных графиков $\tau_{о\,1}$ — температура воды в подающем трубопроводе по отопительному графику),

$\tau_с$ — температура воды в подающем трубопроводе местных систем отопления после смешения в °С;

$\tau_{2\,о}$ — температура воды в обратном трубопроводе местных систем отопления в °С;

$\tau_{2\,о.б}$, $\tau_{2\,о.м}$ — то же, при «балансовом» и максимальном часовых расходах тепла на горячее водоснабжение в случае двухступенчатой последовательной схемы;

$\tau_{2в}$ — температура воды в обратном трубопроводе местных систем вентиляции в °С;

$\tau_{2г}$ — температура воды в обратном трубопроводе подогревателей горячего водоснабжения в случае параллельной схемы их включения в °С;

τ_2, $\tau_{2ср}$, $\tau_{2б}$, $\tau_{2м}$ — температуры воды в общем обратном трубопроводе при произвольном, среднечасовом, «балансовом» и максимальном часовом расходах тепла на горячее водоснабжение в °С;

$\tau_{пр} = 0{,}5(\tau_с + \tau_{2\,о})$ — средняя температура нагревательных приборов систем отопления в °С;

$\tau_к = 0{,}5(\tau_1 + \tau_{2в})$ — средняя температура поверхности нагрева калориферов в °С;

$t_г$ — температура горячей воды, поступающей в местную систему горячего водоснабжения, в °С;

$t_х$ — температура холодной воды, поступающей в местную систему горячего водоснабжения в закрытых системах, в °С;

$t_п$ — температура местной воды после ступени I двухступенчатого подогревателя горячего водоснабжения в °С при произвольном расходе тепла на горячее водоснабжение;

$\Delta_б''$; $\Delta_м''$ — разность температур сетевой и местной воды в конце ступени I двухступенчатого подогревателя горячего водоснабжения (считая по ходу местной воды) при «балансовом» и максимальном часовом расходах тепла в точке излома температурного графика $t_н'''$ в °С;

$k_о$, $k_в$, $k_г$ — коэффициенты теплопередачи нагревательных приборов систем отопления, калориферов и подогревателей горячего водоснабжения в *ккал/м² ч °С*;

u — коэффициент смешения;

n — длительность работы отопительных систем в течение суток в *ч/сутки*.

Приведенные выше расходы тепла Q, расходы сетевой воды G, отношения θ и φ, температуры воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети и в местных системах, средние температуры и коэффициенты теплопередачи нагревательных приборов систем отопления, калориферов и подогревателей горячего водоснабжения для произвольной (текущей) температуры наружного воздуха $t_н$ обозначены без дополнительных индексов.

Те же величины при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{н.о}$ обозначают с одним штрихом ′, при температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{н.в}$ с двумя штрихами ″ и при температуре наружного воздуха $t_н'''$ в точке излома графика — с тремя штрихами ‴.

8.2. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ

Установившийся тепловой режим систем отопления при всех способах непрерывного регулирования определяют:

$$\bar{Q}_о = \frac{t_в - t_н}{t_в - t_{н.о}} = \frac{G_о(\tau_1 - \tau_{2о})}{G_о'(\tau_о' - \tau_{2о}')} = \frac{k_о(\tau_{пр} - t_в)}{k_о'(\tau_{пр}' - t_в)}, \quad (8.1)$$

где $\bar{Q}_о = \frac{Q_о}{Q_о'}$ — относительный расход тепла на отопление.

Все величины со штрихом ′ относятся к расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{н.о}$.

Центральное качественное регулирование

Центральное качественное регулирование отпуска тепла на отопление, как правило, принимают за основу в двухтрубных водяных тепловых сетях, где основной вид нагрузки — отопление

При водяных системах отопления коэффициент теплопередачи нагревательных приборов обычно определяют из выражения

$$k_о = c_о(\tau_{пр} - t_в)^{0{,}25},$$

где $c_о$ — постоянный коэффициент.

В этом случае температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети τ_1, после систем отопления

τ_{2o} и в подающем трубопроводе местных отопительных систем τ_c определяют по формулам:

$$\tau_1 = t_в + (\tau'_{пр} - t_в)\,\overline{Q}_o^{0,8} + (\tau'_1 - \tau'_{пр})\,\overline{Q}_o; \qquad (8.2)$$

$$\tau_{2o} = \tau_1 - (\tau'_1 - \tau'_{2o})\,\overline{Q}_o; \qquad (8.3)$$

$$\tau_c = \tau_1 - (\tau'_1 - \tau'_c)\,Q_o. \qquad (8.4)$$

Относительную нагрузку отопления $\overline{Q}_o$ при произвольно принятой температуре наружного воздуха $t_н$ определяют из первого уравнения формулы (8.1).

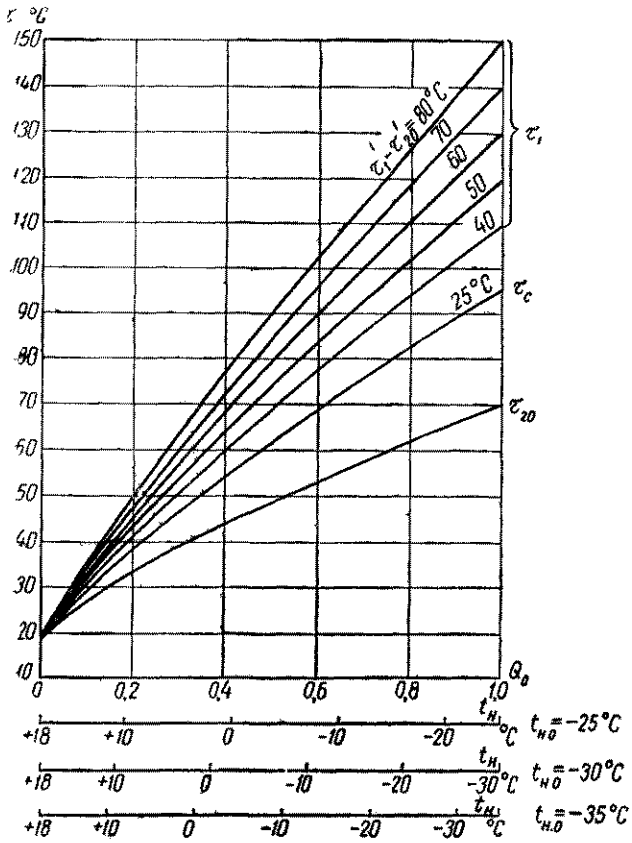


Рис. 8.1. Отопительный график температур воды при качественном регулировании

Расход сетевой воды при произвольной температуре наружного воздуха находят по формуле[1]

$$G_o = \frac{Q_o}{\tau_1 - \tau_{2o}}. \qquad (8.5)$$

Этот расход сетевой воды при всех температурах наружного воздуха остается постоянным и равным расчетному расходу $G_o = G'_o$.

Значения τ_1, τ_c и τ_{2o} для $t_в = 18°C$ и $\tau'_c - \tau'_{2o} = 25°C$ приведены в табл. 8.1 и на рис. 8.1.

[1] Теплоемкость воды $c = 1$ *ккал/кг град.*

Таблица 8.1

Температуры воды при качественном регулировании отпуска тепла водяным системам отопления

$\overline{Q}_o = \frac{Q_o}{Q_o^1}$	Температуры воды τ_1						Температура воды τ_{2o} в °C
	$\tau'_c = \tau'_1 = 95$°C	$\tau'_1 = 110$°C	$\tau'_1 = 120$°C	$\tau'_1 = 130$°C	$\tau'_1 = 140$°C	$\tau'_1 = 150$°C	
0,2	38,3	41,3	43,3	45,3	47,3	49,3	33,3
0,4	54	60	64	68	72	76	44
0,6	68,5	77,5	83,5	89,5	95,6	101,5	53,5
0,8	82	94	102	110	118	126	62
1	95	110	120	130	140	150	70

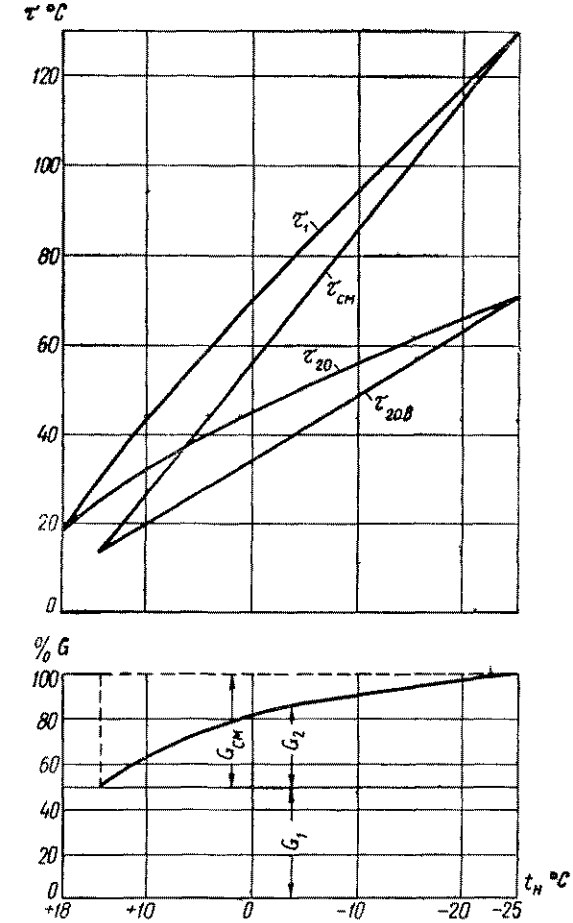


Рис. 8.2. Отопительные графики температур и расхода воды при центральном качественном регулировании водяных систем и местном качественном регулировании воздушных систем отопления

τ_1, $\tau_{см}$ — температура воды в подающих линиях ТЭЦ и после смесительной насосной; τ_{2o}, $\tau_{2o.в}$ температуры воды после водяных и воздушных систем отопления; G_1, G_2 — расход сетевой воды на ТЭЦ для водяных и воздушных систем отопления; $G_{см}$ — расход смешанной воды после смесительной насосной

Для удобства пользования графиком на его оси абсцисс помимо $\bar{Q}_o$ дополнительно построены шкалы температур наружного воздуха для нескольких расчетных температур $t_{н.о}$.

При присоединении систем водяного отопления с помощью водоводяного подогревателя температуры сетевой воды после подогревателя определяют по формуле (8.3), причем расчетную температуру этой воды принимают на 10° С выше, чем при элеваторном присоединении.

При воздушных системах отопления $\left(\frac{k_o}{k_o'}=1\right)$ формула для определения температуры воды в подающем трубопроводе (обычно при местном регулировании) примет вид:

$$\tau_1 = t_в + \left(\tau_1' - t_в\right)\bar{Q}_o. \qquad (8.6)$$

В качестве примера на рис. 8.2 приведены графики температур и расходов воды при центральном качественном регулировании водяных систем и местном качественном регулировании воздушных систем отопления некоторых промышленных зданий с пониженной температурой внутреннего воздуха. В рассматриваемом случае воздушные системы отопления выделены на самостоятельную линию со смесительной насосной. Расходы тепла водяной и воздушной системами приняты равными.

Центральное качественно-количественное регулирование

Центральное качественно-количественное регулирование отпуска тепла на отопление применяют наряду с центральным качественным регулированием в тепловых сетях с чисто отопительной нагрузкой при хорошо отрегулированных системах отопления[1] [40, 61].

В рассматриваемом случае температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети τ_1, в подающем трубопроводе отопительных систем τ_c и в обратном трубопроводе отопительных систем τ_{2o} определяют по формулам:

$$\tau_1 = t_в + \left(\tau_{пр}' - t_в\right)\bar{Q}_o^{0,8} + \left(\tau_1' - \tau_{пр}'\right)\bar{Q}_o^{1-m}; \qquad (8.7)$$

$$\tau_{2o} = t_в + \left(\tau_{пр}' - t_в\right)\bar{Q}_o^{0,8} - 0,5\left(\tau_c' - \tau_{2o}'\right)\bar{Q}_o^{1-m} \qquad (8.8)$$

$$\tau_c = \frac{\tau_1 + \tau_{2o}\,u}{1+u}, \qquad (8.9)$$

где u — расчетный коэффициент смешения;
m — вспомогательная величина.

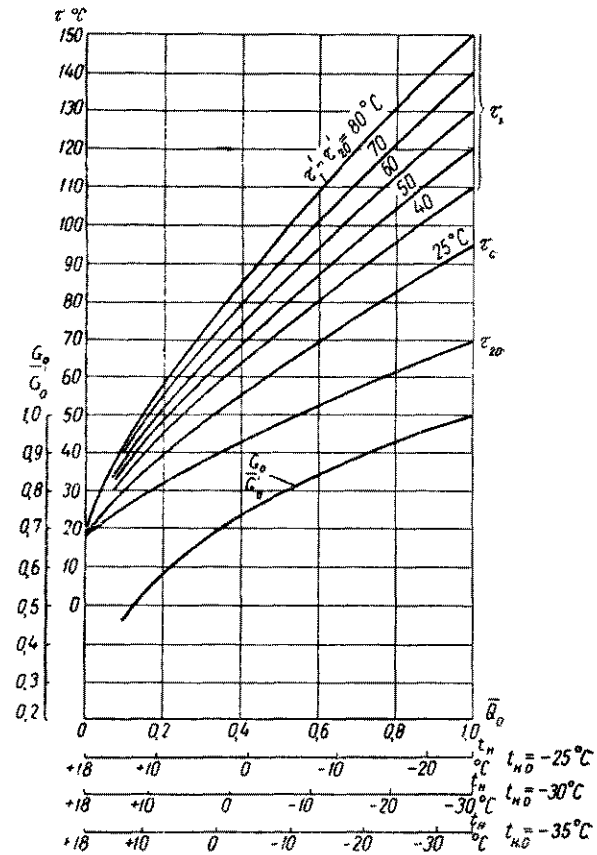


Рис. 8.3. Отопительные графики температур и расхода воды при качественно-количественном регулировании

$t_в = 18°$ С; $\tau_c' = 95°$ С. $\tau_{2o}' = 70°$ С и $m = 0,33$

[1] Центральное качественно-количественное регулирование может применяться в двухтрубных открытых тепловых сетях с подачей тепла на отопление и горячее водоснабжение при повышенной гидравлической устойчивости сети и малом отношении расходов тепла на горячее водоснабжение и отопление.

Таблица 8.2

Температуры и расход воды при качественно-количественном регулировании

$\bar{Q}=\frac{Q_o}{Q_o'}$	Температуры воды τ_1						Температура воды τ_{2o} в °С	Относительный расход воды $\bar{G}_o=\frac{G_o}{G_o'}$
	$\tau_1'=\tau_c'=95°$С	$\tau_1'=110°$ С	$\tau_1'=120°$ С	$\tau_1'=130°$ С	$\tau_1'=140°$ С	$\tau_1'=150°$С		
0,2	40	45,3	48,4	51,8	55,1	58,5	31,4	0,585
0,4	55,6	63,6	68,7	74,2	79,5	84,8	42,4	0,735
0,6	69,7	80,3	87,4	94,5	101,7	108,7	51,9	0,842
0,8	82,7	95,8	104,4	113	121,7	130,4	61,3	0,928
1	95	110	120	130	140	150	70	1

Расход сетевой воды на отопление G_o находят по формуле (8 5); относительный расход равен

$$\overline{G}_o = \frac{G_o}{G_o'} = \overline{Q}_o \frac{\tau_1' - \tau_{2o}'}{\tau_1 - \tau_{2o}}. \qquad (8.10)$$

Значения величин τ_1, τ_c, τ_{2o} и G_o для качественно-количественного регулирования отпуска тепла в случае только отопительной нагрузки тепловой сети при $t_в = 18°$ С, $\tau_c' - \tau_{2o}' = 25°$ С и $m = 0{,}33$ приведены в табл. 8.2 и на рис. 8.3.

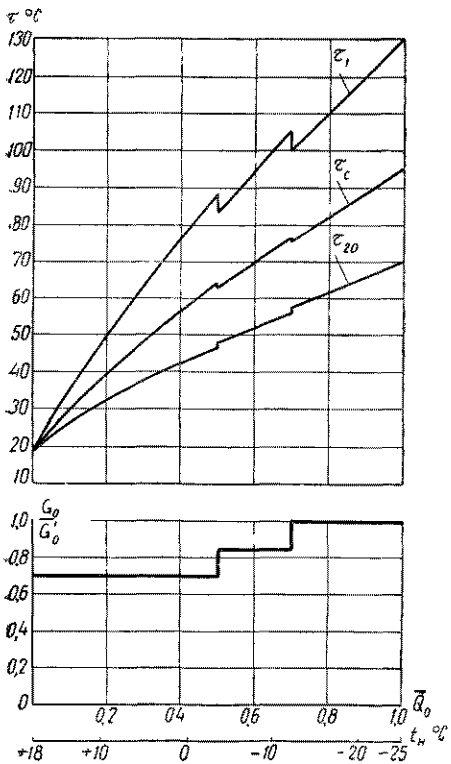


Рис. 8.4. Отопительные графики температур и расхода воды при ступенчатом регулировании

$t_в = 18°$ С, $t_{н.о} = -25°$ С; $\tau_1' = 130°$ С, $\tau_c' = 95°$ С; $\tau_{2o}' = 70°$ С

Одной из модификаций качественно-количественного регулирования является ступенчатое регулирование. При этом регулировании весь отопительный период делят на несколько диапазонов, причем расход воды изменяют скачком при переходе от одного диапазона к другому. Для диапазона низких температур наружного воздуха принимают максимальный расход сетевой воды G_o', а для диапазонов с более высокой наружной температурой расходы сетевой воды G_o принимают сниженными в соответствии с графиком качественно-количественного регулирования (см. рис. 8.3).

Температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах для каждого диапазона подсчитывают по формулам:

$$\tau_1 = t_в + (\tau_{пр}' - t_в)\,\overline{Q}_o^{0,8} + (\tau_1' - \tau_{пр}')\,\frac{\overline{Q}_o}{\overline{G}_o}; \qquad (8.11)$$

$$\tau_{2o} = \tau_1 - (\tau_1' - \tau_{2o}')\,\frac{\overline{Q}_o}{\overline{G}_o}. \qquad (8.12)$$

Температуру воды в подающем трубопроводе отопительной системы τ_c определяют по формуле (8.9).

На рис. 8.4 приведены графики температур и расхода воды при ступенчатом регулировании отпуска тепла на отопление.

Регулирование пропусками

Регулирование отпуска тепла на отопление местными пропусками применяется в двухтрубных водяных тепловых сетях в период высоких наружных температур

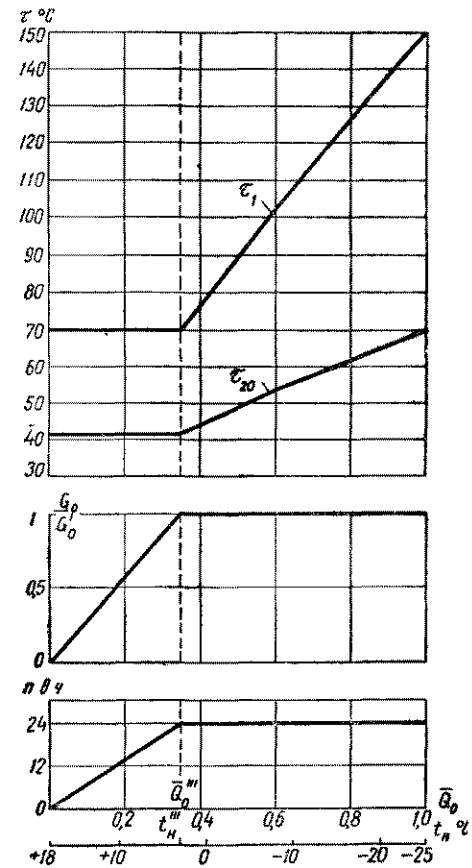


Рис. 8.5. Отопительные графики температур, расхода воды и суточной длительности работы сети при регулировании пропусками в теплый период

$t_в = 18°$ С; $t_{н.о} = -25°$ С; $t_н''' = +3°$ С, $\tau_1' = 150°$ С; $\tau_{2o}' = 70°$ С

при постоянной минимально допустимой температуре воды в подающем трубопроводе для отпуска тепла на горячее водоснабжение.

Продолжительность работы систем отопления в течение суток при $t_н > t''_н$ равна

$$n = 24\,\frac{t_в - t_н}{t_в - t''_н}\ ч/сутки. \qquad (8.13)$$

Среднечасовой расход воды в сети равен

$$G_о = G''_о\,\frac{n}{24} = G''_о\,\frac{t_в - t_н}{t_в - t''_н}. \qquad (8.14)$$

На рис. 8.5 рассмотрен случай регулирования отпуска тепла на отопление, когда в период низких температур наружного воздуха предусмотрено качественное регулирование, а при высоких температурах наружного воздуха $(t_н > t''_н)$ регулирование местными пропусками с постоянной температурой воды $\tau_1 = \tau''_1$.

Количественное регулирование

Количественное регулирование отпуска тепла на отопление иногда применяют в двухтрубных водяных тепловых сетях с подачей тепла на отопление и горячее водоснабжение при высоких температурах наружного воздуха $(t_н > t''_н)$. В этом случае температуру воды в подающем трубопроводе поддерживают постоянной и равной минимально необходимой для работы систем горячего водоснабжения.

Температуру воды после водяных систем отопления при количественном регулировании определяют для наружных температур $t_н > t''_н$ по формуле

$$\tau_{2о} = \tau''_1 - \frac{1+u}{0{,}5+u}\left[\tau''_1 - t_в - (\tau''_{пр} - t_в)\times\right.$$
$$\left.\times\left(\frac{t_в - t_н}{t_в - t''_н}\right)^{0{,}8}\right] \geqslant t_в, \qquad (8.15)$$

а расход сетевой воды по формуле (8.5).

Здесь все величины со штрихами $'''$ относятся к температуре наружного воздуха $t''_н$ (см. рис. 8.5).

8.3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛА НА ВЕНТИЛЯЦИЮ

Тепловой режим систем вентиляции, присоединенных к водным тепловым сетям, для произвольной температуры наружного воздуха определяется следующими уравнениями:

$$\bar{Q}_в = \frac{m\,(t_в - t_н)}{m''\,(t_в - t_{н.в})} = \frac{V_к\,(t_в - t_к)}{V''_к\,(t_в - t''_к)} = \frac{G_в\,(\tau_1 - \tau_{2в})}{G''_в\,(\tau''_1 - \tau''_{2в})} =$$
$$= \frac{k_в\,(\tau_к - t_{ср.в})}{k''_в\cdot\,(\tau''_к - t''_{ср.в})}, \qquad (8.16)$$

где $\bar{Q}_в = \dfrac{Q_в}{Q''_в}$ — относительный расход тепла на вентиляцию;

$V_к$, $V''_к$ — расход воздуха через калориферы при температурах наружного воздуха произвольной $t_н$ и расчетной $t_{н.в}$ в $м^3/ч$;

m, m'' — кратность вентиляции при температурах наружного воздуха $t_н$ и $t_{н.в}$ в $\dfrac{1}{ч}$;

$t_к$, $t''_к$ — температуры воздуха перед калориферами при температурах наружного воздуха $t_н$ и $t_{н.в}$ (если рециркуляция воздуха отсутствует, то $t_к = t_н$);

$t_{ср.в} = 0{,}5\,(t_н + t_в)$ и $t''_{ср.в} = 0{,}5(t_{н.в} + t_в)$ — средняя температура воздуха в калорифере при температурах $t_н$ и $t_{н.в}$.

Все величины со штрихами $''$ относятся к расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{н.в}$. При расчете графиков температур и расходов воды коэффициент теплопередачи вентиляционных калориферов $k_в$ обычно определяют по приближенной формуле

$$k_в = c_в\,w^{0{,}15}\,(v\gamma)^{0{,}5},$$

где w — средняя скорость воды в калорифере в $м/сек$;

v — средняя скорость воздуха в калорифере в $м/сек$;

γ — средний удельный вес воздуха в калорифере в $кг/м^3$;

$c_в$ — постоянный коэффициент.

Для двухтрубных водяных тепловых сетей с подачей тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение температуру воды в подающем трубопроводе τ_1 принимают по отопительному графику (см. рис. 8.1) при $t_н < t''_н$ и постоянной $(\tau_1 = \tau''_1)$ при $t_н > t''_н$.

Построение графика температур воды в обратном трубопроводе систем вентиляции ведется отдельно для каждого из трех диапазонов температур наружного воздуха, на которые разбивают отопительный период.

Температуру воды в обратном трубопроводе систем вентиляции $\tau_{2в}$ при произвольной температуре наружного воздуха $t_н$ определяют на основании следующих уравнений:

для диапазона переменной температуры воды в подающем трубопроводе и переменного расхода тепла на вентиляцию $(t''_н \geqslant t_н \geqslant t_{н.в})$

$$\tau_{2в} = \tau_1 - (\tau''_1 - \tau''_{2в})\,\frac{t_в - t_н}{t_в - t_{н.в}}; \qquad (8.17)$$

для диапазона постоянной температуры воды в подающем трубопроводе $(\tau_1 = \tau''_1)$ и переменного расхода тепла на вентиляцию $(10°\,C \geqslant t_н \geqslant t''_н)$ при количественном регулировании отпуска тепла на вентиляцию [1] (расход наружного воздуха принят постоянным)

$$\frac{0{,}5\,(\tau_1 + \tau_{2в}) - t_{ср.в}}{\tau''_к - t''_{ср.в}}\left(\frac{\tau''_1 - \tau''_{2в}}{\tau_1 - \tau_{2в}}\right)^{0{,}15} = \left(\frac{t_в - t_н}{t_в - t''_н}\right)^{0{,}85}; \qquad (8.18)$$

для диапазона переменной температуры воды в подающем трубопроводе и постоянного расхода тепла на вентиляцию $(t_н \leqslant t_{н.в})$ при регулировании изменением количества воды и при постоянном расходе воздуха через калориферы (за счет изменения рециркуляции) [2]

$$\frac{0{,}5\,(\tau_1 + \tau_{2в}) - t_{ср.в}}{\tau''_к - t''_{ср.в}}\left(\frac{\tau''_1 - \tau''_{2в}}{\tau_1 - \tau_{2в}}\right)^{0{,}15} = 1. \qquad (8.19)$$

[1] Предполагается автоматическое регулирование.

[2] Плавное изменение расхода наружного и рециркуляционного воздуха при ручном регулировании обычно заменяют ступенчатым.

Расход воды на вентиляцию во всех случаях определяют по формуле

$$G_в = \frac{Q_в}{\tau_1 - \tau_{2в}}. \qquad (8.20)$$

Уравнения (8.18) и (8.19) решаются методом подбора или графически.

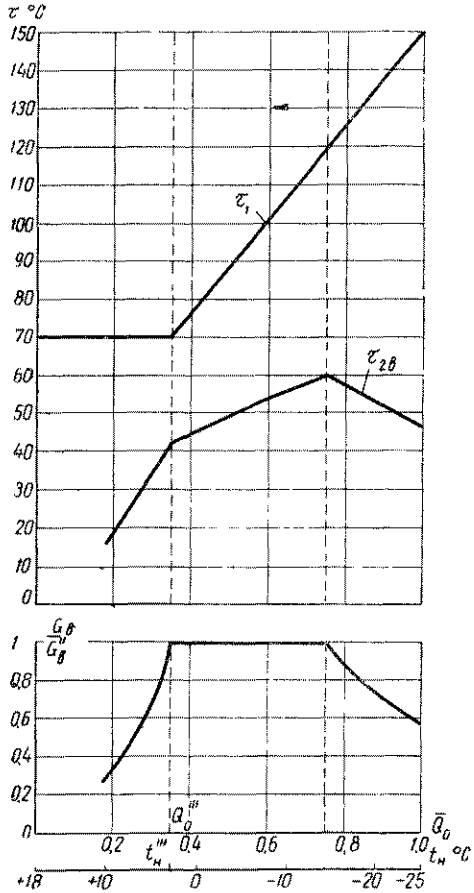


Рис. 8.6. Графики температур и расхода воды на вентиляцию при двухтрубных тепловых сетях

$t_в = 18°$ С; $t_{н.о} = -25°$ С, $t_{н.в} = -14°$ С, $t'''_н = +3°$ С, $\tau'_1 = 150°$ С

На рис. 8.6 приведен график температур и расхода воды для систем вентиляции при двухтрубных тепловых сетях с подачей тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Для двухтрубных тепловых сетей с подачей тепла на отопление и вентиляцию отпадает диапазон с постоянной температурой воды в подающем трубопроводе.

8.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛА НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

В двухтрубных закрытых водяных тепловых сетях с параллельной схемой включения подогревателей горячего водоснабжения тепловой режим последних при произвольной температуре наружного воздуха и постоянном расходе тепла $Q_г$ (максимальном часовом $Q_г^{макс}$ или среднечасовом $Q_г^{ср}$) определяется следующими уравнениями:

$$\frac{G_г(\tau_1 - \tau_{2г})}{G'''_г(\tau'''_г - \tau'''_{2г})} = \frac{k_г \Delta t}{k'''_г \Delta t'''} = 1, \qquad (8.21)$$

где Δt — температурный напор в подогревателе.

В приведенных уравнениях все величины со штрихами $'''$ относятся к температуре наружного воздуха $t'''_н$, которой соответствует точка излома температурного графика и для которой величины τ'''_1 и $\tau'''_{2г}$ заданные.

При расчете графиков температур и расходов воды коэффициент теплопередачи подогревателя обычно определяют по приближенной формуле

$$k_г = c_г \sqrt{G_г G_{г.м}},$$

где $G_г$ и $G_{г.м}$ — расходы сетевой и местной воды в подогревателе, а $c_г$ — постоянный коэффициент.

Для двухтрубных закрытых водяных тепловых сетей с подачей тепла на отопление и горячее водоснабжение температуру воды в подающем трубопроводе принимают по отопительному графику при $t_н < t'''_н$ и постоянной $\tau_1 = \tau'''_1$ при $t_н > t'''_н$. В этом случае определение температуры сетевой воды после подогревателей горячего водоснабжения при произвольной температуре наружного воздуха и при постоянном расходе тепла (максимальном часовом или среднечасовом) производят следующим образом:

для диапазона постоянной температуры воды в подающем трубопроводе $(10° \text{ С} \geqslant t_н \geqslant t'''_н)$ величину $\tau_{2г}$ принимают постоянной и равной температуре воды после подогревателей при температуре наружного воздуха $t'''_н$, т. е. $\tau_{2г} = \tau'''_{2г}$;

для диапазона переменной температуры воды в подающей линии $(t'''_н \geqslant t_н \geqslant t_{н.о})$ величину $\tau_{2г}$ находят методом подбора из уравнения

$$\frac{(\tau_1 - t_г) - (\tau_{2г} - t_х)}{2{,}3\,\Delta t''' \lg \dfrac{\tau_1 - t_г}{\tau_{2г} - t_х}} \sqrt{\frac{\tau'''_1 - \tau'''_{2г}}{\tau_1 - \tau_{2г}}} = 1, \qquad (8.22)$$

где

$$\Delta t''' = \frac{(\tau'''_1 - t_г) - (\tau'''_{2г} - t_х)}{2{,}3 \lg \dfrac{\tau'''_1 - t_г}{\tau'''_{2г} - t_х}}.$$

Вместо уравнения (8.22) с допустимой степенью точ-

ности при $\tau_1 > 85°$ С можно пользоваться приближенной формулой

$$\tau_{2г} = \sqrt{\frac{p^2}{4} + r} - \frac{p}{2}, \qquad (8.23)$$

где

$$p = \frac{2{,}36\,(\Delta t''')^2}{\tau_1''' - \tau_{2г}'''} + 1{,}08\,(\tau_1 - t_1) - 2t_х;$$

$$r = \frac{2{,}36(\Delta t''')^2\tau_1}{\tau_1''' - \tau_{2г}'''} - [0{,}539\,(\tau_1 - t_г) - t_х]^2.$$

Полученные на основании уравнений (8.22) или (8.23) температуры воды после подогревателей горячего водоснабжения остаются одними и теми же как для максимального часового, так и для среднечасового расходов тепла на горячее водоснабжение (рис. 8.7).

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение при параллельной схеме включения подогревателей определяют по формуле

$$G_г = \frac{Q_г}{\tau_1 - \tau_{2г}}. \qquad (8.24)$$

Подставляя в последнюю формулу среднечасовой $\left(Q_г^{ср}\right)$ или максимальный часовой $\left(Q_г^{макс}\right)$ расходы тепла на горячее водоснабжение, соответственно получим среднечасовой $\left(G_г^{ср}\right)$ или максимальный часовой $\left(G_г^{макс}\right)$ расходы сетевой воды.

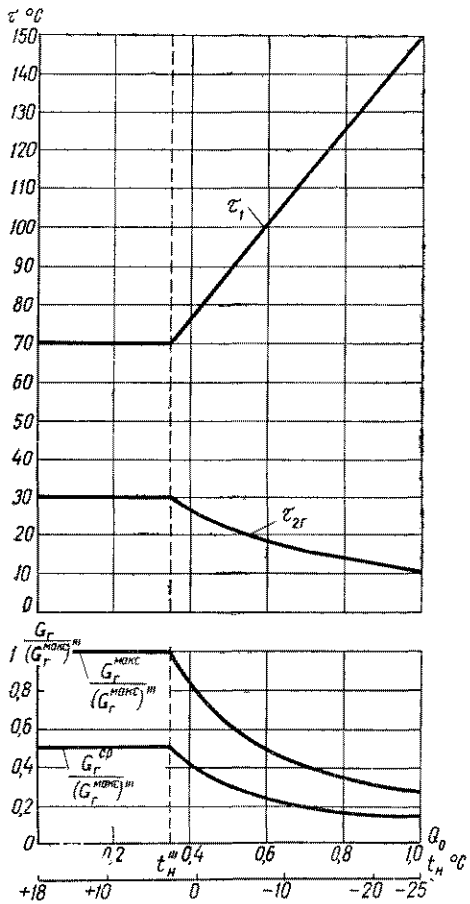


Рис. 8.7. Графики температур и расходов воды на горячее водоснабжение при двухтрубных закрытых тепловых сетях и параллельном включении подогревателей горячего водоснабжения

$$\tau_1''' = 70° \text{ С}; \quad \tau_{2г}''' = 30° \text{ С}, \quad t_х = 5° \text{ С};$$

$$t_г = 60° \text{ С}; \quad \varkappa_{макс} = 2$$

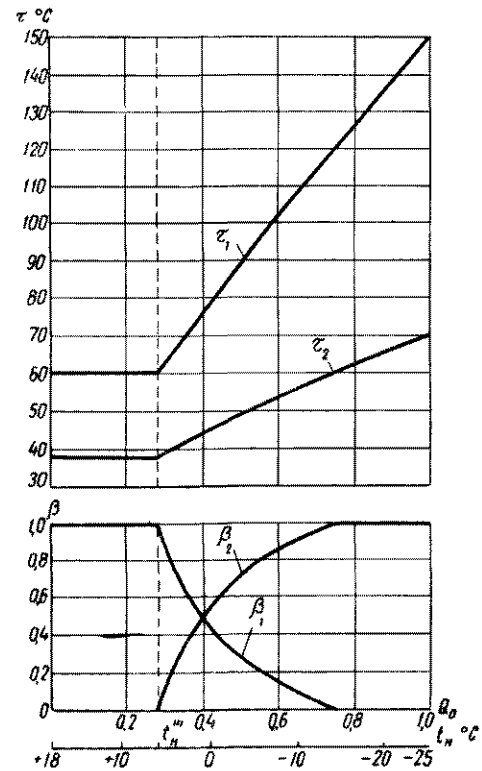


Рис. 8.8. Графики температур и расходов воды на горячее водоснабжение при двухтрубных открытых тепловых сетях

$$\beta_1 = \frac{G_{1г}}{G_{г.м}}; \quad \beta_2 = \frac{G_{2г}}{G_{г.м}}; \quad \tau_1''' = t_г = 60° \text{ С}$$

Для двухтрубной закрытой тепловой сети с подачей тепла на отопление и горячее водоснабжение на рис. 8.7 приведены графики температур и относительных расходов сетевой воды на горячее водоснабжение при коэффициенте часовой неравномерности

$$K_ч = \varkappa_{макс} = 2.$$

Относительные расходы воды $\frac{G_г}{G_г^{макс}}$ приведены для

максимального часового $\left(Q_{\text{г}}^{\text{макс}}\right)$ и среднечасового $\left(Q_{\text{г}}^{\text{ср}}\right)$ расходов тепла.

Для двухтрубных открытых тепловых сетей доля расхода воды на горячее водоснабжение из подающего и обратного трубопроводов при произвольном расходе тепла (максимальном часовом и среднечасовом) определяют по формулам:

$$\beta_1 = \frac{G_{1\text{г}}}{G_{\text{г}}} = \frac{\tau - \tau_2}{\tau_1 - \tau_2}; \qquad (8.25)$$

$$\beta_2 = 1 - \beta_1 = \frac{G_{2\text{г}}}{G_{\text{г}}}, \qquad (8.26)$$

где $G_{1\text{г}}$, $G_{2\text{г}}$ — расходы воды на горячее водоснабжение из подающего и обратного трубопроводов;

$G_{\text{г}} = G_{1\text{г}} + G_{2\text{г}}$ — суммарный расход воды на горячее водоснабжение;

β_1 и β_2 — доли расхода воды на горячее водоснабжение (по отношению к суммарному расходу воды на горячее водоснабжение) из подающего и обратного трубопроводов;

τ_1, τ_2 и τ — температура воды в подающей и обратной линиях и смеси, поступающей в систему горячего водоснабжения.

На рис. 8.8 приведены графики относительных расходов воды на горячее водоснабжение β_1 и β_2 для двухтрубной открытой тепловой сети, работающей при низких $\left(t_{\text{н}} < t_{\text{н}}^{'''}\right)$ температурах наружного воздуха по отопительному графику с качественным регулированием ($\tau_1' = 150°$ С), а при высоких $\left(t_{\text{н}} > t_{\text{н}}^{'''}\right)$ температурах наружного воздуха с температурой воды $\tau_1 = \tau_1^{'''} = 60°$ С.

8.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛА ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ СХЕМАХ ВКЛЮЧЕНИЯ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Двухступенчатые схемы включения подогревателей горячего водоснабжения приведены на рис. 8.9.

При двухступенчатой смешанной схеме включения подогревателя горячего водоснабжения (рис. 8.9, *а*) тепловой режим работы системы отопления не зависит от режима работы горячего водоснабжения.

При двухступенчатой последовательной схеме включения подогревателя горячего водоснабжения (рис. 8.9, *б*) тепловые режимы работы отопительной системы и подогревателя тесно связаны между собой.

Если тепловая сеть имеет несколько групп потребителей с различными схемами включения подогревателей, то расчеты графиков регулирования $\tau_2 = f(t_{\text{н}})$ и $G = f(t_{\text{н}})$ вначале ведут для каждой группы отдельно, а затем для тепловой сети в целом.

Регулирование при смешанной двухступенчатой схеме включения подогревателей горячего водоснабжения

Смешанная схема включения подогревателей горячего водоснабжения применяется в двухтрубных закрытых тепловых сетях населенных мест независимо от величины отношения нагрузок горячего водоснабжения и отопления у потребителей. В этих сетях температура воды в подающем трубопроводе $\tau_1 = \tau_{1\text{о}}$ при $t_{\text{н}} < t_{\text{н}}^{'''}$ ($t_{\text{н}}^{'''}$ — соответствует точке излома температурного графика) изменяется по отопительному графику, а при $t_{\text{н}} > t_{\text{н}}^{'''}$ поддерживается постоянной.

Расход воды на отопление $G_{\text{о}}$ и температура воды после систем отопления $\tau_{2\text{о}}$ определяются обычными методами для чисто отопительной нагрузки.

При произвольной температуре наружного воздуха $t_{\text{н}}$ и произвольном расходе тепла $Q_{\text{г}}$ (обычно максимальном часовом $Q_{\text{г}}^{\text{макс}}$ или среднечасовом $Q_{\text{г}}^{\text{ср}}$) расход воды на горячее водоснабжение $G_{\text{г}}$ и суммарный G, отношение суммарного расхода сетевой воды к расчетному расходу воды на отопление Φ, температуры сетевой воды при выходе из ступени II подогревателей $\tau_{2\text{II}}$ и при входе в ступень I подогревателей $\tau_{\text{см}}$, температуру воды в общем обратном трубопроводе (учитывая отопление и горячее водоснабжение) τ_2

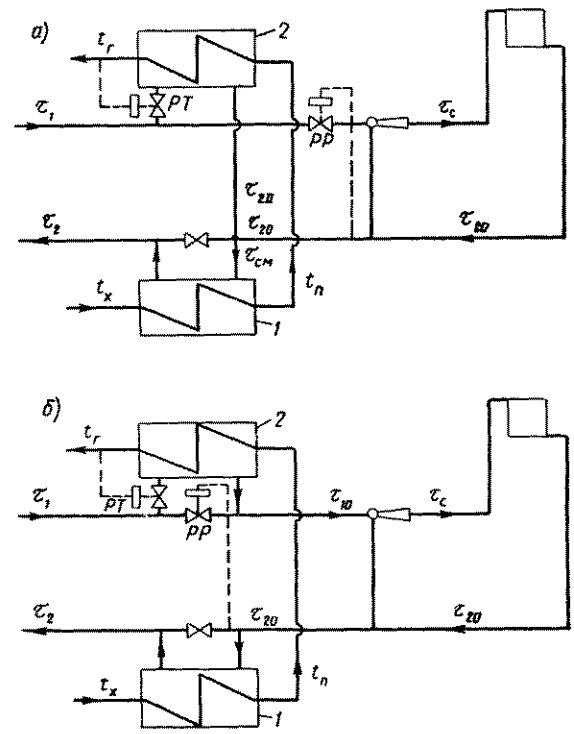


Рис. 8.9 Двухступенчатые схемы включения подогревателей горячего водоснабжения

а — смешанная; *б* — последовательная, *1* — ступень I подогревателя; *2* — ступень II подогревателя; *PP* — регулятор расхода воды; *PT* — регулятор температуры местной воды

и температуру местной воды при выходе из ступени I подогревателей $t_{\text{п}}$ определяют по следующим формулам:

$$G_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{г}}(1 - \theta)}{\tau_1 - \tau_{2\text{II}}}; \qquad (8.27)$$

$$G = G_{\text{о}}' + G_{\text{г}}; \qquad (8.28)$$

$$\varphi = \frac{G}{G_o'} = 1 + \frac{(\tau_1' - \tau_{2o}')(1-\theta)\rho}{\tau_1 - \tau_{2\,II}}; \qquad (8.29)$$

$$\frac{G_г}{G_{г.м}} = \frac{(t_г - t_х)(\varphi - 1)}{(\tau_1' - \tau_{2\,o}')\rho}; \qquad (8.30)$$

$$\frac{G_{г.м}}{G} = \frac{(\tau_1' - \tau_{2\,o}')\rho}{(t_г - t_х)\varphi}; \qquad (8.30а)$$

$$\tau_{см} = \frac{\tau_{2\,o} + \tau_{2\,II}(\varphi - 1)}{\varphi}; \qquad (8.31)$$

$$\tau_2 = \tau_{см} - \frac{Q_г \theta}{G} = \tau_{см} - (\tau_1' - \tau_{2\,o}')\frac{\theta\rho}{\varphi}; \qquad (8.32)$$

$$t_п = t_х + (t_{if} - t_х)\theta, \qquad (8.33)$$

где $\rho = Q_г / Q_o'$ — отношение нагрузки на горячее водоснабжение к расчетной нагрузке на отопление;

$\theta = Q_I / Q_г$ — производительность ступени I в долях от общей производительности обеих ступеней подогревателя.

По приведенным формулам определяют все величины при расчетном режиме горячего водоснабжения, т. е. при максимальном часовом расходе тепла $Q_г^{макс}$ и температуре наружного воздуха $t_н'''$. Для определения величины $\theta_м'''$ задаются значением $\Delta_м'''$ (обычно $\Delta_м''' = 10°$ С) и принимают температуру сетевой воды перед входом в ступень I подогревателей равной температуре воды после систем отопления:

$$\theta_м''' = \frac{\tau_{2\,o}''' - \Delta_м''' - t_х}{t_г - t_х}. \qquad (8.34)$$

Температурные напоры ступеней I и II подогревателей при этом же режиме находят по формулам:

$$\Delta t_{I\,м}''' = \frac{(\tau_{2\,м}''' - t_х) - \Delta_м'''}{2{,}3 \lg \dfrac{\tau_{2\,м}''' - t_х}{\Delta_м'''}}; \qquad (8.35)$$

$$\Delta t_{II\,м}''' = \frac{(\tau_1''' - t_г) - \Delta_м'''}{2{,}3 \lg \dfrac{\tau_1''' - t_г}{\Delta_м'''}}. \qquad (8.36)$$

При температурах наружного воздуха, отличных от $t_н'''$, и произвольной нагрузке $Q_г$ величина θ определяется методом подбора на основании следующих уравнений:

$$\theta = \frac{\varepsilon_I G_{I\,мен}(\tau_{см} - t_х)}{Q_г}, \qquad (8.37)$$

где

$$\varepsilon_I = \frac{1}{0{,}65 + 0{,}35\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}} + \dfrac{1}{\Phi_I}\sqrt{\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}}}} \leqslant 1,$$

$$\Phi_I = \frac{\theta_м'''}{\Delta t_{I\,м}'''}\sqrt{\frac{(t_г - t_х)(\tau_1' - \tau_{2\,o}')\rho_м}{\varphi_м'''}},$$

$G_{I\,мен}$, $G_{I\,бол}$ — меньшее и большее значение расходов теплообменивающихся потоков в ступени I.

При $\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}} = \dfrac{G_{г.м}}{G} \leqslant 1$ $\dfrac{G_{I\,мен}}{Q_г} = \dfrac{1}{t_г - t_х}$;

при $\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}} = \dfrac{G}{G_{г.м}} \leqslant 1$ $\dfrac{G_{I\,мен}}{Q_г} = \dfrac{\varphi}{(\tau_1' - \tau_{2\,o}')\rho}$

$$\tau_{2\,II} = \tau_1 - (\tau_1 - t_п)\frac{\varepsilon_{II} G_{II\,мен}}{G_г}, \qquad (8.38)$$

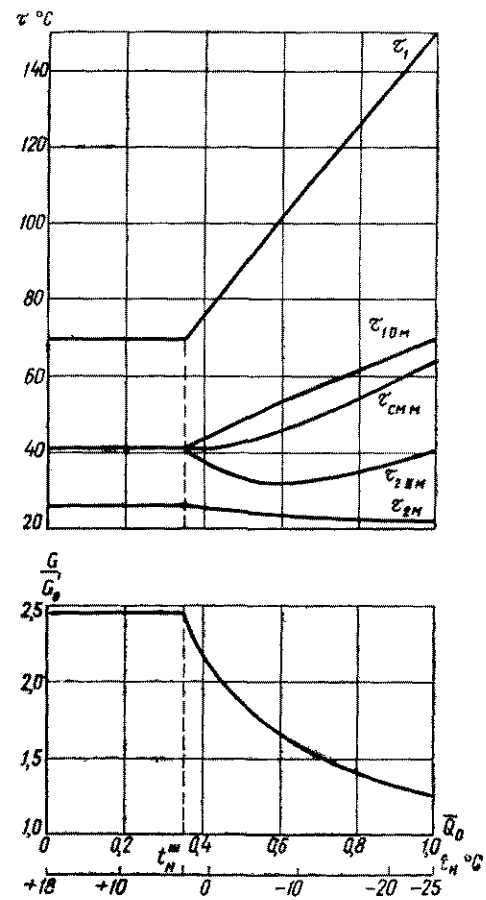


Рис. 8.10. Графики температур и общего расхода воды при двухступенчатой смешанной схеме включения подогревателей горячего водоснабжения

$\tau_1''' = 70°$ С, $t_х = 5°$ С, $t_г = 60°$ С,

$\rho_{ср} = 0{,}4$; $\rho_м = 1$, $\Delta_м''' = 10°$ С

где

$$e_{II}=\frac{1}{0{,}65+0{,}35\,\frac{G_{II\,мен}}{G_{II\,бол}}+\frac{1}{\Phi_{II}}\sqrt{\frac{G_{II\,мен}}{G_{II\,бол}}}}\leqslant 1,$$

$$\Phi_{II}=\frac{1-\theta_м''}{\Delta t_{II\,м}''}\sqrt{\frac{(t_г-t_х)(\tau_1'-\tau_{2\,о}')\rho_м}{\varphi_м''-1}},$$

$\theta_{II\,мен}$, $G_{II\,бол}$ — меньшее и большее значение расходов теплообменивающихся потоков воды в ступени II.

При $\dfrac{G_{II\,мен}}{G_{II\,бол}}=\dfrac{G_г}{G_{г.м}}\leqslant 1$ $\dfrac{G_{II\,мен}}{G_г}=1,$

при $\dfrac{G_{II\,мен}}{G_{II\,бол}}=\dfrac{G_{г.м}}{G_г}\leqslant 1$ $\dfrac{G_{II\,мен}}{G_г}=\dfrac{(\tau_1'-\tau_{2\,о}')\rho}{(t_г-t_х)(\varphi-1)}.$

Подставляя в приведенные уравнения величины для максимального часового $\left(\rho_м=\dfrac{Q_г^{макс}}{Q_о'}\text{ и }\varphi_м\right)$ или для среднечасового $\left(\rho_{ср}=\dfrac{Q_г^{ср}}{Q_о'}\text{ и }\varphi_{ср}\right)$ расходов тепла, получаем соответственно величину $\theta_м$ для максимального часового расхода тепла или величину $\theta_{ср}$ для среднечасового расхода тепла.

На рис. 8.10 приведены графики температур и общего расхода сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение (в относительных величинах) для двухтрубной тепловой сети при двухступенчатой смешанной схеме включения подогревателей горячего водоснабжения

Приведенные на графиках данные относятся к максимальному часовому расходу тепла на горячее водоснабжение.

Регулирование при последовательной двухступенчатой схеме включения подогревателей горячего водоснабжения и отопительном графике для низких температур наружного воздуха

Последовательная схема включения подогревателей горячего водоснабжения применяется в двухтрубных закрытых тепловых сетях населенных мест для зданий с отношением максимальных расходов тепла на горячее водоснабжение и отопление $Q_г^{макс}/Q_о' \leqslant 0{,}8$.

В данном случае температура воды в подающем трубопроводе при $t_н<t_н''$ изменяется по отопительному графику, а при $t_н>t_н''$ — поддерживается постоянной.

Определение общего расхода сетевой воды для построения графика производят по так называемому «балансовому» расходу тепла, который несколько выше среднего расхода тепла на горячее водоснабжение и при котором обеспечивается суточный баланс тепла на отопление. Величина «балансового» коэффициента нагрузки в случае равномерной нагрузки подогревателя горячего водоснабжения в течение суток (например, при установке аккумуляторов) составляет $\varkappa_б=1$, а для обычного графика суточной нагрузки жилых домов $\varkappa_б=1{,}2$.

Исходными данными для расчета графиков регулирования являются температура воды в подающем трубопроводе $\tau_1=\tau_{1о}$, которая задана отопительным графиком, а также отношение расходов тепла на горячее водоснабжение и отопление

$$\rho_б=\frac{Q_г^{ср}\varkappa_б}{Q_о'}\text{ и }\rho_м=\frac{Q_г^{макс}}{Q_о'}.$$

Здесь $Q_г^{ср}$, $Q_г^{макс}$ и $Q_о'$ — расходы тепла на горячее водоснабжение (среднечасовой и максимальный часовой) и отопление при $t_{н.о}$ для потребителей с двухступенчатой последовательной схемой включения подогревателей горячего водоснабжения.

Для произвольной температуры наружного воздуха $t_н\leqslant t_н''$ и произвольного расхода тепла на горячее водоснабжение (обычно максимального часового $Q_г^{макс}$ или «балансового» $Q_г^б$) суммарный перепад температур сетевой воды в обеих ступенях подогревателей $\Delta\tau_г$, температуры воды перед элеватором $\tau_{1\,о}$ и в общем обратном трубопроводе τ_2 определяют по формулам:

$$\Delta\tau_г=(\tau_{1о}'-\tau_{2\,о}')\frac{\rho}{\varphi};\qquad(8.39)$$

$$\tau_{1\,о}=\tau_1-\Delta\tau_г(1-\theta);\qquad(8.40)$$

$$\tau_2=\tau_{2\,о}-\Delta\tau_г\theta,\qquad(8.41)$$

где $\varphi=\dfrac{G}{G_о}$ — отношение суммарного расхода сетевой воды к расходу воды на отопление;

$\theta=\dfrac{Q_I}{Q_г}$ — производительность ступени I в долях от общей производительности обеих ступеней подогревателей.

Построение графиков температур и расхода воды начинают с определения всех величин при «балансовом» расходе тепла на горячее водоснабжение и при температуре наружного воздуха $t_н''$ [92, 94 и 99]. Общая производительность ступени I подогревателей при «балансовом» расходе тепла определяют, задаваясь величиной $\Delta_б''$ (обычно $\Delta_б''=5°$ С), по формуле

$$\theta_б''=\frac{\tau_{2\,о\,б}''-\Delta_б''-t_х}{t_г-t_х}.\qquad(8.42)$$

Для упрощения расчета принимают, что температура воды в обратном трубопроводе систем отопления при «балансовом» расходе тепла и произвольной температуре наружного воздуха $t_н\leqslant t_н''$ равна той же температуре по отопительному графику, т. е. $\tau_{2\,о.б}=\tau_{2\,о.р}$ и $\tau_{2\,о\,б}''=\tau_{2\,о\,р}''$.

Расход сетевой воды в относительных величинах при балансовой нагрузке $Q_г^б$ для произвольной температуры наружного воздуха $t_н\leqslant t_н''$ определяют по формуле

$$\varphi_б=\frac{G_б}{G_о}=1-\frac{Q_г^б(1-\theta_б)}{\tau_1-\tau_{2\,о}}.\qquad(8.43)$$

Подставляя в последнюю формулу величины $\theta_б^{'''}$, $\tau_1^{'''}$ и $\tau_{2\,о.б}^{'''}$, соответствующие $t_н^{'''}$, определяют $\varphi_б^{'''}$.

Величины $\Delta\tau_{г.б}^{'''}$, $\tau_{1\,о.б}^{'''}$ и $\tau_{2б}^{'''}$ определяют по формулам (8.39), (8.40) и (8.41) при подстановке в них величин $\rho_б$, $\varphi_б^{'''}$ и $\tau_{2\,о.б}^{'''}=\tau_{2\,о.р}$.

Температурный напор для ступени I подогревателей при «балансовой» нагрузке и $t_н^{'''}$ равен:

$$\Delta t_{1б}^{'''}=\frac{\left(\tau_{2б}^{'''}-t_х\right)-\Delta_б^{'''}}{2{,}3\lg\dfrac{\tau_{2б}^{'''}-t_х}{\Delta_б^{'''}}}. \qquad (8.44)$$

Отношение суммарного расхода воды к расчетному расходу воды на отопление при максимальном часовом расходе тепла на горячее водоснабжение принимают равным:

$$\varphi_м=\varphi_б\psi, \qquad (8.45)$$

где ψ — коэффициент, учитывающий увеличение расхода сетевой воды при максимальном часовом расходе тепла на горячее водоснабжение (для регуляторов непрямого действия $\psi=1$, для регуляторов типа РР $\psi=1{,}1$).

Величина θ при произвольной температуре наружного воздуха $t_н\leqslant t_н^{'''}$ и произвольном расходе тепла $Q_г$ (максимальном часовом $Q_г^{макс}$ или «балансовом» $Q_г^б$) определяется на основании следующих уравнений:

$$\theta=\frac{\varepsilon_I\,G_{I\,мен}\left(\tau_{2\,о}-t_х\right)}{Q_г}, \qquad (8.46)$$

где

$$\varepsilon_I=\frac{1}{0{,}65+0{,}35\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}}+\dfrac{1}{\Phi_I}\sqrt{\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}}}};$$

$$\Phi_I=\frac{\theta_б^{'''}\sqrt{\left(t_г-t_х\right)\Delta\tau_{г.б}^{'''}}}{\Delta t_{1б}^{'''}};$$

$G_{I\,мен}$, $G_{I\,бол}$ — меньшее и большее значение расходов теплообменивающихся потоков воды в ступени I

При $\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}}=\dfrac{\Delta\tau_г}{t_г-t_х}\leqslant 1$ $\dfrac{G_{I\,мен}}{Q_г}=\dfrac{1}{t_г-t_х}$,

при $\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{I\,бол}}=\dfrac{t_г-t_х}{\Delta\tau_г}\leqslant 1$ $\dfrac{G_{I\,мен}}{Q_г}=\dfrac{1}{\Delta\tau_г}$.

Здесь ρ, φ, $\tau_{2\,о}$, $\Delta\tau_г$ и ε_I — соответствуют произвольному расходу тепла $Q_г$.

Температуру воды после систем отопления при произвольной температуре наружного воздуха $t_н\leqslant t_н^{'''}$ и «балансовом» расходе тепла на горячее водоснабжение принимают $\tau_{2\,о.б}=\tau_{2\,о.р}$, а при максимальном часовом расходе тепла определяют из уравнения

$$\tau_{2\,о.м}=\frac{\left(\tau_1-\Delta\tau_{г.м}-\varepsilon_I\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{макс}}t_х\right)(1-\varepsilon_о)+t_в\varepsilon_о}{1-(1-\varepsilon_о)\,\varepsilon_I\dfrac{G_{I\,мен}}{G_{макс}}}, \qquad (8\ 47)$$

где

$$\varepsilon_о=\frac{1}{\dfrac{0{,}5+u}{1+u}+\dfrac{(\tau_{пр.р}-t_в)\,\varphi_м}{\tau_{1\,о.р}-\tau_{2\,о.р}}}\leqslant 1.$$

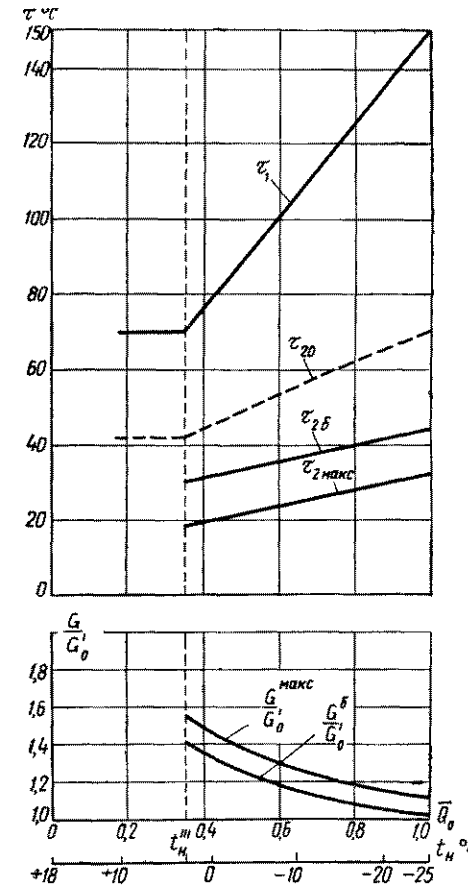


Рис. 8 11. Графики температур и общего расхода воды при двухступенчатой последовательной схеме включения подогревателей горячего водоснабжения

$\tau_1^{'''}=70°$ С; $t_х=5°$ С; $t_г=60°$ С, $\rho_{ср}=0{,}3$, $\rho_м=0{,}66$; $\varkappa_б=1{,}2$, $\Delta_б^{'''}=5°$ С

Здесь величины $\tau_{1\,о.р}$, $\tau_{2\,о.р}$ и $\tau_{пр.р}=\dfrac{\tau_с+\tau_{2\,о.р}}{2}$ принимаются по отопительному графику для рассматриваемой температуры наружного воздуха $t_н$.

При

$$\frac{t_г - t_х}{\Delta\tau_{г.м}} \leqslant 1 \quad \frac{G_{1\,мен}}{G_{макс}} = 1,$$

при

$$\frac{\Delta\tau_{г.м}}{t_г - t_х} \leqslant 1 \quad \frac{G_{1\,мен}}{G_{макс}} = \frac{\Delta\tau_{г.м}}{t_г - t_х}.$$

Для расчета температур $\tau_{1\,о.б}$ и $\tau_{2\,б}$ при «балансовом» расходе тепла и $t_н < t_н'''$ в формулы (8.39), (8.40), (8.41) и (8.46) необходимо подставлять величины $\rho_б$ и $\varphi_б$. Аналогично для расчета температур $\tau_{1\,о.м}$ и $\tau_{2м}$ при максимальном часовом расходе тепла в указанные формулы необходимо подставлять $\rho_м$ и $\varphi_м$.

На рис. 8.11 приведены графики температур и общего расхода (в относительных величинах) при двухступенчатой последовательной схеме горячего водоснабжения и отопительном графике температур для $t_н < t_н'''$.

Регулирование по повышенному температурному графику при двухступенчатой последовательной схеме включения подогревателей горячего водоснабжения

Центральное регулирование по повышенному температурному графику (с температурной надбавкой к отопительному графику) применяется для двухтрубных закрытых водяных тепловых сетей населенных мест в том случае, когда не менее 75% зданий имеют системы горячего водоснабжения в основном с двухступенчатой последовательной схемой включения подогревателей.

Расчет повышенного графика $\tau_1 = f(t_н)$ производят при «балансовом» расходе тепла на горячее водоснабжение. Для этого режима работы тепловой сети расход воды в ней и температуру воды в подающем трубопроводе перед элеватором принимают по отопительному графику качественного регулирования

$$\left(\varphi_б = \frac{G_б}{G_о} = 1 \text{ и } \tau_{1\,о.б} = \tau_{1\,о.р} \right).$$

При указанных условиях температура воды в подающем трубопроводе будет равна:

$$\tau_1 = \tau_{1\,о.р} + \Delta\tau_{г.б}(1 - \theta_б). \qquad (8.48)$$

Величины $\Delta\tau_{г.б}$ и $\theta_б$ определяют по формулам (8.39) и (8.46), подставляя в них $\varphi_б = 1$ и $\rho_б = \dfrac{Q_г^б}{Q_о'}$, где $Q_г^б$ и $Q_о'$ — «балансовый» расход тепла на горячее водоснабжение и расчетный расход тепла на отопление у потребителей с двухступенчатой последовательной схемой включения подогревателей.

Для рассматриваемого режима работы температуру воды в общем обратном трубопроводе определяют по формуле (8.41), в которой температуру воды в обратном трубопроводе отопительных систем принимают по отопительному графику качественного регулирования ($\tau_{2\,о.б} = \tau_{2\,о.р}$).

Температуры воды при максимальном часовом расходе тепла на горячее водоснабжение $\tau_{1\,о.м}$, $\tau_{2\,о.м}$ и $\tau_{2м}$ подсчитывают по формулам (8.39), (8.40), (8.41), (8.46) и (8.47), при $\varphi_м = \varphi_б \psi = \dfrac{G_{макс}}{G_о}$ и $\rho_м = \dfrac{Q_г^{макс}}{Q_о'}$.

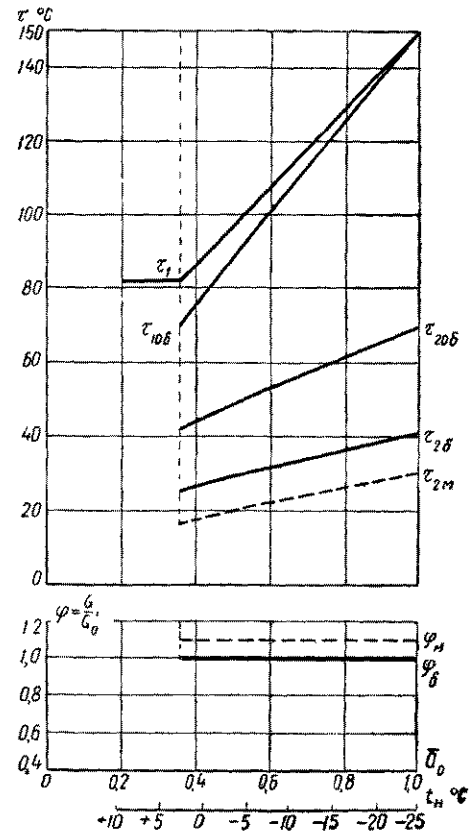


Рис. 8.12. Повышенный температурный график при двухступенчатой схеме включения подогревателей горячего водоснабжения

$\tau_1''' = 82°$ С; $t_х = 5°$ С, $t_г = 60°$ С, $\rho_{ср} = 0{,}3$;

$\rho_м = 0{,}66$; $x_б = 1{,}2$; $\Delta_б''' = 5°$ С

На рис. 8.12 приведен повышенный температурный график при двухступенчатой последовательной схеме включения подогревателей горячего водоснабжения.

8.6. СКОРРЕКТИРОВАННЫЕ ГРАФИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Центральное регулирование по скорректированным графикам применяют в двухтрубных открытых системах тепловых сетей населенных мест, когда у преобладающего количества присоединенных потребителей отношение среднечасовых расходов тепла на горячее водоснабжение к расчетному часовому расходу тепла на отопление составляет $\rho_{ср} = \frac{Q_г^{ср}}{Q_о'} = 0,1 \div 0,3$.

Точку излома скорректированных графиков принимают при той же температуре наружного воздуха, что и точка излома отопительного графика.

При $\tau_2 \geqslant t_г'$ температуры воды в тепловой сети τ_1 и τ_2 принимают по отопительному графику качественного регулирования [24].

Регулирование при постоянном общем расходе воды в подающем трубопроводе

Регулирование при постоянном общем (на отопление и горячее водоснабжение) расходе воды в подающем трубопроводе G_1, который принимают равным расчетному расходу воды на отопление $G_о'$, требует установки на тепловых пунктах потребителей регуляторов расхода на общем подающем трубопроводе.

Расчет графика регулирования производят при «балансовом» расходе тепла на горячее водоснабжение $Q_г^б = Q_г^{ср} \varkappa_б$, причем коэффициент «балансовой» нагрузки жилых зданий без аккумуляторов принимают $\varkappa_б = 1,1$.

Определение относительного расхода воды на отопление $\bar{G}_о = \frac{G_о}{G_о'}$ ($G_о$ и $G_о$ расходы воды на отопление при $t_н$ и $t_{н.о}$), температуры воды в подающем τ_1 и в обратном трубопроводе τ_2 при произвольных температурах наружного воздуха $t_н \leqslant t_н''$ производят по формулам проф. Е. Я. Соколова:

$$\bar{G}_о = \frac{G_о}{G_о'} = \frac{1 - \frac{0,5(\tau_с' - \tau_{2о}')\rho_б}{t_г - t_х}}{1 + \frac{(t_г - t_в)\rho_б}{(t_г - t_х)\bar{Q}_о} - \frac{(\tau_{пр}' - t_в)\rho_б}{(t_г - t_х)\bar{Q}_о^{0,2}}}; \quad (8.49)$$

$$\tau_1 = t_в + (\tau_{пр}' - t_в)\bar{Q}_о^{0,8} + (\tau_1' - \tau_{пр}')\frac{Q_о}{G_о}; \quad (8.50)$$

$$\tau_2 = t_в + (\tau_{пр}' - t_в)\bar{Q}_о^{0,8} - 0,5(\tau_с' - \tau_{2о}')\frac{\bar{Q}_о}{\bar{G}_о}, \quad (8.51)$$

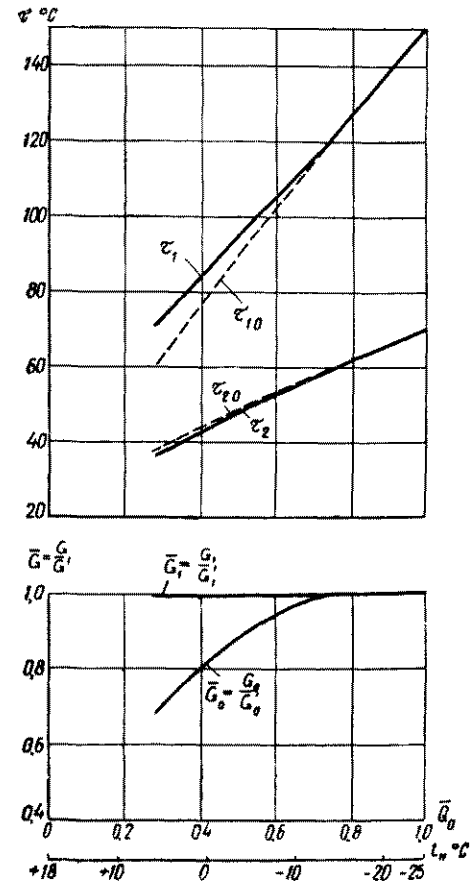


Рис. 8.13. Графики температур и расходов воды для двухтрубной открытой тепловой сети с регулированием при постоянном расходе воды в общем подающем трубопроводе

$\tau_{1о}$, $\tau_{2о}$ — температуры воды в подающем и обратном трубопроводах по отопительному графику; τ_1, τ_2 — то же, по скорректированному графику; $G_о$ — расход воды на отопление; G_1 — общий расход в подающем трубопроводе; $t_в = 18°$ С; $\tau_1' = \tau_{1о}' = 150°$ С; $\tau_{2о}' = 70°$ С; $t_х = 5°$ С; $t_г = 60°$ С; $\rho_{ср} = 0,3$; $\varkappa_б = 1,1$

где $\bar{Q}_о = \frac{Q_о}{Q_о'}$ — относительный расход тепла на отоп-

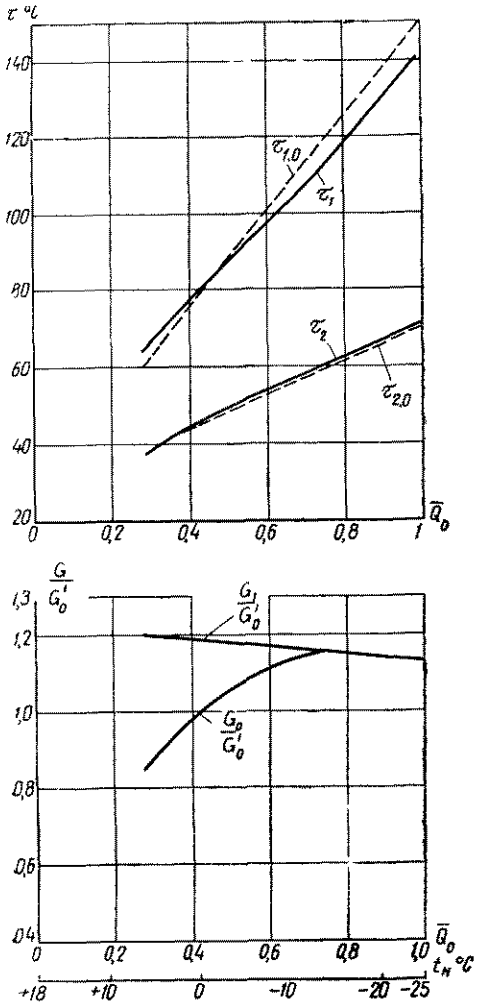


Рис. 8.14. Графики температур и расходов воды для двухтрубной открытой тепловой сети при переменном расходе воды в общем подающем трубопроводе и постоянном перепаде давлений на станции

τ_{1o}, τ_{2o} — температуры воды в подающем и обратном трубопроводах по отопительному графику;

τ_1, τ_2 — то же, по скорректированному графику;

G_0 — расход воды на отопление;

G_1 — общий расход в подающем трубопроводе;

$t_в = 18°$ С, $\tau_1' = \tau_{1o}' = 150°$С; $\tau_{2o}' = 70°$ С,

$t_х = 5°$ С; $t_г = 60°$ С; $\rho_{ср} = 0{,}3$,

$\bar{S}_1 = \bar{S}_2 = 0{,}4$; $\bar{S}_э = 0{,}2$

ление при произвольной температуре наружного воздуха $t_н$;

$\rho_б = \frac{Q^б}{Q_o'}$ — отношение «балансового» расхода тепла на горячее водоснабжение к расчетному расходу тепла на отопление;

τ_1', τ_c', τ_{2o}' и $\tau_{пр}'$ — температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети и в трубопроводах (подающем и обратном) отопительных систем и температура нагревательных приборов по отопительному графику качественного регулирования при $t_н'$.

Количество воды, отбираемой из подающего и обратного трубопроводов на горячее водоснабжение, определяют по формулам (8.25) и (8.26).

На рис. 8.13 приведены графики температур и расхода воды для двухтрубной открытой тепловой сети с регулированием при постоянном расходе воды в общем подающем трубопроводе.

Регулирование при переменном расходе воды в подающем трубопроводе и постоянном перепаде давлений на станции

При данном методе регулирования на тепловых пунктах потребителей устанавливается только регулятор температуры на потоке воды, поступающем в систему горячего водоснабжения. При начальной регулировке сети (при выключенном горячем водоснабжении) у всех потребителей устанавливают одинаковые полные напоры (сумма пьезометрического и геометрического напоров) как в подающем, так и обратном трубопроводах.

Расчет графика регулирования производят по среднечасовому расходу тепла на горячее водоснабжение $Q_г^{ср}$ по формулам проф. Е. Я. Соколова

$$\bar{G}_o = \sqrt{\frac{1}{S_1(1+\psi_1)^2 + S_э + \bar{S}_2(1-\psi_2)^2}}, \quad (8.52)$$

где

$$\psi_1 = \frac{\rho}{(t_г - t_х)}\left[\frac{t_г - t_в}{\bar{Q}_o} - \frac{\tau_{пр}' - t_в}{\bar{Q}_o^{0,2}} + \frac{0{,}5(\tau_1' - \tau_{2o}')}{(1+u)\bar{G}_o}\right];$$

$$\psi_2 = \frac{\rho}{t_г - t_х}\left[\frac{\tau_{пр}' - t_в}{\bar{Q}_o^{0,2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{(0{,}5+u)(\tau_1' - \tau_{2o}')}{(1+u)\bar{G}_o} - \frac{t_г - t_в}{\bar{Q}_o}\right].$$

Температуру воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети определяют по формулам:

$$\tau_1 = t_в + (\tau'_1 - \tau'_{2\,о})\frac{\bar{Q}_о}{\bar{G}_о}\left[\frac{0{,}5+u}{1+u} + \frac{(\tau'_{пр} - t_в)\,\bar{G}_о}{(\tau'_1 - \tau'_{2\,о})\,\bar{Q}_о^{0{,}2}}\right]; \quad (8.53)$$

$$\tau_2 = t_в + (\tau'_1 - \tau'_{2\,о})\frac{\bar{Q}_о}{\bar{G}_о}\left[\frac{(\tau'_{пр} - t_в)}{(\tau'_1 - \tau'_{2\,о})}\frac{\bar{G}_о}{Q_о^{0{,}2}} - \frac{0{,}5}{1+u}\right]. \quad (8.54)$$

В формулах (8.52), (8.53) и (8.54) обозначено:

$\rho = \rho_{ср} = \dfrac{Q_г^{ср}}{Q'_0}$ — отношение среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение к расчетному расходу тепла на отопление;

$\bar{S}_1$, $\bar{S}_э$ и $\bar{S}_2$ — относительные сопротивления подающего трубопровода, элеваторного узла и обратного трубопровода (при расчете этими величинами задаются, учитывая, что $\bar{S}_1+\bar{S}_э+\bar{S}_2=1$).

Все остальные обозначения те же, что в формулах (8.49)—(8.51).

На рис. 8.14 приведены графики температур и расходов воды (в относительных величинах) для двухтрубных открытых тепловых сетей при переменном расходе воды в общем подающем трубопроводе и постоянном перепаде давлений на станции.

ГЛАВА 9

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ТРУБОПРОВОДОВ

9.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основной задачей гидравлического расчета трубопроводов тепловых сетей является определение диаметров трубопроводов и потерь давления при заданных расходах теплоносителя или определение пропускной способности трубопроводов при заданном располагаемом перепаде давления.

Определение диаметров трубопроводов производится при суммарных зимних расчетных часовых расходах теплоносителя. Независимо от результатов расчета наименьшие диаметры труб принимают: для распределительных сетей 40 *мм* и для ответвлений к отдельным зданиям 25 *мм*.

чее водоснабжение в двухтрубных сетях при открытой системе и др. Результаты расчетов учитывают при выборе характеристик сетевых и подкачивающих насосов и при разработке гидравлических (гидродинамических) режимов.

При определении диаметров паропроводов удельные потери давления на трение вычисляют исходя из принятого перепада давлений пара, учитывающего его начальные параметры у источника тепла и заданные — у потребителя. В паропроводах определяется также падение температуры пара, что имеет важное значение при заданной конечной температуре пара у потребителя.

При выборе диаметров сборных конденсатопрово-

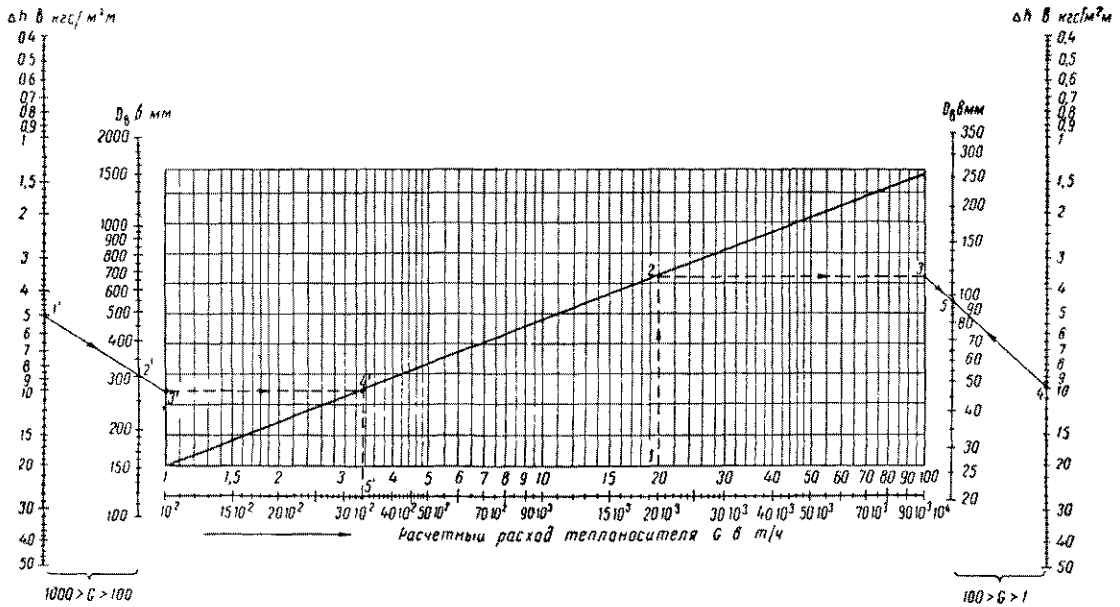


Рис. 9.1. Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей при $k_э$=0,5 *мм* и γ=958 *кгс/м³*.

Пример 1. Дано G=20 *т/ч*; Δh=10 *кгс/м² м*.
Соединяя последовательно точки *1*, *2*, *3* и *4*, находим в точке 5 $D_в$=95,5 *мм*.
Пример 2. Дано $D_в$=310 *мм*; Δh= 5 *кгс/м²м*.
Соединяя последовательно точки *1'*, *2'*, *3'*, *4'*, находим в точке *5'* G=330 *т/ч*.

Для выбранных диаметров трубопроводов водяных тепловых сетей в случае необходимости определяют потери давления при расходах воды, отличающихся от расчетных: летних, при максимальном отборе на горя-

дов удельные потери давления определяют на основе перепада давлений между конденсатоотводчиком и сборным баком конденсата с учетом возможности образования пароводяной смеси за счет частичного вски-

пания конденсата при падении давления ниже соответствующего температуре насыщения.

Для приближенных гидравлических расчетов водяных тепловых сетей приведена номограмма рис. 9.1.

Пропускная способность тепловых сетей для средних условий транспорта теплоносителя может быть приближенно определена по табл. 9.1—9.4.

Таблица 9.1

Пропускная способность трубопроводов водяных тепловых сетей ($k_э = 0{,}5$ мм; $\gamma = 958{,}4$ кгс/м³)

Условный проход труб $D_у$ в мм	Пропускная способность в т/ч при удельной потере давления на трение Δh в кгс/м² м				Пропускная способность в Гкал/ч при температурных графиках в °С											
					150—70				130—70				95—70			
					Удельная потеря давления на трение Δh в кгс/м³ м											
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
25	0,45	0,68	0,82	0,95	0,04	0,05	0,07	0,08	0,03	0,04	0,05	0,06	0,011	0,017	0,02	0,024
32	0,82	1,16	1,42	1,54	0,07	0,09	0,11	0,12	0,05	0,07	0,08	0,09	0,02	0,029	0,025	0,028
40	1,38	1,94	2,4	2,75	0,11	0,15	0,19	0,22	0,08	0,12	0,14	0,16	0,035	0,05	0,06	0,07
50	2,45	3,5	4,3	4,95	0,2	0,28	0,34	0,4	0,15	0,21	0,26	0,3	0,06	0,09	0,11	0,12
70	5,8	8,4	10,2	11,7	0,47	0,67	0,82	0,94	0,35	0,51	0,61	0,7	0,15	0,21	0,25	0,29
80	9,4	13,2	16,2	18,6	0,75	1,05	1,3	1,5	0,56	0,79	0,97	1,1	0,23	0,33	0,4	0,47
100	15,6	22	27,5	31,5	1,25	1,75	2,2	2,5	0,93	1,32	1,65	1,9	0,39	0,55	0,68	0,79
125	28	40	49	56	2,2	3,2	3,9	4,5	1,7	2,4	2,9	3,4	0,7	1	1,23	1,4
150	46	64	79	93	3,7	5,1	6,3	7,5	2,8	3,8	4,7	5,6	1,15	1,6	1,9	2,3
175	79	112	138	157	6,3	9	11	12,5	4,7	6,7	8,3	9,4	1,9	2,8	3,4	3,9
200	107	152	186	215	8,6	12	15	17	6,4	9,1	11	13	2,7	3,8	4,7	5,4
250	180	275	330	380	14	22	26	30	11	16	20	23				
300	310	430	530	600	25	34	42	48	19	26	32	36				
350	455	640	790	910	36	51	63	73	27	68	47	55				
400	660	930	1 150	1 320	53	75	92	106	40	56	69	79				
450	900	1 280	1 560	1 830	72	103	125	147	54	77	93	110				
500	1 200	1 690	2 050	2 400	96	135	164	192	72	102	123	144				
600	1 880	2 650	3 250	3 800	150	212	260	304	113	159	195	228				
700	2 700	3 800	4 600	5 400	216	304	368	432	162	228	276	324				
800	3 800	5 400	6 500	7 700	304	443	520	615	228	324	390	460				
900	5 150	7 300	8 800	10 300	415	585	705	825	310	437	527	617				
1000	6 750	9 500	11 600	13 500	540	760	930	1080	405	570	558	810				
1200	10 700	15 000	18 600	21 500	855	1200	1490	1750	640	900	1100	1290				
1400	16 000	23 000	28 000	32 000	1280	1840	2240	2560	960	1380	1680	1920				

Примечание. Пропускная способность в Гкал/ч дан для чисто отопительной нагрузки.

Таблица 9.2

Пропускная способность в т/ч паропроводов с П-образными компенсаторами при потере давления порядка 1 ат/км с учетом местных сопротивлений ($k_э = 0{,}2$ мм)

Условный проход труб $D_у$ в мм	Параметры пара $P_{раб}$ в кгс/см², t в °С, γ в кгс/м³				
	$P_{раб}$=8, t=250, γ=3,35	$P_{раб}$=13, t=300, γ=4,98	$P_{раб}$=16, t=325, γ=5,85	$P_{раб}$=21, t=350, γ=7,18	$P_{раб}$=36, t=425, γ=11,79
25	0,035	0,045	0,05	0,055	0,07
32	0 06	0,08	0,085	0,095	0,12
40	0,1	0,13	0,14	0.16	0,2
50	0,2	0,24	0,26	0,29	0,37
70	0,45	0,55	0,6	0,67	0,85
80	0,73	0,9	0,95	1,1	1,3
100	1,2	1,5	1,6	1,7	2,3
125	2,2	2,7	2,9	3,2	4,1

Продолжение табл. 9.2

Условный проход труб $D_у$ в мм	Параметры пара $P_{раб}$ в кгс/см², t в °С, γ в кгс/м³				
	$P_{раб}$=8, t=250, γ=3,35	$P_{раб}$=13, t=300, γ=4,98	$P_{раб}$=16, t=325, γ=5,85	$P_{раб}$=21, t=350, γ=7,18	$P_{раб}$=36, t=425, γ=11,79
150	3,5	4	4,5	5	6,5
175	5,5	7	7,5	8	11
200	7,5	9,5	10	11	15
250	13	17	18	20	25
300	21	26	28	31	39
350	31	39	42	47	58
400	45	56	58	65	81
450	59	72			
500	77	95			
600	118	140			
700	165	200			
800	235	285			
900	315	385			
1000	415	500			

Таблица 93

Пропускная способность в *т/ч* паропроводов с сальниковыми компенсаторами при потере давления порядка 1 *ат* на 1 *км* с учетом местных сопротивлений ($k_э$ =0,2 *мм*)

Условный проход труб $D_у$ в *мм*	Параметры пара $P_{раб}$ в *кгс/см²*, *t* в °С, γ в *кгс/м³*			
	$P_{раб}$=8, *t*=250, γ=3,35		$P_{раб}$=12,5, *t*=300, γ=4,78	
	транзитные сети	разветвленные сети	транзитные сети	разветвленные сети
100	1,3	1,3	1,6	1,5
125	2,4	2,3	2,9	2,7
150	3,9	3,7	4,7	4,3
175	6 9	6,4	8,2	7 5
200	9,4	8,5	11	10,3
250	16,8	15,6	20	18,5
300	26	24	31	29
350	39	36	47	43
400	56	53	67	62
450	78	68	93	83
500	102	90	120	108
600	160	140	190	170
700	225	200	270	240
800	320	285	380	340
900	430	385	515	460
1000	570	500	670	600

Таблица 94

Пропускная способность конденсатопроводов в *т/ч* ($k_э$ =1 *мм*; γ =958,4 *кгс/м³*)

Условный проход труб $D_у$ в *мм*	Удельная потеря давления на трение Δ*h* в *кгс/м²м*			
	5	10	15	20
25	0,41	0,58	0,72	0,83
32	0,71	1,02	1,24	1,42
40	1,2	1,7	2,07	2,4
50	2,2	3,1	3,8	4,4
70	5,2	7,4	9,1	10,5
80	8,2	11,5	14	16,5
100	14	20	24	28
125	25	36	44	51
150	41	58	72	82
175	72	100	125	140
200	98	135	165	195
250	180	250	310	350
300	280	400	500	560
350	420	590	720	840
400	610	860	1050	1220
450	820	1180	1450	1650
500	1100	1550	1900	2200

9.2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Потерю давления на участке трубопровода определяют по формуле

$$\Delta H = \Delta H_{тр} + \Delta H_м = \Delta h l_{пр} \ кгс/м^2, \qquad (9.1)$$

где $\Delta H_{тр}$ — потеря давления на трение в *кгс/м²*;

$\Delta H_м$ — потеря давления в местных сопротивлениях в *кгс/м²*;

Δh — удельная потеря давления на трение в *кгс/м²м*;

$l_{пр}$ — приведенная длина трубопровода в *м*.

Потерю давления на трение определяют по формуле

$$\Delta H_{тр} = \Delta h l \ кгс/м^2, \qquad (9.2)$$

где l — длина участка трубопровода по плану в *м*.

Потерю давления в местных сопротивлениях определяют по формуле

$$\Delta H_м = \frac{v^2}{2g} \gamma \Sigma \xi = \Delta h l_э \ кгс/м^2, \qquad (9.3)$$

где $l_э$ — эквивалентная длина местных сопротивлений в *м*;

v — скорость теплоносителя в *м/сек*;

g=9,8 *м/сек²* — ускорение свободно падающего тела;

γ — средний удельный вес теплоносителя на рассчитываемом участке трубопровода в *кгс/м³*;

$\Sigma\xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке;

ξ — значения коэффициентов для каждого вида местных сопротивлений (задвижка, вентиль, отвод и т. д.).

Удельную потерю давления на трение определяют по формуле

$$\Delta h = \lambda \frac{v^2 \gamma}{2 g D_в} = 0{,}00638 \, \lambda \frac{G^2}{D_в^5 \gamma} \ кгс/м^2 м, \qquad (9.4)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления трения (величина безразмерная);

G — расчетный расход теплоносителя на рассчитываемом участке в *т/ч*;

$D_в$ — внутренний диаметр трубы в *м*.

Приведенную длину трубопровода определяют по формуле

$$l_{пр} = l + l_э \ м. \qquad (9.5)$$

Эквивалентную длину местных сопротивлений определяют по формуле

$$l_э = \sum \xi \frac{D_в}{\lambda} \ м. \qquad (9.6)$$

Сварные стыковые швы труб при подсчете эквивалентной длины местных сопротивлений не учитываются.

При отсутствии данных о характере и количестве местных сопротивлений на трубопроводе эквивалентную длину местных сопротивлений можно определять приближенно по формуле

$$l_э = \alpha l \ м, \qquad (9.7)$$

где α — коэффициент, учитывающий долю падения давления в местных сопротивлениях по отношению к падению давления на трение, можно принимать по табл 9.5.

Внутренний диаметр и пропускную способность трубопровода, а также скорость теплоносителя определяют по формулам:

$$D_в = \sqrt[5]{\frac{0{,}00638 \, \lambda G^2}{\Delta h \gamma}} \ м; \qquad (9.8)$$

$$G = 12{,}5 \sqrt{\frac{D_в^5 \gamma \Delta h}{\lambda}} \ т/ч, \qquad (9.9)$$

$$v = 0{,}354 \frac{G}{\gamma D_в^2} \ м/сек. \qquad (9.10)$$

Таблица 95

Коэффициент α для определения суммарных эквивалентных длин местных сопротивлений

Типы компенсаторов	Условный проход труб $D_у$ в *мм*	Значения коэффициента α	
		для паропроводов	для водяных тепловых сетей и конденсатопроводов
	Транзитные магистрали		
Сальниковые	До 1000	0,2	0,2
П-образные с гнутыми отводами	300	0,5	0,3
П-образные со сварными отводами	200—350	0,7	0,5
	400—500	0,9	0,7
	600—1000	1,2	1
	Разветвленные тепловые сети		
Сальниковые	До 400	0,4	0,3
	450—1000	0,5	0,4
П-образные с гнутыми отводами	До 150	0,5	0,3
	175—200	0,6	0,4
	250—300	0,8	0,6
П-образные со сварными отводами	175—250	0,8	0,6
	300—350	1	0,8
	400—500	1	0,9
	600—1000	1,2	1

При турбулентном режиме движения теплоносителя коэффициент гидравлического сопротивления трения λ для стальных труб определяют по формулам для турбулентного движения в области квадратичного закона при $Re \geqslant Re_{пр}$ по формуле Прандтля — Никурадзе

$$\lambda = \frac{1}{\left(1{,}14 + 2\lg\frac{D_в}{k_э}\right)^2}, \qquad (9.11)$$

где $k_э$ — эквивалентная шероховатость трубы в *м*;

Re — число Рейнольдса;

$Re_{пр}$ — предельное значение числа Рейнольдса;

для турбулентного движения в переходной области при $Re < Re_{пр}$ по формуле Кольбрука — Уайта

$$\lambda = \frac{1}{\left[-2\lg\left(\frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{k_э}{3{,}7\,D_в}\right)\right]^2}. \qquad (9.12)$$

Для облегчения расчетов формулы (9.11) и (9.12) представлены в графическом виде (рис. 9.2 и 9.3).

Число Рейнольдса определяют по формуле

$$Re = \frac{vD_в}{\nu}, \qquad (9.13)$$

где ν — кинематическая вязкость теплоносителя в $м^2/сек$.

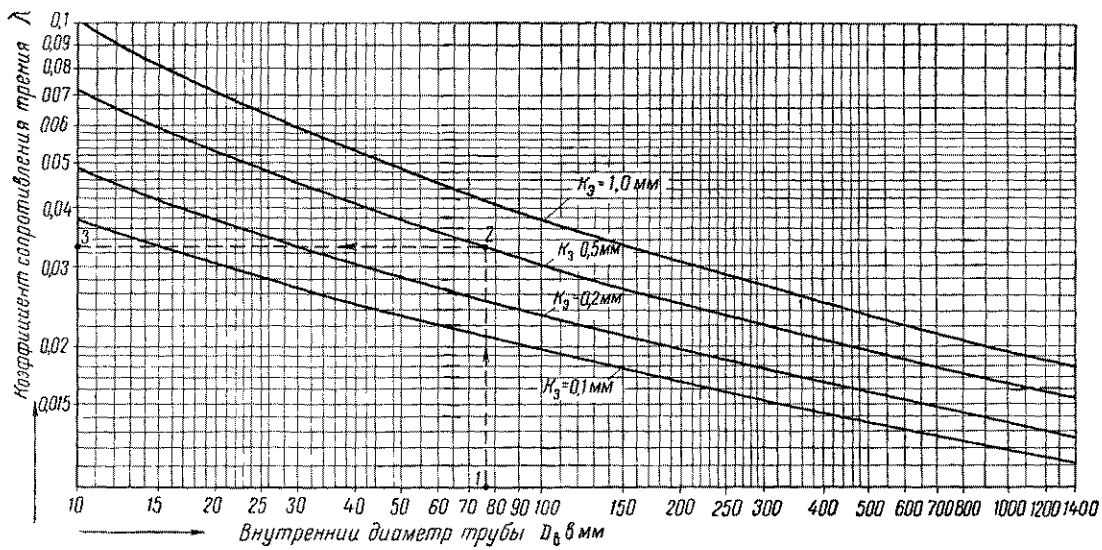


Рис. 9.2. График для определения коэффициента сопротивления трения в области квадратичного закона при $Re \geqslant Re_{пр}$

Значение числа Рейнольдса можно определить по номограммам рис. 9.4 и рис. 9.5

Кинематическую вязкость теплоносителя определяют по формуле

$$\nu = \frac{\mu g}{\gamma}\ м^2/сек, \qquad (9.14)$$

где μ — динамическая вязкость теплоносителя в $кгс\ сек/м^2$,

$g = 9{,}8\ м/сек^2$ — ускорение свободно падающего тела.

Предельное значение числа Рейнольдса, характеризующее границу переходной области и области квадратичного закона, определяют по формуле

$$Re_{пр} = 560\frac{D_в}{k_э}. \qquad (9.15)$$

Предельным значениям числа Рейнольдса $Re_{пр}$ соответствуют предельные значения скоростей теплоноси-

телей $v_{пр}$ и предельных расходов $G_{пр}$, которые определяют по формулам:

$$v_{пр} = 560 \frac{\nu}{k_э} = 5480 \frac{\mu}{\gamma k_э} \; м/сек; \qquad (9.16)$$

$$G_{пр} = 560 \frac{\gamma \nu}{0{,}354} \cdot \frac{D_в^2}{k_э} = 15\,500\,\mu \frac{D_в^2}{k_э} \; т/ч. \qquad (9.17)$$

Отношение эквивалентной шероховатости к внутреннему диаметру трубы $\frac{k_э}{D_в}$ называется относительной эквивалентной шероховатостью.

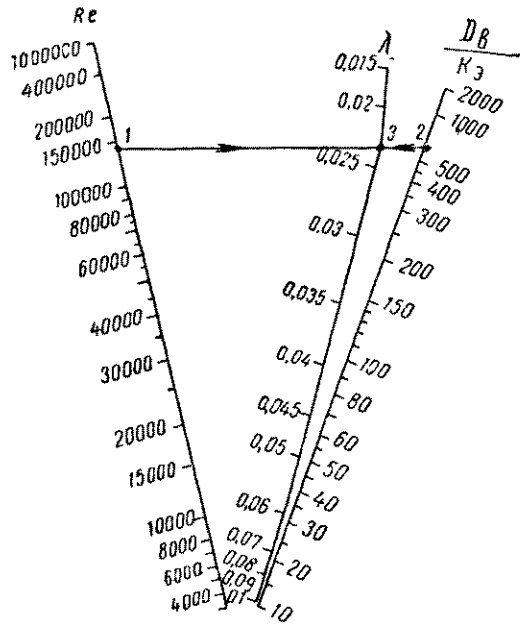


Рис. 9.3.* Номограмма для определения коэффициента сопротивления трения в переходной области при $Re < Re_{пр}$

При гидравлических расчетах трубопроводов тепловых сетей величину эквивалентной шероховатости принимают:

Для водяных тепловых сетей . . . . $k_э = 0{,}5$ *мм*

» паропроводов . . . . . $k_э = 0{,}2$ »

» конденсатопроводов . . . . . $k_э = 1{,}0$ »

Потерю давления на трение и в местных сопротивлениях, а также пропускную способность существующих тепловых сетей с учетом изменения эквивалентной шероховатости в процессе эксплуатации определяют на основании испытаний по формулам:

$$\Delta H = \Delta H_c \frac{G^2}{G_c^2} \; кгс/м^2; \qquad (9.18)$$

$$G = G_c \sqrt{\frac{\Delta H}{\Delta H_c}} \; т/ч, \qquad (9.19)$$

где ΔH_c — полная потеря давления на трение и в местных сопротивлениях в существующих тепловых сетях по данным замеров в натуре в *кгс/м²*;

G_c — расход теплоносителя, при котором замеряли потерю давления, в *т/ч*.

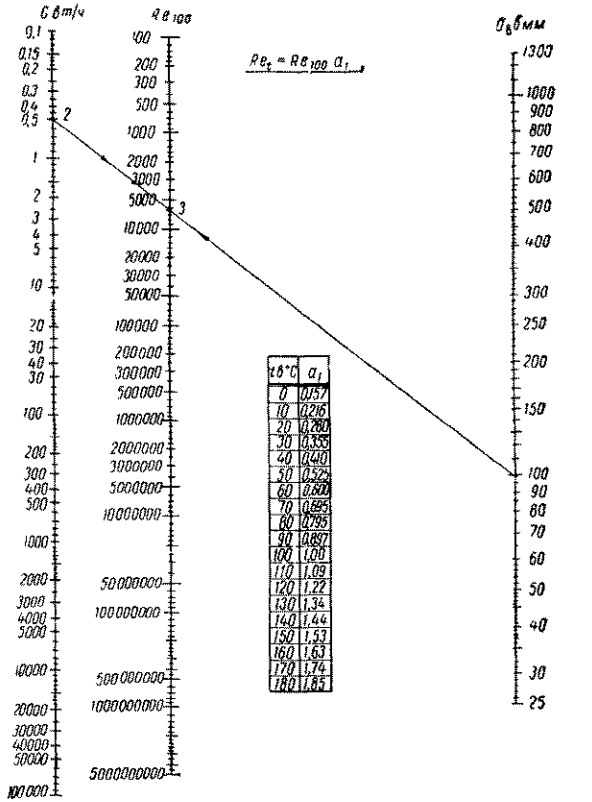


Рис. 9.4. Номограмма для определения числа Рейнольдса для воды (при $t = 100°$ С)

Пример. Дано $D_в = 100$ *мм*; $G = 0{,}5$ *т/ч*; $t = 30°$ С. Соединяя последовательно точки *1* и *2*, находим в точке *3* $Re_{100} = 6250$. Определяем $Re_{30} = Re_{100} a_t = 6250 \cdot 0{,}355 = 2215$

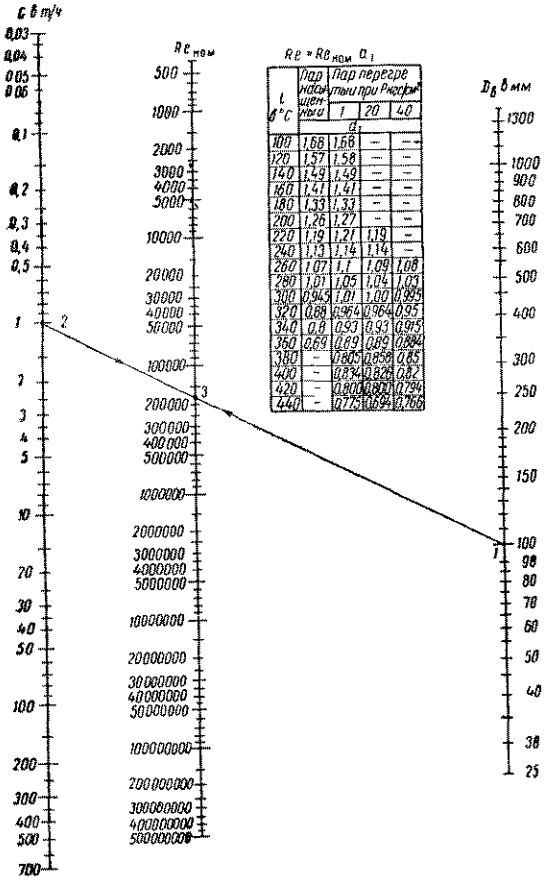
9.3. РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Зимний расчетный часовой расход сетевой воды для гидравлического расчета двухтрубных водяных сетей принимают равным сумме расчетных зимних часовых расходов воды потребителями, которые, в свою очередь, равны сумме расчетных часовых расходов воды на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, определяемых по формулам, приведенным в табл. 9.6 и 9.7.

Летний расчетный часовой расход сетевой воды для гидравлического расчета двухтрубных водяных тепловых сетей принимают равным сумме летних расчетных часовых расходов воды потребителями на горячее водоснабжение, определяемых по формулам, приведенным в табл. 9.8.

Зимний и летний расчетные часовые расходы сетевой воды для гидравлического расчета отдельных тепловых сетей для горячего водоснабжения принимают равными сумме зимних или летних расчетных часовых

* Е. З. Рабинович. Гидравлика. Изд-во Физматгиз, 1963.



t °C	Пар насыщенный	Пар перегретый при Р кгс/см² 1	20	40
		a1		
100	1,68	1,68	—	—
120	1,57	1,58	—	—
140	1,49	1,49	—	—
160	1,41	1,41	—	—
180	1,33	1,33	—	—
200	1,26	1,27	—	—
220	1,19	1,21	1,19	—
240	1,13	1,14	1,14	—
260	1,07	1,1	1,09	1,08
280	1,01	1,05	1,04	1,03
300	0,945	1,01	1,00	0,995
320	0,88	0,964	0,964	0,95
340	0,8	0,93	0,93	0,915
360	0,69	0,89	0,89	0,894
380	—	0,805	0,858	0,85
400	—	0,84	0,828	0,82
420	—	0,800	0,800	0,794
440	—	0,775	0,694	0,766

Рис. 9.5. Номограмма для определения числа Рейнольдса для пара

Пример. Дано $D_в$=100 *мм*, G=1 *т/ч*; P=40 *кгс/см²*, t=400° С Соединяя последовательно точки *1* и *2*, находим в точке *3* $Re_{ном}$=176 500 Определяем $Re_{400}=Re_{ном}\ a_1$ = =176 500 · 0,82=145 000

расходов воды потребителями на горячее водоснабжение, определяемых по формулам, приведенным в табл. 9.9.

Зимний расчетный часовой расход пара для гидравлического расчета паропроводов определяют как сумму расчетных максимальных часовых расходов пара потребителями на технологические процессы, отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Расчетный часовой расход пара для гидравлического расчета паропроводов насыщенного пара определяют, учитывая дополнительный расход пара, который идет на возмещение конденсирующегося пара.

В формулах табл. 9.6—9 9:

$Q'_о$; $Q''_в$ — максимальные часовые расходы тепла соответственно на отопление и вентиляцию без учета потерь тепла в трубопроводах тепловых сетей в *ккал/ч*;

$Q_г^{макс}$; $Q_г^{ср}$ — соответственно максимальный часовой и среднечасовой расход тепла на бытовое горячее водоснабжение за сутки наибольшего водопотребления без учета потерь тепла в трубопроводах тепловых сетей в *ккал/ч*;

$\left(\frac{Q_г^{ср}}{Q'_о}\right)_x$; $\left(\frac{Q_г^{ср}}{Q'_о}\right)$ — отношение среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение к максимальному часовому на отопление, принятое за основу при построении повышенного или скорректированного графика температур и для конкретного потребителя;

$t_{н.о}$; $t_{н.в}$ — расчетная температура наружного воздуха соответственно для проектирования отопления и для проектирования вентиляции в *град*;

$t''_н$ — температура наружного воздуха в точке излома отопительного графика в *град*;

Таблица 9.6

Формулы для определения расчетных часовых расходов сетевой воды и удельные расходы сетевой воды потребителями на отопление и вентиляцию

Системы	Схемы присоединения системы	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции в °С	Формула	Удельный расход воды в *кг/ч* на 1 *ккал/ч* расчетного расхода тепла при $(\tau_1'-\tau_{2\,о}')$ в °С		
				95—70	130—70	150—70
Отопление	Непосредственная	$t_{н.о}$	$G_о=\frac{Q'_о}{c\left(\tau'_1-\tau'_{2\,о}\right)}$	40	16,7	12,5
	Независимая		$G_о=\frac{Q'_о}{c\left[\tau'_1-\left(\tau'_{2\,о}+10\right)\right]}$	66,7	20	16,7

Продолжение табл. 9.6

Системы	Схемы присоединения системы	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции в °С	Формула	Удельный расход воды в *кг/ч* на 1 *ккал/ч* расчетного расхода тепла при $\left(\tau_1' - \tau_{2o}'\right)$ в °С		
				95—70	130—70	150—70
Вентиляция	Непосредственная	$t_{н.в} = t_{н.о}$	$G_в = \frac{Q_в''}{c\left(\tau_1' - \tau_{2o}'\right)}$	40	16,7	12,5
		$t_{н.в}$	$G_в = \frac{Q_в''}{c\left(\tau_1'' - \tau_{2в}''\right)}$**	53*	22*	17*
	Независимая	$t_{н.в} = t_{н.о}$	$G_в = \frac{Q_в''}{c\left[\tau_1' - \left(\tau_{2o}' + 10\right)\right]}$	—	20	16,7
		$t_{н.в}$	$G_в = \frac{Q_в''}{c\left[\tau_1'' - \left(\tau_{2в}'' + 10\right)\right]}$**	—	29*	20*

Примечания: 1. Цифры, отмеченные звездочкой, представляют собой усредненный при различных температурах наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{н.э}$ расход воды.

2. При повышенном графике температур в тепловых сетях в формулах, отмеченных двумя звездочками, принимают $\tau_1'' = \tau_{1п}''$.

Таблица 9.7

Формулы для определения зимних расчетных часовых расходов воды потребителями на горячее водоснабжение $G_г^р$ в *кг/ч* для гидравлического расчета двухтрубных водяных тепловых сетей

Системы	Расчетный температурный график	Схемы присоединения местных водонагревателей или трубопроводов горячего водоснабжения	При установке местных баков-аккумуляторов для расчета всех участков тепловых сетей	При отсутствии местных баков-аккумуляторов	
				для расчета магистральных и распределительных тепловых сетей	для расчета ответвлений к отдельным зданиям
Закрытая	Отопительный	Параллельная	$\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_3'''\right)}$	$1{,}3—1{,}4\,\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_3'''\right)}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\left(\tau_1''' - \tau_3'''\right)}$
		Предвключенная	$\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)}$	$1{,}3—1{,}4\,\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)}$	$1{,}3—1{,}4\,\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)}$
		Смешанная двухступенчатая	$\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)} \cdot \frac{t_г - t_п}{t_г - t_{х.з}}$	$1{,}2—1{,}3\,\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)} \times \times \frac{t_г - t_п}{t_г - t_{х.з}}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)} \cdot \frac{t_г - t_п}{t_г - t_{х.з}}$
		Последовательная двухступенчатая			$1{,}2—1{,}3\,\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1''' - \tau_{2o}'''\right)} \times \times \frac{t_г - t_п}{t_г - t_{х.з}}$

Продолжение табл. 9.7

Система	Расчетный температурный график	Схемы присоединения местных водонагревателей или трубопроводов горячего водоснабжения	При установке местных баков-аккумуляторов для расчета всех участков тепловых сетей	При отсутствии местных баков-аккумуляторов: для расчета магистральных и распределительных тепловых сетей	При отсутствии местных баков-аккумуляторов: для расчета ответвлений к отдельным зданиям
Закрытая	Повышенный	Параллельная	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{3}\right)}$	$1{,}3\text{—}1{,}4\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{3}\right)}$	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{макс}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{3}\right)}$
		Предвключенная	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}$	$1{,}3\text{—}1{,}4\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}$	$1{,}3\text{—}1{,}4\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}$
		Смешанная двухступенчатая	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}\cdot\frac{t_{\text{г}}-t_{\text{п}}}{t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}}$	$1{,}2\text{—}1{,}3\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}\times\frac{t_{\text{г}}-t_{\text{п}}}{t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}}$	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{макс}}}{c\left(\tau''_{\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}\,\frac{t_{\text{г}}-t_{\text{п}}}{t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}}$
		Последовательная двухступенчатая: для потребителей при $\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)\leqslant\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x$	0	0	$1{,}2\text{—}1{,}3\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}\times\frac{t_{\text{г}}-t_{\text{п}}}{t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}}$
		Последовательная двухступенчатая: для потребителей при $\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)>\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x$	$\frac{Q'_{\text{о}}}{c\left(\tau''_{1\text{п}}-\tau''_{2\text{о}}\right)}\cdot\frac{t_{\text{г}}-t_{\text{п}}}{t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}}\times\left[\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}-\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x\right]$	$0{,}6\text{—}0{,}8\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}\right)}$	
Открытая	Отопительный	Подающий	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}\right)}$	$0{,}6\text{—}0{,}8\,\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c\left(t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}\right)}$	
		Обратный	0		
	Скорректированный	Подающий и обратный: для потребителей при $\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)\leqslant\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x$	0	0	$\frac{Q_{\text{г}}^{\text{макс}}}{c\left(t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}\right)}$
		Подающий: для потребителей при $\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)>\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x$	$\frac{Q'_{\text{о}}}{c\left(t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}\right)}\times\left[\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}-\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x\right]$*	$0{,}6\text{—}0{,}8\,\frac{Q'_{\text{о}}}{c\left(t_{\text{г}}-t_{\text{х.з}}\right)}\times\left[\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}-\left(\frac{Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{Q'_{\text{о}}}\right)_x\right]$	

* Для оратного трубопровода расход равен нулю.

Таблица 9.8

Формулы для определения летних расчетных часовых расходов сетевой воды потребителями на горячее водоснабжение $G_г^р$ в *кг/ч* для гидравлического расчета двухтрубных водяных тепловых сетей

Системы		При установке местных баков-аккумуляторов для расчета всех участков тепловых сетей	При отсутствии местных баков-аккумуляторов			
			для городов и населенных мест		для промышленных предприятий	
			для расчета магистральных и распределительных тепловых сетей	для расчета ответвлений к отдельным зданиям	для расчета магистральных и распределительных тепловых сетей	для расчета ответвлений к отдельным зданиям
Закрытая		$\frac{0{,}65Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1^л - \tau_3^л\right)}$	$\frac{1{,}3Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1^л - \tau_3^л\right)}$	$\frac{0{,}65Q_г^{макс}}{c\left(\tau_1^л - \tau_3^л\right)}$	$\frac{Q_г^{ср}}{c\left(\tau_1^л - \tau_3^л\right)}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\left(\tau_1^л - \tau_3^л\right)}$
Открытая	подающий трубопровод	$\frac{0{,}65Q_г^{ср}}{c\left(t_г - t_{х.л}\right)}$*	$\frac{1{,}3Q_г^{ср}}{c\left(t_г - t_{х.л}\right)}$	$\frac{0{,}65Q_г^{макс}}{c\left(t_г - t_{х.л}\right)}$	$\frac{Q_г^{ср}}{c\left(t_г - t_{х.з}\right)}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\left(t_г - t_{х.з}\right)}$
	обратный трубопровод	10 % от соответствующего расчетного расхода сетевой воды в подающем трубопроводе				

* Для промышленных предприятий в формуле, отмеченной звездочкой, вместо коэффициента 0,65 принимают коэффициент, равный единице.

τ_1'; $\tau_{2\,о}'$ — температура сетевой воды по отопительному графику при $t_{н.о}$ соответственно в подающем трубопроводе и в обратном трубопроводе от системы отопления в *град*;

τ_1''; $\tau_{2в}''$ — температура сетевой воды по отопительному графику при $t_{н.в}$ соответственно в подающем трубопроводе и в обратном трубопроводе от системы вентиляции в *град*;

$\tau_{1п}''$ — температура сетевой воды в подающем трубопроводе по повышенному или скорректированному графику при $t_{н.в}$ в *град*;

τ_1'''; $\tau_{2о}'''$ — температура сетевой воды в точке излома отопительного графика при $t_н'''$ соответственно в подающем трубопроводе и в обратном трубопроводе от системы отопления в *град*;

$\tau_{1п}'''$ — температура сетевой воды в подающем трубопроводе по повышенному графику в точке излома графика при $t_н'''$ в *град*;

τ_3''' — температура сетевой воды после параллельно включенного водонагревателя горячего водоснабжения в точке излома графика при $t_н'''$ в *град*;

$\tau_1^л$ — температура сетевой воды в подающем трубопроводе в летний период в *град*;

$\tau_3^л$ — температура сетевой воды после местного водонагревателя в летний период в *град*;

$t_{х.з}$, $t_{х.л}$ — температура холодной водопроводной воды соответственно в зимний и летний период в *град*;

$t_г$ — температура горячей воды, поступающей в местную систему горячего водоснабжения, в *град*;

$t_п$ — температура водопроводной воды после водонагревателя первой ступени в точке излома графика; рекомендуется принимать $t_п = \left(\tau_{2о}''' - 5\right)$ °С;

c — теплоемкость воды в *ккал/кг град*; принимают в расчетах равной 1 *ккал/кг град*.

Расход конденсирующегося пара на данном участке паропровода определяют по формуле

$$G_п = \frac{q_{уд}(t_{ср} - t_о)\,l}{r}\,10^{-3}\ т/ч, \qquad (9.20)$$

где r — скрытая теплота парообразования в *ккал/кг*, соответствующая среднему давлению пара на расчетном участке длиной l *м*;

$t_{ср}$ — средняя температура пара на рассчитываемом участке в °С;

$t_о$ — температура окружающей среды в *град* принимается: в непроходных каналах $t_о$=0°С; в проходных каналах $t_о$=40°С; при надземной прокладке $t_о = t_{н.о}$ °С;

$q_{уд}$ — удельная потеря тепла изолированным паропроводом с учетом потерь тепла арматурой, компенсаторами и опорами в *ккал/м ч град*; принимается по табл. 9 10

Средняя температура пара на рассчитываемом участке определяется по формуле

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2}\,°С, \qquad (9.21)$$

где t_1, t_2 — температура пара в начале и в конце расчетного участка в *град*.

Расчетный часовой расход пара на рассчитываемом участке паропровода насыщенного пара определяют по формуле

$$G_р = G + 0{,}5\,G_п + \Sigma\,G_п\ т/ч, \qquad (9.22)$$

где G — расчетный расход пара на участке паропровода без учета расхода пара на возмещение потерь тепла в *т/ч*;

$G_п$ — расход пара на возмещение потерь тепла на рассчитываемом участке в *т/ч*,

Таблица 99

Формулы для определения зимних и летних расчетных часовых расходов сетевой воды потребителями $G_г^р$ в *кг/ч* для гидравлического расчета отдельных тепловых сетей на горячее водоснабжение

Трубопроводы		При установке местных баков-аккумуляторов для расчета всех участков тепловых сетей	При отсутствии местных баков-аккумуляторов			
			для городов и населенных мест		для промышленных предприятий	
			для расчета магистральных и распределительных тепловых сетей	для расчета ответвлений к отдельным зданиям	для расчета магистральных и распределительных тепловых сетей	для расчета ответвлений к отдельным зданиям
Подающий	зимний расчетный расход сетевой воды	$\frac{Q_г^{ср}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$	$\frac{2Q_г^{ср}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$	$\frac{Q_г^{ср}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$
	летний расчетный расход сетевой воды	$\frac{0{,}65Q_г^{ср}{}^{*}}{c\,(t_г - t_{х.л})}$	$\frac{1{,}3Q_г^{ср}}{c\,(t_г - t_{х.л})}$	$\frac{0{,}65Q_г^{макс}}{c\,(t_г - t_{х.л})}$	$\frac{Q_г^{ср}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$	$\frac{Q_г^{макс}}{c\,(t_г - t_{х.з})}$
Циркуляционный	10 % от соответствующего расчетного расхода сетевой воды в подающем трубопроводе					

Примечания 1. Для промышленных предприятий в формуле, отмеченной звездочкой, вместо коэффициента 0,65 принимают коэффициент, равный единице

2. Дополнительный расход воды на рециркуляцию в подающем трубопроводе не учитывается.

Таблица 910

Удельные потери тепла 1 *м* изолированного паропровода с учетом дополнительных потерь тепла арматурой, опорами и компенсаторами $q_{уд}$ в *ккал/м ч град* при разности температур между температурой пара и окружающей среды в 1 *град*

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *мм*	Надземная прокладка			Прокладка в непроходных каналах			Прокладка в тоннелях		
	температура пара в *град*								
	200	250—300	350—450	200	250—300	350	200	250—300	350—450
32	0,41	0,41	0,41	0,4	0,39	0·39	0,45	0,44	0,42
45	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0·51	0,5	0,48
57	0,52	0,51	0,51	0,5	0,49	0,48	0,55	0,54	0,51
76	0,57	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54	0,61	0,59	0,57
89	0,62	0,61	0,59	0,60	0,58	0,57	0,64	0,62	0,6
108	0,68	0,66	0,65	0,65	0,64	0,62	0,7	0,67	0,65
133	0,74	0,72	0,71	0,71	0,69	0 68	0,79	0,75	0,71
159	0,8	0,78	0,77	0,77	0,75	0,74	0,88	0,83	0,77
219	0,94	0,93	0,91	0,9	0,89	0,87	1,03	0,98	0,92
273	1,07	1,05	1,01	1,03	1,01	0,9¥	1,14	1,09	1,02
325	1,2	1,17	1,13	1,15	1,12	1,09	1·25	1,19	1,12
377	1,32	1,27	1,22	1,28	1,22	1,18	1,37	1,3	1,21
426	1,34	1,3	1,22	1,29	1,22	1,17	1,37	1,33	1 2
478	1,44	1,37	—	1,39	1,31	1,25	1,47	1,39	—
529	1,51	1,46	—	1,45	1,41	1,33	1,58	1,48	—
630	1,69	1,61	—	1,62	1,55	1,47	1,82	1,7	—
720	1,83	1,75	—	1,75	1,68	1,6	2,02	1,86	—
820	2,03	1,94	—	1,95	1,87	1,78	2,26	2,08	—
920	2,28	2,14	—	2,18	2,06	1,95	2,48	2,27	—
1020	2,51	2,37	—	2,40	2,28	2,14	2,66	2,46	—

Примечания 1 При определении удельных потерь тепла температура окружающей среды принята для надземной прокладки среднегодовая температура наружного воздуха +5° С, для прокладки в непроходных каналах среднегодовая температура грунта на оси заложения паропровода +5° С, для прокладки в проходных каналах температура воздуха в канале +40° С

2 Дополнительные потери тепла арматурой, опорами и компенсаторами учтены коэффициентами для магистральных тепловых сетей, прокладываемых в тоннеляхн каналах, 1,15, при надземной прокладке 1,2, для распределительных тепловых сетей и ответвлений к отдельным зданиям, прокладываемых в тоннелях и каналах, 1,25, при надземной прокладке 1,3

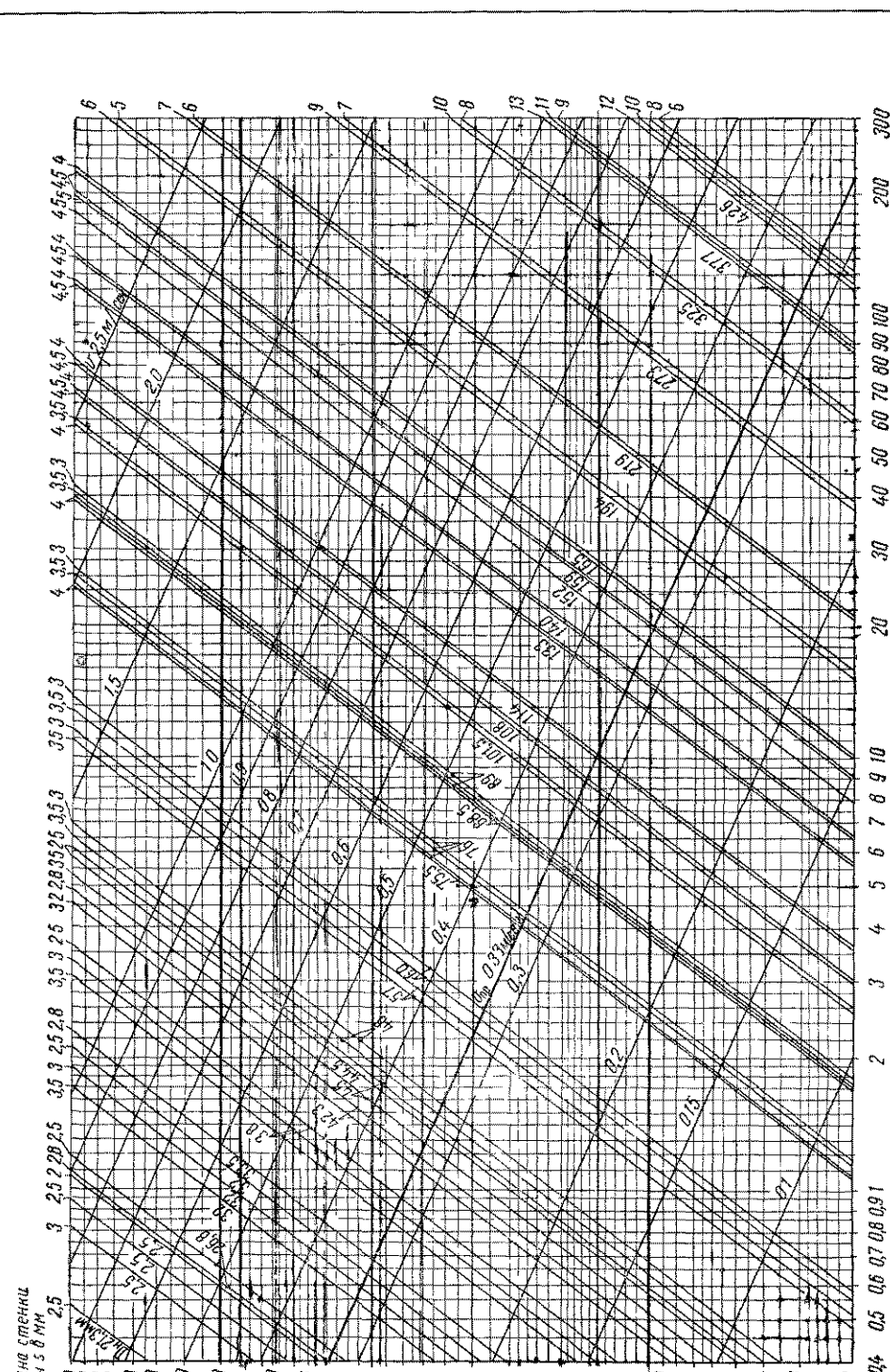


Рис 9.6. Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов при $k_э$=0,5 *мм* и γ=958 *кгс/м³* при расходе теплоносителя от 0,4 до 300 *т/ч*

Жирной линией обозначена предельная скорость $v_{пр}$ = 0,33 *м/сек*, соответствующая границе между переходной и квадратичной областью

$\Sigma G_п$ — расход пара на возмещение потерь тепла участками паропровода, расположенными между концевым потребителем и рассчитываемым участком, в *т/ч*

Зимние расчетные часовые расходы конденсата для гидравлического расчета конденсатопроводов определяют по максимальному часовому количеству возвращаемого конденсата потребителями или отдельными насосными возврата конденсата. Возврат конденсата от местных систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, работающих на паре, для расчета конденсатопроводов принимается в размере 100% от расхода пара Возврат конденсата от технологических процессов принимается по проекту местной системы технологических паропроводов

9.4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Гидравлический расчет трубопроводов водяных тепловых сетей производят по номограммам рис. 9 6 и 9 7 или табл 9 11.

Значения эквивалентных длин местных сопротивлений принимают по табл 9.12 и 9 13.

При составлении таблиц и номограмм принято температура воды $t=100°C$, удельный вес воды $\gamma=958{,}4$ *кгс/м³*, эквивалентная шероховатость труб $k_э=0{,}5$ *мм* и кинематическая вязкость воды $\nu=0{,}295\cdot10^{-6}$ *м²/сек*

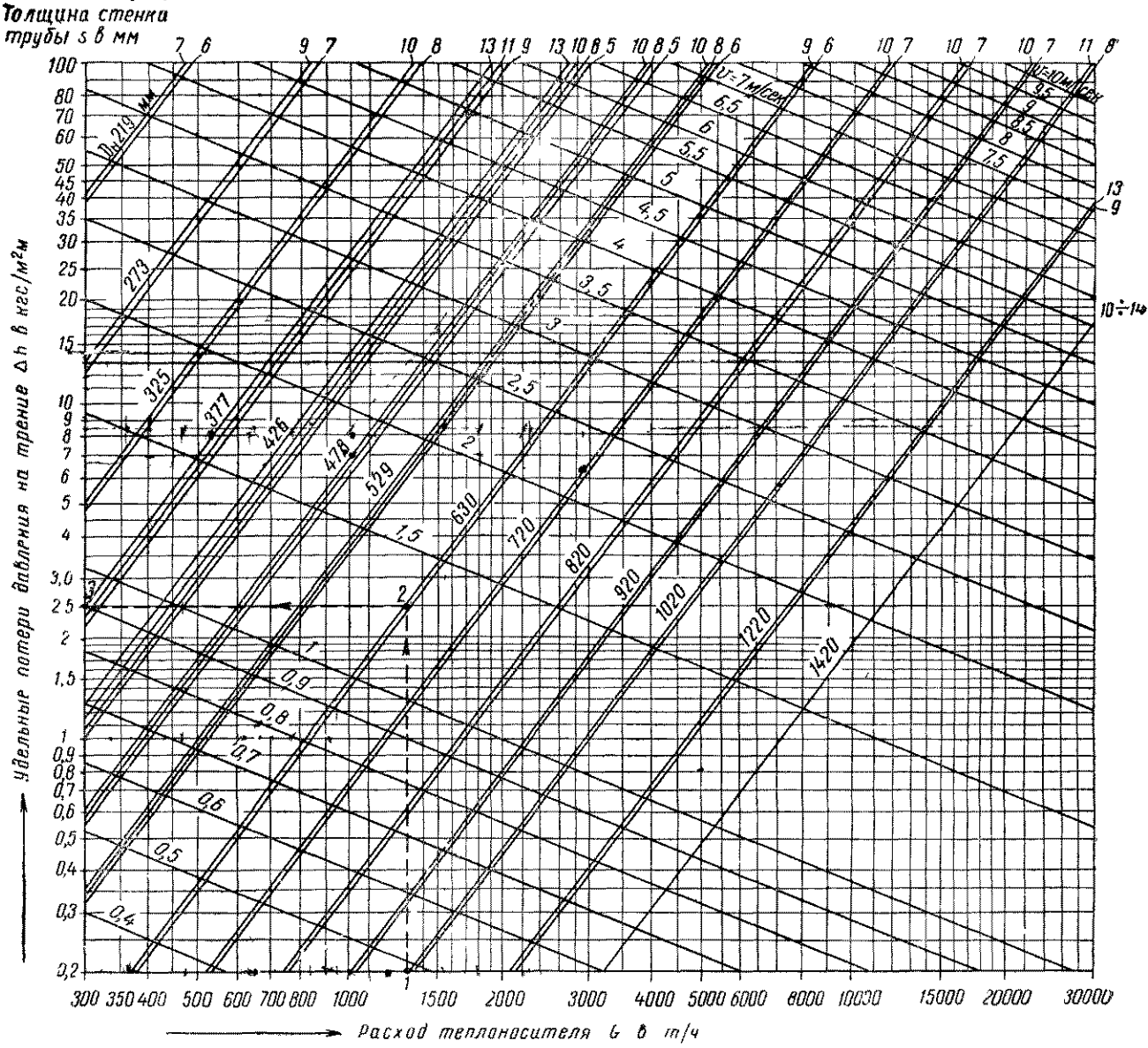


Рис 9 7. Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов при $k_э=0{,}5$ *мм* и $\gamma=958$ *кгс/м³* при расходе теплоносителя от 300 до 30 000 *т/ч*

Пример. Дано $G=1300$ *т/ч*, $D_н=630$ *мм*, $s=9$ *мм*. Находим в точке 2 $v=1{,}3$ *м/сек*, а в точке 3 $\Delta h=2{,}45$ *кгс/м² м*

Таблица 9 11

Таблица для гидравлического расчета трубопроводов при $k_э = 0{,}5$ мм и $\gamma = 958{,}4$ кгс/м³

$D_н \times s$ в мм	32×2,5		38×2,5		44,5×2,5		45×2,5		57×3,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
0,2	0 1	0,95								
0 22	0,11	1,14								
0,24	0,17	1,35								
0,26	0,13	1,59								
0,28	0,14	1,82								
0,3	0,15	2,08	0,1	0,72						
0,32	0,16	2,37	0,11	0,81						
0,34	0,17	2,71	0,12	0,92						
0,36	0,18	2,97	0,12	1,03						
0,38	0,19	3,3	0,13	1,15						
0,4	0,2	3,65	0 14	1 26						
0,42	0,21	4	0,14	1,37						
0,44	0,22	4,38	0,15	1,52	0,1	0,59	0,1	0,55		
0,46	0,23	4,75	0,16	1,66	0,11	0,64	0,11	0,6		
0,48	0,24	5,15	0,16	1,82	0,11	0,69	0,11	0,65		
0,5	0,25	5,55	0,17	1,95	0,12	0,76	0,12	0,7		
0,55	0,28	6,66	0,19	2,35	0,13	0,91	0,13	0,85		
0,6	0,3	7,85	0,2	2,8	0,14	1,07	0,14	1,01		
0,65	0,33	8,19	0,22	3,26	0,15	1,27	0,15	1,18		
0,7	0,35	10,7	0,24	3,77	0,17	1,46	0,16	1,37	0,1	0,44
0,75	0,38	12,3	0,25	4,31	0,18	1,67	0,17	1,57	0,11	0,5
0,8	0,41	14	0,27	4,86	0,19	1,9	0,18	1,77	0,12	0,57
0,85	0,43	15,8	0,29	5,45	0,2	2,13	0,2	2	0,13	0,65
0,9	0,46	17,7	0,31	6,08	0,21	2 38	0,21	2,22	0,13	0,72
0,95	0,48	19,7	0,32	6,73	0,22	2,64	0,22	2,48	0,14	0,8
1	0,51	21,9	0,34	7,45	0,24	2,91	0,23	2,72	0,15	0,88
1,05	0,53	24,1	0,36	8,21	0,25	3,2	0,24	2,99	0,16	1,07
1,1	0,56	26,5	0,37	9,01	0 26	3,51	0,25	3,29	0,16	1,05
1,15	0,58	28,9	0,39	9,85	0,27	3,82	0,27	3,58	0,17	1,14
1,2	0,61	32	0,41	10,7	0,28	4,15	0,28	3,87	0,18	1,24

Продолжение табл 9 11

$D_н \times s$ в мм	32×2,5		38×2,5		44,5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
1,25	0,63	34,2	0,42	11,6	0,3	4,48	0,29	4,2	0,18	1,34		
1,3	0,66	37	0,44	12,6	0,31	4,83	0,3	4,51	0,19	1,44	0,1	0,27
1,35	0,68	39,9	0,46	13,6	0,32	4,18	0,31	4,86	0,2	1,55	0,1	0,29
1,4	0,71	42,9	0,47	14,6	0,33	5,57	0,32	5,21	0,21	1,67	0,11	0,31
1,45	0,73	46	0,49	15,7	0,34	5,98	0,33	5,59	0,21	1,78	0,11	0,33
1,5	0,76	49,2	0,51	16,8	0,36	6,4	0,35	5,98	0,22	1,91	0,12	0,36
1,55	0,79	52,6	0,53	17,9	0,37	6,83	0,36	6,38	0,23	2,02	0,12	0,38
1,6	0,81	56	0,54	19,1	0,38	7,28	0,37	6,8	0 24	2,14	0,12	0,4
1,65	0,84	59,6	0,56	20,3	0,39	7,74	0,38	7,23	0,24	2,26	0,13	0,43
1,7	0,86	63,2	0,58	21,5	0,4	8 21	0,39	7,68	0,25	2,4	0,13	0,46
1,75	0,89	67	0,59	22,8	0,41	8,7	0,4	8,14	0,26	2,53	0,14	0,48
1 8	0,91	70,9	0 61	24,1	0,43	9,21	0,42	8,61	0,27	2,66	0,14	0,51
1,85	0,94	74,9	0,63	25,5	0,44	9,73	0,43	9,09	0,27	2,81	0,14	0,53
1,9	0,96	79	0,64	26,9	0,45	10,3	0,44	9,59	0,28	2,96	0,15	0,56
1,95	0,99	83,2	0,66	28,3	0,46	10,8	0,45	10,1	0,29	3,1	0,15	0,59
2	1,01	87,5	0,68	29,8	0,47	11,4	0,46	10,6	0,3	3,25	0,16	0,62

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	32×2 5		38×2,5		44,5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
2,1	1,06	96,5	0,71	32,8	0,5	12,5	0,48	11,7	0,31	3,55	0,16	0,68
2,2	1,11	105,9	0,75	36	0,52	13,8	0,51	12,9	0,33	3,69	0,17	0,75
2,3			0,78	39,4	0,54	15	0,53	14,1	0,34	4,27	0,18	0,81
2,4			0,81	42,9	0,57	16,4	0,55	15,3	0,35	4,64	0,19	0,88
2,5			0,85	46,5	0,59	17,8	0,58	16,6	0,37	5,04	0,19	0,96
2,6			0,88	50,3	0,62	19,2	0,6	18	0,38	5,45	0,2	1,03
2,7			0,92	54,3	0,64	20,7	0,62	19,4	0,4	5,88	0,21	1,11
2,8			0,95	58,4	0 66	22,3	0,65	20,8	0,41	6,32	0,22	1,15
2,9			0,98	62,6	0,69	23,9	0,67	22,3	0,43	6,78	0,22	1,25
3			1,02	67	0,71	25,6	0,69	23,9	0,44	7,26	0,23	1,35
3,1			1,05	71,6	0,74	27,3	0,72	25,5	0,46	7,75	0,24	1,45
3,2			1,09	76,3	0,76	29,1	0,74	27,2	0,47	8,26	0,25	1,53
3,3			1,12	81,1	0,78	31	0,76	28,9	0,49	8,78	0,26	1,62
3,4			1,15	86,1	0,8	32,9	0,78	30,7	0,5	9,32	0,26	1,73

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	44,5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5		89×3,5		108×4		133×4	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
3,5	0,83	34,8	0,81	32,6	0,52	9,88	0,27	1,82	0,19	0,71	0,13	0,27		
3,6	0,85	36,8	0,83	34,4	0,53	10,4	0,28	1,92	0,2	0,75	0,13	0,28		
3,7	0,88	38,9	0,85	36,4	0,55	11	0,29	2,02	0,2	0,79	0,14	0,29		
3,8	0,9	41	0,88	38,4	0,56	11,6	0,29	2,13	0,21	0,83	0,14	0,31		
3,9	0,92	43,2	0,9	40,4	0,58	12,3	0,3	2,22	0,21	0,88	0,14	0,33		
4	0,95	45,5	0,92	42,5	0,59	12,9	0 31	2,33	0,22	0,92	0,15	0,34		
4,2	0,99	50,1	0,97	46,9	0,62	14,2	0,33	2,48	0,23	1,01	0,16	0,38		
4,4	1,04	55	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	1,09	60,1	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	1,14	65,5	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	1,18	71,1	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	1,23	76,9	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	1,28	82,9	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	1,33	89,1	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	1,37	95,6	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	1,42	102,3	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

Продолжение табл. 9 11

$D_н \times s$ в мм	76×3,5		89×3,5		108×4		133×4		152×4,5		159×4,5		194×6		194×5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
12	0,93	20,9	0,66	8,33	0,44	2,91	0,28	0,9	0,22	0,46	0,2	0,36				
12,5	0,97	22,6	0,69	9,04	0,46	3,15	0,3	0,98	0,23	0,49	0,21	0,39				
13	1,08	24,5	0,71	9,78	0,48	3,41	0,31	1,06	0,23	0,53	0,21	0,42				
13,5	1,05	26,4	0,74	10,5	0,5	3,68	0,32	1,13	0,24	0,57	0,22	0,45				
14	1,09	28,4	0,77	11,3	0,52	3,96	0,33	1,21	0,25	0,61	0,23	0,48				
14,5	1,12	30,5	0,8	12,2	0,54	4,24	0,34	1,3	0,26	0,66	0,24	0,51				
15	1,16	32,6	0,82	13	0,55	4,54	0,35	1,39	0,27	0,69	0,25	0,55	0,17	0,2	0,16	0,19
16	1,24	37,1	0,88	14,8	0,59	5,17	0,38	1,58	0,29	0,79	0,26	0,62	0,18	0,23	0,17	0,21
17	1,32	41,9	0,93	16,7	0,63	5,83	0,4	1,79	0,31	0 88	0,28	0,69	0,19	0,26	0,19	0,24
18	1,4	46,9	0,99	18,8	0,66	6,54	0,43	2,01	0,33	0,99	0,3	0,77	0,2	0,29	0,2	0,27
19	1,47	52,3	1,04	20,9	0,7	7,29	0,45	2,23	0,34	1,1	0,31	0,85	0,21	0,32	0,21	0,3
20	1,55	58	1,1	23,2	0,74	8,08	0,47	2,48	0,36	1,22	0,33	0,95	0,22	0,35	0,22	0,33
21	1,63	63,9	1 15	25.5	0,78	8,9	0,5	2,73	0,38	1,34	0,34	1,04	0,23	0,39	0,23	0,36
22	1,71	70,1	1,21	28	0,81	9,77	0,52	3	0,4	1,47	0 36	1,14	0,25	0,42	0,24	0,4
23	1,78	76,7	1,26	30,6	0,85	10,7	0,54	3,27	0,42	1,61	0,38	1,25	0,26	0,46	0,25	0,43
24	1,86	83,5	1,32	33,3	0,89	11,6	0,57	3,57	0,43	1,75	0,39	1,36	0,27	0,5	0,26	0,48
25	1,94	90,6	1,37	36,2	0,92	12,6	0,59	3,87	0,45	1,9	0,41	1,47	0,28	0,54	0,27	0,51
26	2,02	98	1,43	39,1	0,96	13,6	0,62	4,19	0,47	2,05	0,43	1,6	0,29	0,59	0,28	0,55
27	2,09	105,6	1,48	42,2	1	14,7	0,64	4,51	0,49	2 22	0,44	1,72	0,3	0,63	0,29	0,59
28			1 54	45,4	1,03	15,8	0,66	4,85	0,51	2,38	0,46	1,85	0,31	0,68	0 31	0,64
29			1,59	48,7	1,07	17	0,69	5,21	0,52	2,56	0,48	1,99	0,32	0,72	0,32	0,68
30			1,65	52,1	1,11	18,2	0,71	5,57	0,54	2,73	0,49	2.12	0,33	0,77	0,33	0,73
31			1 7	55,6	1,15	19,4	0,73	5,95	0,56	2,92	0,51	2,27	0,35	0,82	0,34	0,77
32			1,76	59,3	1,18	20,7	0,76	6,34	0,58	3,11	0,53	2,42	0,36	0,87	0,35	0,82
33			1,81	63	1,22	22	0,78	6,74	0,6	3,31	0,54	2,57	0,37	0,93	0,36	0,87
34			1,87	66,9	1,26	23,3	0,8	7,16	0,61	3,51	0,56	2,73	0,38	0,98	0,37	0,93
35			1,92	70,9	1,29	24,7	0,83	7,58	0,63	3,72	0,57	2,89	0,39	1.04	0,38	0,98
36			1,98	75	1,33	26,2	0,85	8,02	0,65	3,94	0,59	3,06	0,4	1,1	0,39	1,04
37			2,03	79,2	1,37	27,6	0,87	8,48	0,67	4,16	0,61	3,23	0,41	1,16	0,4	1,1
38			2,09	83,6	1,4	29,2	0,9	8,94	0,69	4,39	0,62	3,41	0,42	1,23	0,41	1,16

Продолжение табл. 9 11

$D_н \times s$ в мм	108×4		133×4		152×4,5		159×4,5		194×6		194×5		219×7		219×6		273×8		273×7	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
39	1,44	30,7	0,92	9,42	0,7	4,62	0,64	3,59	0,43	1,29	0,43	1,22	0,34	0,69	0,34	0,66	0,22	0,22	0,21	0,22
40	1,48	32,3	0,95	9,91	0,72	4,86	0,66	3,78	0,45	1,36	0,44	1,28	0,35	0,73	0,35	0,69	0,22	0,23	0,22	0,23
41	1,51	33,9	0,97	10.4	0 74	5,11	0,67	3,97	0,46	1,43	0,45	1,35	0,36	0,76	0,35	0,72	0,23	0,24	0,23	0,24
42	1,55	35,6	0,99	10.9	0,76	5,36	0,69	4,16	0,47	1,5	0,46	1,42	0,37	0,8	0,36	0,76	0,23	0,26	0,23	0,25
43	1,59	37,3	1,02	11,4	0,78	5,62	0,71	4.36	0,48	1,57	0,47	1,48	0,38	0,84	0,37	0,8	0,24	0,27	0,24	0,26
44	1,63	39,1	1,04	12	0,79	5,88	0,72	4,57	0,49	1,65	0,48	1,55	0,39	0,88	0,38	0,83	0,25	0,28	0,24	0,27
45	1,66	40.9	1,06	12.5	0,81	6,15	0,74	4,78	0,5	1,72	0,49	1,62	0,4	0,92	0,39	0,87	0,25	0,29	0,25	0,29
46	1,7	42,7	1,09	13,1	0,83	6,43	0,76	4,99	0,51	1,8	0,5	1,7	0,4	0,96	0,4	0,91	0,26	0,3	0,25	0,3
47	1,74	44,6	1,11	13,7	0,85	6,71	0,77	5,21	0,52	1,88	0,51	1,77	0,41	1	0,41	0,95	0,26	0,32	0,26	0,31
48	1,77	46,5	1,13	14,3	0,87	7	0,79	5,44	0,54	1,96	0,52	1,85	0,42	1,05	0,41	0,99	0,27	0,33	0,26	0,32
49	1,81	48,5	1,16	14,9	0.89	7,3	0,8	5,67	0,55	2,04	0,53	1,93	0,43	1,09	0,42	1,04	0,27	0,34	0,27	0,34
50	1,85	50,5	1,18	15,5	0.9	7,6	0,82	5,90	0,56	2,13	0,55	2,01	0,44	1,13	0,43	1,08	0,28	0,36	0,28	0,35
52	1,92	54,6	1,23	16,7	0,94	8,22	0,85	6,38	0,58	2,3	0,57	2,17	0,46	1,23	0,45	1,17	0,29	0,38	0,29	0,38
54	1,99	58,9	1,28	18,1	0,98	8,86	0,89	6,88	0,6	2,48	0,59	2,34	0,47	1,32	0,47	1,26	0,3	0,41	0,3	0,41
56	2,07	63,3	1,32	19,4	1,01	9,53	0,92	7,40	0,62	2,67	0,61	2,52	0,49	1,42	0,48	1,35	0,31	0,44	0,31	0,44
58	2,14	67,9	1,37	20,8	1,05	10,2	0,95	7,94	0,65	2 86	0,63	2,7	0,51	1,53	0,5	1,45	0,32	0,47	0,32	0,46
60	2,22	72,7	1,42	22.3	1,08	10,9	0,98	8,50	0,67	3,06	0,65	2,89	0,53	1,63	0,52	1,55	0,34	0,5	0,33	0,49
62	2,29	77,6	1,47	23,8	1,72	11,7	1,02	9,07	0,69	3,27	0,68	3,08	0,54	1,74	0,53	1,66	0,35	0,53	0,34	0,51
64	2,36	82,7	1,51	25,4	1,15	12,4	1,05	9,67	0,71	3,48	0,7	3,29	0,56	1,86	0,55	1,77	0,36	0,56	0,35	0,54
66	2,44	87,9	1,56	27	1,19	13.2	1,08	10,3	0,74	3,7	0,72	3,5	0,58	1,98	0,57	1,88	0,37	0,6	0,36	0,58
68	2,51	93,4	1,61	28.6	1,23	14.1	1,12	10,9	0,76	3,93	0,74	3,71	0,6	2,1	0,59	1,99	0,38	0,64	0,37	0,61
70	2,59	98.9	1,65	30,3	1,26	14,9	1,15	11,6	0,78	4,17	0,76	3,93	0,61	2,22	0,6	2,11	0,39	0,68	0,39	0,65
72	2,66	104,7	1,7	32.1	1.3	15,8	1,18	12,2	0,8	4,41	0,79	4,16	0,63	2,35	0,62	2,23	0,4	0,71	0,4	0,69
74			1,75	33,9	1,34	16,6	1,21	12,9	0,83	4,66	0,81	4,39	0,65	2,48	0,64	2,36	0,41	0,76	0,41	0,72
76			1,8	35,8	1,37	17,6	1,25	13,6	0,85	4,91	0,83	4,63	0,67	2,62	0,66	2,49	0,43	0,8	0,42	0,76
78			1,84	37,7	1,41	18.5	1,28	14,4	0,85	5,17	0,85	4,88	0,69	2,76	0,67	2,62	0,44	0,84	0,43	0,81
80			1,89	39,6	1,45	19,4	1,31	15,1	0,89	5,44	0,87	5,14	0,7	2,9	0,69	2,76	0,45	0,88	0,44	0,85
85			2,01	44,7	1.54	22	1,4	17,1	0,95	6,14	0,93	5,8	0,75	3,28	0,73	3,11	0,48	1	0,47	0,96
90			2,13	50,1	1,63	24,6	1,48	19,1	1	6,89	0,98	6,5	0,79	3,68	0,78	3,49	0,5	1,12	0,5	1,07
95			2,25	55,9	1,72	27,4	1,56	21,3	1,06	7,67	1,04	7,24	0,83	4,1	0,82	3,89	0,53	1,24	0,52	1,19

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	133×4		152×4,5		159×4,5		194×6		194×5		219×7		219×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
100	2,36	61,9	1,81	30,4	1,64	23,6	1,12	8,5	1,09	8,02	0,88	4,54	0,86	4,31
105	2,48	68,3	1,9	33,5	1,72	26	1,17	9,37	1,15	8,85	0,92	5	0,91	4,75
110	2,6	74,9	1,99	36,8	1,81	28,6	1,23	10,3	1,2	9,71	0,97	5,49	0,95	5,22
115	2,72	81,9	2,08	40,2	1,89	31,2	1,28	11,2	1,25	10,6	1,01	6	0,99	5,7
120	2,84	89,1	2,17	43,8	1,97	34	1,34	12,2	1,31	11,6	1,05	6,53	1,03	6,21
125	2,95	96,7	2,26	47,5	2,05	36,9	1,39	13,3	1,36	12,5	1,1	7,09	1,08	6,74
130	3,07	104,6	2,35	51,4	2,13	39,9	1,45	14,4	1,42	13,6	1,14	7,67	1,12	7,29
135			2,44	55,4	2,22	43	1,51	15,5	1,47	14,6	1,19	8,27	1,16	7.86
140			2,53	59,6	2,3	46,3	1,56	16,7	1,53	15,7	1,23	8,89	1,21	8,45
145			2,62	63,9	2,38	49,6	1,62	17,9	1,58	16,9	1,27	9,54	1,25	9,06
150			2,71	68,4	2,46	53,1	1,67	19,1	1,64	18,1	1,32	10,2	1,29	9,7
155			2,8	73	2,54	56,7	1,73	20,4	1,69	19,3	1,36	10,9	1,34	10,4
160			2,89	77,8	2,63	60,4	1,78	21,8	1,75	20,5	1,41	11,6	1,38	11
165			2,98	82,7	2,71	64,3	1,84	23,1	1,8	21,8	1,45	12,3	1,42	11,7
170			3,07	87,8	2,79	68,2	1,9	24,6	1,85	23,2	1,49	13,1	1,47	12,5
175			3,16	93,1	2,87	72,3	1,95	26	1,91	24,6	1,54	13,9	1,51	13,2
180							2,01	27,5	1,96	26	1,58	14,7	1,55	14
190							2,12	30,7	2,07	29	1,67	16,4	1,64	15,6
200							2,23	34	2,18	32,1	1,76	18,2	1,72	17,2
210							2,34	37,5	2,29	35,4	1,85	20	1,81	19
220							2,45	41,1	2,4	38,8	1,93	22	1,9	20,9
230							2,56	45	2,51	42,4	2,02	24	1,98	22,8
240							2,68	49	2,62	46,2	2,11	26,1	2,07	24,8
250							2,79	53,1	2,73	50,2	2,2	28,4	2,16	26,9
260							2,9	57,5	2,84	54,2	2,29	30,7	2,24	29,1
270							3,01	62	2,95	58,5	2,37	33,1	2,33	31,4
280							3,12	66,6	3,05	62,9	2,46	35,6	2,41	33,8
290							3,23	71,5	3,16	67,5	2,55	38,2	2,5	36,3
300							3,35	76,5	3,27	72,2	2,64	40,8	2,59	38,8
310							3,46	81,7	3,38	77,1	2,72	43,6	2,67	41,4

Продолжение табл. 9.11

$D_в \times s$ в мм	273×8		273×7		325×8		377×9		426×10		426×7		426×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
100	0,56	1,38	0,55	1,32	0,39	0,52	0,29	0,25	0,22	0,13	0,22	0,12	0,22	0,12
105	0,59	1,52	0,58	1,46	0,41	0,58	0,3	0,27	0,24	0,14	0,23	0,13	0,23	0,13
110	0,62	1,67	0 61	1,6	0,43	0,63	0,32	0,3	0,25	0,16	0,24	0,14	0,24	0,14
115	0,64	1,82	0,63	1,75	0 44	0,69	0,33	0,32	0,26	0,17	0,25	0,16	0,25	0,15
120	0,67	1,99	0,66	1,91	0,46	0,75	0,34	0,34	0,27	0,19	0,26	0,17	0,26	0,17
125	0,7	2,15	0,69	2,07	0,48	0,82	0,36	0,37	0,28	0,2	0,27	0,19	0,27	0,18
130	0,73	2,33	0,72	2,24	0,5	0,88	0,37	0,4	0,29	0,22	0,28	0,2	0,28	0,2
135	0,75	2,51	0,74	2,41	0,52	0,95	0,39	0,43	0,3	0,23	0,29	0,22	0,29	0,21
140	0,78	2,7	0,77	2,59	0,54	1,03	0,4	0,47	0,31	0,25	0,3	0,23	0,3	0,23
145	0,81	2,9	0,8	2,78	0,56	1,1	0,42	0,5	0,32	0,27	0,32	0,25	0,31	0,24
150	0,84	3,1	0,83	2,98	0,58	1,18	0,43	0,53	0,34	0,28	0,33	0,27	0,32	0,26
155	0,87	3,31	0,85	3,18	0,6	1,26	0,44	0,57	0,35	0,3	0,34	0,28	0,33	0,27
160	0,89	3,53	0,88	3,39	0,62	1,34	0,46	0,61	0,36	0,32	0,35	0,3	0,34	0,29
165	0,92	3,75	0,91	3,6	0,64	1,42	0,47	0,65	0,37	0,34	0,36	0,31	0,36	0,31
170	0,95	3,99	0,94	3,83	0,66	1,51	0,49	0,69	0,38	0,36	0,37	0,33	0,37	0,33
175	0,98	4,22	0,96	4,05	0,68	1,6	0,5	0,73	0,39	0,38	0,38	0,35	0,38	0,34
180	1,01	4,47	0,99	4,29	0,7	1,69	0,52	0,77	0,4	0,4	0,39	0,37	0,39	0,36
190	1,06	4,98	1,05	4,78	0,74	1,89	0,54	0,86	0,43	0,45	0,41	0,42	0,41	0,41
200	1,12	5,52	1,1	5,3	0,77	2,09	0,57	0,95	0,45	0,5	0,44	0,46	0,43	0,45
210	1,17	6,08	1,16	5,84	0,81	2,31	0,6	1,05	0,47	0,55	0,46	0,51	0,45	0,5
220	1,23	6,67	1,21	6,41	0,85	2,53	0,63	1,15	0,49	0,6	0,48	0,56	0,47	0,54
230	1,29	7,29	1,27	7	0,89	2,77	0,66	1,26	0,51	0,66	0,5	0,61	0,5	0,59
240	1,34	7,94	1,32	7,63	0,93	3,01	0,69	1,37	0,54	0,72	0,52	0,66	0,52	0,65
250	1,4	8,62	1,38	8,27	0,97	3,27	0,72	1,49	0,56	0,78	0,54	0,72	0,54	0,7
260	1,45	9,32	1,43	8,95	1,01	3,54	0,75	1,61	0,58	0,84	0,57	0,78	0,56	0,76
270	1,51	10,1	1,49	9,65	1,04	3,81	0,77	1,73	0,61	0,91	0,59	0,84	0,58	0,82
280	1,57	10,8	1,54	10,4	1,08	4,1	0,8	1,86	0,63	0,98	0,61	0,9	0,6	0,88
290	1,62	11,6	1,6	11,1	1,12	4,4	0,83	2	0,65	1,05	0,63	0,97	0,62	0,95
300	2,68	12,4	1,65	11,9	1,16	4,71	0,86	2,14	0,67	1,12	0,65	1,04	0,65	1,01
310	1,73	13,3	1,71	12,7	1,2	5,03	0,89	2,28	0,69	1,2	0,67	1,11	0,67	1,08

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	219×7		219×6		273×8		273×7		325×8		377×9		426×10	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
320	2,81	46,5	2,76	44,1	1,79	14,1	1,76	13,6	1,24	5,36	0,92	2,43	0,72	1,28
330	2,9	49,4	2,84	46,9	1,85	15	1,82	14,4	1,28	5,7	0,95	2,59	0,74	1,36
340	2,99	52,5	2,93	49,8	1,9	15,9	1,87	15,3	1,32	6,05	0,97	2,75	0,76	1,44
350	3,08	55,6	3,02	52,8	1,96	16,9	1,93	16,2	1,35	6,41	1	2,91	0,78	1,53
360	3,16	58,8	3,1	55 9	2,01	17,9	1,98	17,2	1,39	6,78	1,03	3,08	0,81	1,61
370	3,25	62,1	3,19	59	2,07	18,9	2,04	18,1	1,43	7,16	1,06	3,25	0,83	1,71
380	3,34	65,5	3,28	62,3	2,13	19,9	2,09	19,1	1,47	7,55	1,09	3,43	0,85	1,8
390	3,43	69	3,36	65,6	2,18	21	2,15	20,1	1,51	7,95	1,12	3,62	0,87	1,9
400	3,52	72,6	3,45	69	2,24	22	2,2	21,2	1,55	8,37	1,15	3,8	0,9	1,99
410	3,6	76,3	3,53	72,5	2,29	23,2	2,26	22,2	1,59	8,79	1,18	4	0,92	2,09
420	3,69	80	3,62	76	2,35	24,3	2,31	23,4	1 62	9,23	1,2	4,19	0,94	2,2
430	3,78	83,9	3,71	79,7	2,4	25,5	2,37	24,5	1,66	9,67	1,23	4,4	0,96	2,3
440	3,87	87,8	3,79	83,5	2,46	26,7	2,42	25,6	1,7	10,1	1,26	4,6	0,99	2,41
450	3,96	91,9	3,88	87,3	2,52	27,9	2,48	26,8	1,74	10,6	1,29	4,81	1,01	2,52
460	4,04	96	3,97	91,2	2,57	29,2	2,53	28	1,78	11,1	1,32	5,03	1,03	2,64
470	4,13	100,2	4,05	95,2	2,63	30,5	2,59	29,2	1,82	11,6	1,35	5,25	1,05	2,75
480			4,14	99,3	2,68	31,8	2,64	30,5	1,86	12	1,38	5,48	1,08	2,87
490			4,22	103,5	2,74	33,1	2,7	31,8	1,9	12,6	1,4	5,71	1,1	2,99
500					2,8	35,5	2,75	34	1,93	13,1	1,43	5,94	1,12	3,12
520					2,91	38,3	2,86	36,8	2,01	14 1	1,49	6,43	1,16	3,37
540					3,02	41,3	2,97	39,6	2,09	15,3	1,55	6,93	1,21	3,63
560					3,13	44,3	3,08	42,6	2,17	16,4	1,6	7,46	1,25	3,91
580					3,24	47,5	3,19	45,6	2,24	17,6	1,66	8	1,3	4,19
600					3,36	49,6	3,3	48,8	2,32	18,8	1,72	8,56	1,34	4,49
620					3,47	53	3,41	50,9	2,4	20,1	1,78	9,14	1,39	4,79
640					3,58	56,5	3,52	54,2	2,48	21,4	1,83	9,74	1,43	5,1
660					3,69	60,1	3,63	57,7	2,55	22,8	1,89	10,4	1,48	5,43
680					3,8	63,8	3,74	61,2	2,63	24,2	1,95	11	1,52	5,76
700					3,91	67,6	3,85	64,9	2,71	25,6	2,01	11,7	1,57	6,11
720					4,03	71,5	3,96	68,6	2,79	27,1	2,06	12,3	1,61	6,46

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6		630×8		630×7	
G т т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
320	0,7	1,18	0,69	1,15	0,55	0,63	0,54	0,62	0,45	0,37	0,44	0,36				
330	0,72	1,26	0,71	1,22	0,57	0,67	0,56	0,66	0,46	0,39	0,46	0,38				
340	0,74	1,33	0,73	1,3	0,58	0,71	0,58	0,7	0,47	0,41	0,47	0,41				
350	0,76	1,41	0,75	1,38	0,6	0,76	0,6	0,74	0,49	0,44	0,48	0,43				
360	0,78	1,5	0,78	1,46	0,62	0,8	0,61	0,78	0,5	0,46	0,5	0,45				
370	0,81	1,58	0,8	1,54	0,63	0,85	0,63	0,83	0,52	0,49	0,51	0,48				
380	0,83	1,67	0,82	1,62	0,65	0,89	0,65	0,87	0,53	0,52	0,53	0,51				
390	0,85	1,75	0,84	1,71	0,67	0,94	0,66	0,92	0,54	0,54	0,54	0,54				
400	0,87	1,85	0,86	1,8	0,69	0,99	0,68	0,97	0,56	0,57	0,55	0,56				
410	0,89	1,94	0,88	1,89	0,7	1,04	0,7	1,02	0,57	0,6	0,57	0,59				
420	0,91	2,04	0,91	1,98	0,72	1,09	0,71	1,07	0,58	0,63	0,58	0,62				
430	0,94	2,13	0,93	2,08	0,74	1,14	0,73	1,12	0,6	0,66	0,59	0,65				
440	0,96	2,23	0,95	2,18	0,75	1,2	0,75	1,17	0,61	0,69	0,61	0,68				
450	0,98	2,34	0,97	2,28	0,77	1,25	0,77	1,22	0,63	0,72	0,62	0,71				
460	1	2,44	0,99	2,38	0,79	1,31	0,78	1,28	0,64	0,76	0,64	0,74				
470	1,02	2,55	1,01	2,48	0,81	1,37	0,8	1,34	0,65	0,79	0,65	0,77				
480	1,04	2,66	1,03	2,59	0,82	1,42	0,82	1,39	0,67	0,82	0,66	0,81				
490	1,07	2,77	1,06	2,7	0,84	1,48	0,83	1,45	0,68	0,86	0,68	0,84				
500	1,09	2,88	1,08	2,81	0,86	1,55	0,85	1,51	0,7	0,89	0,69	0,88	0,49	0,36	0,49	0,35
520	1,13	3,12	1,12	3,04	0,89	1,67	0,88	1,63	0,72	0,97	0,72	0,95	0,51	0,39	0,51	0,38
540	1,18	3,36	1,16	3,28	0,93	1,8	0,92	1,76	0,75	1,04	0,75	1,02	0,53	0,42	0,53	0,41
560	1,22	3,62	1,21	3,53	0,96	1,94	0,95	1,9	0,78	1,12	0,77	1,1	0,55	0,45	0,55	0,44
580	1,26	3,88	1,25	3,78	1	2,08	0,99	2,03	0,81	1,2	0,8	1,18	0,57	0,48	0,56	0,47
600	1,31	4,15	1,29	4,05	1,03	2,23	1,02	2,18	0,84	1,29	0,83	1,26	0,59	0,51	0,58	0,5
620	1,35	4,43	1,34	4,32	1,06	2,38	1,05	2,32	0,86	1,38	0,86	1,35	0,61	0,55	0,6	0,54
640	1,39	4,73	1,38	4,61	1,1	2,53	1,09	2,48	0,89	1,47	0,88	1,44	0,63	0,58	0,62	0,57
660	1,44	5,03	1,42	4,9	1,13	2,69	1,12	2,63	0,92	1,56	0,91	1,53	0,65	0,62	0,64	0,61
680	1,48	5,33	1,47	5,7	1,17	2,86	1,16	2,8	0,95	1,65	0,94	1,62	0,67	0,66	0,66	0,65
700	1,52	5,65	1,51	5.51	1,2	3,03	1,19	2,96	0,97	1,75	0,97	1,72	0,69	0,7	0,68	0,69
720	1,57	5,98	1,55	5,83	1,24	3,21	1,22	3,13	1	1,86	0,99	1,82	0,71	0,74	0,7	0,73

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	273×8		273×7		325×8		377×9		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
740	4,14	75,5	4,07	72,5	2,86	28,6	2,12	13	1,66	6,82	1,61	6,32	1,59	6,16	1,27	3,39	1,26	3,31
760	4,25	79,6	4,18	76,5	2,94	30,2	2,18	13,7	1,7	7,2	1,65	6,65	1,64	6,5	1,3	3,57	1,29	3,49
780	4,36	83,9	4,29	80,5	3,02	31,8	2,24	14,5	1,75	7,58	1,7	7,02	1,68	6,84	1,34	3,76	1,33	3,68
800	4,47	88,3	4,41	84,7	3,09	33,5	2,29	15,2	1,79	7,97	1,74	7,38	1,72	7,2	1,37	3,96	1,36	3,87
820					3,17	35,2	2,35	16	1,84	8,38	1,78	7,76	1,77	7,56	1,41	4,16	1,39	4,06
840					3,25	36,9	2,41	16,8	1,88	8,79	1,83	8,14	1,81	7,94	1,44	4,36	1,43	4,27
860					3,33	38,7	2,46	17,6	1,93	9,22	1,87	8,53	1,85	8,32	1,48	4,57	1,46	4,47
880					3,4	40,5	2,52	18,4	1,97	9,65	1,91	8,93	1,9	8,71	1,51	4,79	1,5	4,68
900					3,48	42,4	2,58	19,3	2,02	10,1	1,96	9,34	1,94	9,11	1,54	5,01	1,53	4,9
920					3,56	44,3	2,64	20,1	2,06	10,5	2	9,76	1,98	9,52	1,58	5,23	1,56	5,12
940					3,64	46,2	2,69	21	2,11	11	2,05	10,2	2,03	9,94	1,61	5,46	1,6	5,34
960					3,71	48,2	2,75	21,9	2,15	11,5	2,09	10,6	2,07	10,4	1,65	5,7	1,63	5,57
980					3,79	50,2	2,81	22,8	2,2	12	2,13	11,1	2,11	10,8	1,68	5,94	1,67	5,81
1000					3,87	52,3	2,87	23,8	2,24	12,5	2,18	11,5	2,16	11,2	1,72	6,18	1,7	6,05
1020					3,95	54,4	2,92	24,7	2,29	13	2,22	12	2,2	11,7	1,75	6,43	1,73	6,29
1040					4,02	56,6	2,98	25,7	2,33	13,5	2,26	12,5	2,24	12,2	1,78	6,69	1,77	6,54
1060					4,1	58,8	3,04	26,7	2,38	14	2,31	13	2,28	12,6	1,82	6,95	1,8	6,79
1080					4,18	61	3,1	27,7	2,42	14,5	2,35	13,5	2,33	13,1	1,85	7,21	1,84	7,05
1100					4,26	63,3	3,15	28,8	2,46	15,1	2,39	14	2,37	13,6	1,89	7,48	1,87	7,31
1150					4,45	69,2	3,3	31,4	2,58	16,5	2,5	15,3	2,48	14,9	1,97	8,18	1,96	7,99
1200					4,64	75,3	3,44	34,2	2,69	17,9	2,61	16,6	2,59	16,2	2,06	8,9	2,04	8,71
1250					4,84	81,7	3,58	37,1	2,8	19,5	2,72	18	2,69	17,6	2,14	9,66	2,13	9,45
1300					5,03	88,4	3,73	40,2	2,91	21,1	2,83	19,5	2,8	19	2,23	10,4	2,21	10,2
1350					5,22	95,3	3,87	43,3	3,03	22,7	2,94	21	2,91	20,5	2,32	11,3	2,3	11
1400					5,42	102,5	4,01	46,6	3,14	24,4	3,05	22,6	3,02	22	2,4	12,1	2,38	11,8
1450							4,16	50	3,25	26,2	3,16	24,3	3,12	23,6	2,49	13	2,47	12,7
1500							4,3	53,5	3,36	28	3,26	26	3,23	25,3	2,57	13,9	2,55	13,6
1550							4,44	57,1	3,47	29 9	3,37	27,7	3,34	27	2,66	14,9	2,64	14,5
1600							4,59	60,9	3,59	31,9	3,48	29,5	3,45	28,8	2,74	15,8	2,72	15,5
1650							4,73	64,7	3,7	35,9	3,59	31,4	3,56	30,6	2,83	16,8	2,81	16,5

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	529×7		529×6		630×8		630×7		720×9		720×8		720×7		820×9		820×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
740	1,03	1,96	1,02	1,92	0,73	0,78	0,72	0,77	0,55	0,39	0,55	0,38	0,55	0,38	0,42	0,19	0,42	0,19
760	1,06	2,07	1,05	2,03	0,74	0,82	0,74	0,81	0,57	0,41	0,57	0,4	0,56	0,4	0,44	0,2	0,43	0,2
780	1,09	2,18	1,08	2,13	0,76	0,87	0,76	0,85	0,58	0,43	0,58	0,42	0,58	0,42	0,45	0,21	0,45	0,21
800	1,11	2,29	1,11	2,24	0,78	0,91	0,78	0,9	0,6	0,45	0,6	0,45	0,59	0,44	0,46	0,23	0,46	0,22
820	1,14	2,41	1,13	2,36	0,8	0,96	0,8	0,94	0,61	0,47	0,61	0,47	0,61	0,46	0,47	0,24	0,47	0,23
840	1,17	2,53	1,16	2,47	0,82	1	0,82	0,99	0,63	0,5	0,63	0,49	0,62	0,48	0,48	0,25	0,48	0,25
860	1,2	2,65	1,19	2,59	0,84	1,05	0,84	1,04	0,64	0,52	0,64	0,51	0,64	0,51	0,49	0,26	0,49	0,26
880	1,23	2,77	1,22	2,72	0,86	1,1	0,86	1,08	0,66	0,55	0,66	0,54	0,65	0,53	0,51	0,27	0,5	0,27
900	1,25	2,9	1,24	2,84	0,88	1,15	0,88	1,13	0,67	0,57	0,67	0,56	0,67	0,56	0,52	0,29	0,51	0,28
920	1,28	3,03	1,27	2,97	0,9	1,21	0,9	1,19	0,69	0,6	0,69	0,59	0,68	0,58	0,53	0,3	0,53	0,29
940	1,31	3,16	1,3	3,1	0,92	1,26	0,92	1,24	0,7	0,62	0,7	0,61	0,7	0,61	0,54	0,31	0,54	0,31
960	1,34	3,3	1,33	3,23	0,94	1,31	0,93	1,29	0,72	0,65	0,72	0,64	0,71	0,63	0,55	0,32	0,55	0,32
980	1,36	3,44	1,35	3,37	0,96	1,37	0,95	1,34	0,73	0,68	0,73	0,67	0,73	0,66	0,56	0,34	0,56	0,33
1000	1,39	3,58	1,38	3,51	0,98	1,42	0,97	1,4	0,75	0,71	0,75	0,7	0,74	0,69	0,57	0,35	0,57	0,35
1020	1,42	3,72	1,41	3,65	1	1,48	0,99	1,46	0,76	0,73	0,76	0,72	0,76	0,71	0,59	0,37	0,58	0,36
1040	1,45	3,87	1,44	3,79	1,02	1,54	1,01	1,51	0,78	0,76	0,78	0,75	0,77	0,74	0,6	0,38	0,59	0,38
1060	1,48	4,02	1,47	3,94	1,04	1,6	1,03	1,57	0,79	0,79	0,79	0,78	0,79	0,77	0,61	0,4	0,61	0,39
1080	1,5	4,17	1,49	4,09	1,06	1,66	1,05	1,63	0,81	0,82	0,8	0,81	0,8	0,8	0,62	0,41	0,62	0,41
1100	1,53	4,33	1,52	4,24	1,08	1,72	1,07	1,69	0,82	0,85	0,82	0,84	0,82	0,83	0,63	0,43	0,63	0,42
1150	1,6	4,73	1,59	4,64	1,13	1,88	1,12	1,85	0,86	0,93	0,86	0,92	0,85	0,91	0,66	0,47	0,66	0,46
1200	1,67	5,15	1,66	5,05	1,18	2,05	1,17	2,02	0,9	1,02	0,89	1	0,89	0,99	0,69	0,51	0,69	0,5
1250	1,74	5,59	1,73	5,48	1,22	2,25	1,22	2,19	0,94	1,1	0,93	1,09	0,93	1,07	0,72	0,55	0,71	0,54
1300	1,81	6,05	1,8	3,93	1,27	2,41	1,27	2,37	0,97	1,19	0,97	1,18	0,96	1,16	0,75	0,59	0,74	0,59
1350	1,88	6,52	1,87	6,39	1,32	2,6	1,31	2,55	1,01	1,29	1,01	1,27	1	1,25	0,78	0,64	0,77	0,63
1400	1,95	7,01	1,93	6,87	1,37	2,79	1,36	2,74	1,05	1,38	1,04	1,36	1,04	1,34	0,8	0,69	0,8	0,68
1450	2,02	7,52	2	7,37	1,42	2,99	1,41	2,94	1,09	1,49	1,08	1,46	1,07	1,44	0,83	0,74	0,83	0,73
1500	2,09	8,05	2,07	7,89	1,47	3,2	1,46	3,15	1,12	1,59	1,12	1,57	1,11	1,54	0,86	0,79	0,86	0,78
1550	2,16	8,6	2,14	8,42	1,52	3,42	1,51	3,36	1,16	1,7	1,16	1,67	1,15	1,65	0,89	0,85	0,89	0,83
1600	2,23	9,16	2,21	8,98	1,57	3,65	1,56	3,58	1,2	1,81	1,19	1,73	1,19	1,76	0,92	0,9	0,91	0,89
1650	2,3	9,74	2,28	9,55	1,62	3,88	1,61	3,81	1,24	1,92	1,23	1,89	1,22	1,87	0,95	0,96	0,94	0,95

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	377×9		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6		630×8		630×7	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
1700	4,87	68,7	3,81	36	3,7	33,3	3,66	32,5	2,92	17,9	2,89	17,5	2,37	10,3	2,35	10,1	1,67	4,12	1,65	4,05
1750	5,02	72,8	3,92	38,2	3,81	35,3	3,77	34,4	3	18,9	2,98	18,5	2,44	11	2,42	10,7	1,71	4,36	1,7	4,29
1800	5,16	77	4,03	40,4	3,92	37,4	3,88	36,4	3,09	20	3,06	19,6	2,51	11,6	2,49	11,4	1,76	4,61	1,75	4,54
1850	5,3	81,4	4,15	42,6	4,03	39,5	3,99	38,5	3,17	21,2	3,15	20,7	2,58	12,2	2,56	12	1,81	4,87	1,8	4,79
1900	5,45	85,8	4,26	45	4,13	41,6	4,09	40,6	3,26	22,3	3,23	21,8	2,65	12,9	2,63	12,7	1,86	5,14	1,85	5,05
1950	5,59	90,4	4,37	47,4	4,24	43,9	4,2	42,8	3,35	23,5	3,32	23	2,72	13,6	2,69	13,3	1,91	5,42	1,9	5,32
2000			4,48	49,8	4,35	46,1	4,31	45	3,43	24,7	3,4	24,2	2,79	14,3	2,76	14	1,96	5,7	1,95	5,6
2100			4,71	55	4,57	50,9	4,53	49,6	3,6	27,3	3,57	26,7	2,92	15,8	2,9	15,5	2,06	6,28	2,04	6,18
2200			4,93	60,3	4,79	55,8	4,74	54,4	3,77	29,9	3,74	29,3	3,06	17,3	3,04	17	2,16	6,89	2,14	6,78
2300			5,15	65,9	5	61	4,96	59,5	3,95	32,7	3,91	32	3,2	18,9	3,18	18,6	2,25	7,53	2,24	7,41
2400			5,38	71,8	5,22	66,5	5,17	64,8	4,12	35,6	4,08	34,8	3,34	20,6	3,32	20,2	2,35	8,2	2,34	8,07
2500			5,6	77,9	5,44	72,1	5,39	70,3	4,29	38,6	4,25	37,8	3,48	22,4	3,45	21,9	2,45	8,9	2,43	8,75
2600			5,83	84,2	5,66	78	5,6	76	4,46	41,8	4,42	40,9	3,62	24,2	3,59	23,7	2,55	9,63	2,53	9,47
2700			6,05	90 8	5,88	84,1	5,82	82	4,63	45,1	4,59	44,1	3,76	26,1	3,73	25,6	2,65	10,4	2,63	10,2
2800			6,27	97,7	6,09	90,4	6,03	88,2	4,8	48,5	4,76	47,4	3,9	28,1	3,87	27,5	2,74	11,2	2,73	11
2900			6,5	104,8	6,31	97	6,25	94,6	4,98	52	4,93	50,8	4,04	30,1	4,01	29,5	2,84	12	2,82	11,8
3000					6,53	103,8	6,47	101,2	5,15	55,6	5,1	54,4	4,18	32,2	4,15	31,6	2,94	12,8	2,92	12,6
3100									5,32	59,4	5,27	58,1	4,32	34,4	4,28	33,7	3,04	13,7	3,02	13,5
3200									5,49	63,3	5,44	61,9	4,46	36,6	4,42	35,9	3,14	14,6	3,11	14,3
3300									5,66	67,3	5,61	65,8	4,6	39	4,56	38,2	3,23	15,5	3,21	15,2
3400									5,83	71,5	5,78	69,9	4,74	41,4	4,7	40,5	3,33	16,4	3,31	16,2
3500									6	75,7	5,95	74,1	4,87	43,8	4,84	43	3,43	17,4	3,41	17,2
3600									6,18	80,1	6,12	78,3	5,01	46,4	4,97	45,4	3,53	18,5	3,5	18,1
3700									6,35	84,6	6,29	82,8	5,15	49	5,11	48	3,63	19,5	3,6	19,2
3800									6,52	89,3	6,46	87,3	5,29	51,7	5,25	50,6	3,72	20,6	3,7	20,2
3900									6,69	94	6,63	91,9	5,43	54,4	5,39	53,3	3,82	21,7	3,8	21,3
4000									6,86	98,9	6,8	96,7	5,57	57,3	5,53	56,1	3,92	22,8	3,89	22,4
4200									7,21	109,1	7,14	126,6	5,85	63,1	5,8	61,9	4,11	25,1	4,09	24,7
4400													6,13	69,3	6,08	67,9	4,31	27,6	4,28	27,1
4600													6,41	75,7	6,36	74,2	4,51	30,1	4,48	29,6

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	720×9		720×8		720×7		820×9		820×8		920×10		920×9
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек
1700	1,27	2,04	1,27	2,01	1 26	1,98	0,98	1,02	0,97	1	0,78	0,56	0,77
1750	1,31	2,16	1,3	2,13	1,3	2,1	1	1,08	1	1,06	0,8	0,59	0,79
1800	1,85	2,29	1,34	2,25	1,33	2,22	1,03	1,14	1,03	1,13	0,82	0,62	0,82
1850	1,39	2,42	1,38	2,38	1,37	2,35	1,06	1,2	1,06	1,19	0,84	0,66	0,84
1900	1,42	2,55	1,42	2,51	1,41	2,48	1,09	1,27	1,09	1,25	0,87	0,7	0,86
1950	1,46	2,69	1,45	2,65	1,45	2,61	1,2	1,34	1,11	1,32	0,89	0,73	0,89
2000	1,5	2,83	1,49	2,78	1,48	2,74	1,15	1,41	1,14	1,39	0,91	0,77	0,91
2100	1,57	3,12	1,57	3,08	1.56	3,02	1,21	1,55	1,2	1,53	0,96	0,85	0,95
2200	1,65	3,42	1,64	3,37	1,63	3,32	1,26	1,7	1,26	1,68	1	0,93	1
2300	1,72	3,74	1,71	3,68	1,7	3,63	1,32	1,86	1,31	1,84	1,05	1,02	1,04
2400	1,8	4,07	1,79	4,01	1,78	3,95	1,38	2,03	1,37	2	1,09	1,11	1,09
2500	1,87	4,42	1,86	4,35	1,85	4,29	1,44	2 2	1,43	2,17	1,14	1,2	1,13
2600	1,95	4.78	1,94	4,7	1,93	4,64	1,49	2,38	1,49	2,35	1,19	1,3	1,18
2700	2,02	5.15	2,01	5,07	2	5	1,55	2,57	1,54	2,53	1,23	1,4	1,23
2800	2,1	5,54	2,09	5,46	2.07	5,38	1,61	2,76	1,6	2,72	1,28	1,51	1.27
2900	2,17	5,94	2.16	5,85	2,15	5,77	1,67	2,96	1,66	2,92	1,32	1,62	1,32
3000	2,25	6.36	2,24	6,26	2,22	6,17	1,72	3,17	1,71	3,13	1,37	1,73	1,36
3100	2,32	6,79	2,31	6,69	2,3	6,59	1,78	3,38	1,77	3,34	1,41	1,85	1,41
3200	2,4	7,23	2,38	7,13	2,37	7,02	1,84	3.6	1,83	3,56	1,46	1,97	1,45
3300	2,47	7,69	2,46	7,58	2,45	7,47	1,9	3,83	1,89	3,78	1,5	2,1	1,5
3400	2,55	8.17	2,53	8,05	2.52	7,93	1,95	4,07	1,94	4,02	1,55	2,23	1,54
3500	2,62	8,65	2,61	8,53	2,59	8,4	2,01	4,31	2	4,26	1,6	2,36	1,59
3600	2,7	9,16	2,68	9,02	2,67	8,89	2,07	4,56	2,06	4,5	1,64	2,5	1,63
3700	2,77	9,67	2,76	9.53	2,74	9,39	2,12	4,82	2,11	4,76	1,69	2,64	1,68
3800	2,85	10,2	2,83	10	2,82	9,9	2,18	5,08	2.17	5,02	1,73	2,78	1,73
3900	2,92	10,7	2,91	10,6	2,89	10.4	2,24	5,35	2,23	5,28	1,78	2,93	1,77
4000	3	11,3	2,98	11,1	2,96	11	2.3	5,63	2,29	5,56	1,82	3,08	1,82
4200	3,15	12,5	3,13	12,3	3,11	12,1	2,41	6,21	2,4	6,13	1,92	3,4	1,91
4400	3,3	13,7	3.28	13,5	3,26	13,3	2,53	6,81	2,51	6,73	2,01	3,73	2
4600	3,45	14,9	3,43	14,7	3,41	14,5	2,64	7,45	2,63	7,35	2,1	4,08	2,09

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	920×9	920×8		1020×11		1020×10		1020×8		1220×12		1220×9	
G в т/ч	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
1700	0,55	0,77	0,54	0,63	0,32	0,63	0,32	0,62	0,31	0,44	0,13	0,43	0,12
1750	0,58	0,79	0,58	0,65	0,34	0,65	0,34	0,64	0,33	0,45	0,13	0,45	0,13
1800	0,62	0,81	0,61	0,67	0,36	0,66	0,36	0,66	0,35	0,46	0,14	0,46	0,14
1850	0,65	0,84	0,64	0,69	0,38	0,68	0,38	0,68	0,37	0,48	0,15	0,47	0,15
1900	0,69	0,86	0,68	0,7	0,41	0,7	0,4	0,7	0,39	0,49	0,16	0,49	0,15
1950	0,72	0,88	0,72	0,72	0,43	0,72	0,42	0,71	0,41	0,5	0,17	0,5	0 16
2000	0,76	0,9	0,75	0,74	0,45	0,74	0,44	0,73	0,44	0,51	0,17	0,51	0,17
2100	0,84	0,95	0,83	0,78	0,49	0,78	0,49	0,77	0,48	0,54	0,19	0,54	0,19
2200	0,92	0,99	0,92	0,82	0,54	0,81	0,54	0,81	0,53	0,57	0,21	0,56	0,21
2300	1,01	1,04	1	0,85	0,59	0,85	0,59	0,84	0,58	0,59	0,23	0,59	0,22
2400	1,10	1,08	1,08	0,89	0,65	0,89	0,64	0,88	0,63	0,62	0,25	0,61	0,24
2500	1,19	1,13	1,17	0,93	0,7	0,92	0,69	0,92	0,68	0,65	0,27	0,64	0,27
2600	1,29	1,18	1,27	0 96	0,76	0,96	0,75	0,95	0 74	0,67	0,29	0,66	0,29
2700	1,39	1,22	1,37	1	0,82	1	0,81	0,99	0,79	0,7	0,32	0,69	0,31
2800	1,49	1,27	1,48	1,04	0,88	1,03	0,87	1,03	0,85	0,72	0,34	0,72	0,33
2900	1,6	1,31	1,58	1,08	0,94	1,07	0,93	1,06	0,91	0,75	0,37	0,74	0,36
3000	1,71	1,36	1,69	1,11	1,01	1,11	1	1,1	0,98	0,77	0,39	0,77	0,38
3100	1,83	1,4	1,81	1,15	1,08	1,15	1,07	1,14	1,05	0,8	0,42	0,79	0,41
3200	1,95	1,45	1,93	1,19	1,15	1,18	1,14	1,17	1,11	0,83	0,45	0,82	0,44
3300	2,07	1,49	2,05	1,22	1,22	1,22	1,21	1,21	1,18	0,85	0,47	0,84	0,46
3400	2,2	1,53	2,17	1,26	1,3	1,26	1,28	1,25	1,26	0,88	0,5	0,87	0,49
3500	2,33	1,58	2,3	1,3	1,37	1,29	1,36	1,28	1,33	0,9	0,53	0,89	0,52
3600	2,47	1,63	2,44	1,34	1,45	1,33	1,44	1,32	1,41	0,93	0,57	0,92	0,55
3700	2,61	1,67	2,58	1,37	1,54	1,37	1,52	1,36	1,49	0,96	0,6	0,95	0,58
3800	2,75	1,72	2,72	1,41	1,62	1,4	1,6	1,39	1,57	0,98	0,63	0,97	0,61
3900	2,9	1,76	2,86	1,45	1,71	1,44	1,69	1,43	1,65	1,01	0,66	1	0,65
4000	3,05	1,81	3,01	1,48	1,8	1,48	1,78	1,47	1,74	1,03	0,7	1,02	0,68
4200	3,36	1,9	3,32	1,56	1,98	1,55	1,96	1,54	1,92	1,08	0,77	1,07	0,75
4400	3,69	1,99	3,64	1,63	2,17	1,63	2,15	1,61	2,11	1,14	0,84	1,12	0,82
4600	4,03	2,08	3,98	1,71	2,37	1,69	2,35	1,69	2,3	1,19	0,92	1,17	0,9

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в мм	630×8		630×7		720×9		720×8		720×7		820×9		820×8		920×10
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек
4800	4,7	32,8	4,67	32,3	3,6	16,3	3,58	16	3,56	15,8	2,76	8,11	2,74	8	2,19
5000	4,9	35,6	4,87	35	3,75	17,7	3,73	17,4	3,71	17,1	2,87	8,8	2,86	8,38	2,28
5200	5,09	38,5	5,06	37,9	3,9	19,1	3,88	18,8	3,85	18,5	2,99	9,52	2,97	9,09	2,37
5400	5,29	41,5	5,26	40,8	4,05	20,6	4,02	20,3	4	20	3,1	10,3	3,09	10,	2,46
5600	5,49	44,7	5,45	43,9	4,2	22,2	4,17	21,8	4,15	21,5	3,22	11	3,2	10,9	2,55
5800	5,68	47,9	5,65	47,1	4,35	23,8	4,32	23,4	4,3	23,1	3,33	11,8	3,31	11,7	2,64
6000	5,88	51,3	5,84	50,4	4,50	25,4	4,47	25,1	4,45	24,7	3,45	12,7	3,43	12,5	2,74
6200	6,07	54,7	6,04	53,8	4,65	27,2	4,62	26,8	4,59	26,4	3,56	13,5	3,54	13,4	2,83
6400	6,27	58,3	6,23	57,4	4,8	28,9	4,77	28,5	4,74	28,1	3,68	14,4	3,66	14,2	2,92
6600	6,47	62	6,42	61	4,95	30,8	4,82	30,3	4,89	29,9	3,79	15,3	3,77	15,1	3,01
6800	6,66	65,9	6,62	64,7	5,1	32,7	5,07	32,2	5,04	31,7	3,9	16,3	3,88	16,1	3,1
7000	6,86	69,8	6,81	68,6	5,25	34,6	5,22	34,1	5,19	33,6	4,02	17,2	4	17	3,19
7200	7,05	73,8	7,01	72,6	5,4	36,6	5,37	36,1	5,34	35,5	4,13	18,2	4,11	18	3,28
7400	7,25	78	7,2	76,7	5,55	38,7	5,51	38,1	5,48	37,5	4,25	19,3	4,23	19	3,37
7600	7,45	82,3	7,4	80,9	5,7	40,8	5,66	40,2	5,63	39,6	4,36	20,3	4,34	20,1	3,47
7800	7,64	86,7	7,59	85,2	5,85	43	5,81	42,3	5,78	41,7	4,48	21,4	4,46	21 1	3,56
8000	7,84	91,2	7,79	89,6	6	45,2	5,96	44,5	5,93	43,9	4,59	22,5	4,57	22,2	3,65
8200	8,03	95,8	7,98	94,2	6,15	47,5	6,11	46,8	6,08	46,1	4,71	23,7	4,69	23,4	3,74
8400	8,23	100,5	8,18	98,8	6,3	49,8	6,26	49,1	6,22	48,4	4,82	24,8	4,8	24,5	3,83
8600			8,37	103,6	6,45	52,2	6,41	51,5	6,37	50,7	4,94	26	4,91	25,7	3,92
8800					6,6	54,7	6,56	53,9	6,52	53,1	5,05	27,3	5,03	26,9	4,01
9000					6,75	57,2	6,71	56,4	6,67	55,5	5,17	28,5	5,14	28,1	4,1
9200					6,9	59,8	6,86	58,9	6,82	58	5,28	29,8	5,26	29,4	4,2
9400					7,05	62,4	7,01	61,5	6,97	60,6	5,4	31,1	5,37	30,7	4,29
9600					7,2	65,1	7,15	64,1	7,11	63,2	5,51	32,4	5,49	32	4,38
9800					7,35	67,8	7,3	66,8	7,26	65,9	5,63	33,8	5,6	33,4	4,47
10000					7,5	70,6	7,45	69,6	7,41	68,6	5,74	35,2	5,71	34,7	4,56
10500											6,03	38,9	6	38,3	4,79
11000											6,32	42,6	6,25	41,5	5,02
11500											6,6	46,5	6,54	45,3	5,24

Продолжение табл. 9.11

$D_н \times s$ в *мм*	920×10	920×9		920×8		1020×11		1020×10		1020×8		1220×12		1220×9	
G в *т/ч*	Δh в *кгс/м²·м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м² м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м² м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м² м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м² м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м² м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*
4800	4,44	2,18	4,39	2,17	4,34	1,78	2,59	1,77	2,56	1,76	2,51	1,24	1	1,23	0,98
5000	4,82	2,27	4,76	2,26	4,7	1,85	2,81	1,85	2,78	1,83	2,72	1,29	1,09	1,27	1,06
5200	5,21	2,36	5,15	2,35	5,09	1,93	3,03	1,92	3	1,91	2,94	1,34	1,18	1,33	1,14
5400	5,62	2,45	5,55	2,44	5,49	2	3,27	1,99	3,24	1,98	3,17	1,39	1,27	1,38	1 23
5600	6,04	2,54	5,97	2,53	5,9	2,08	3,52	2,07	3,48	2,05	3,41	1,45	1,37	1,43	1,33
5800	6,48	2,63	6,4	2,62	6,33	2,15	3,78	2,14	3,74	2,13	3,66	1,5	1,47	1,48	1,43
6000	6,93	2,72	6,85	2,71	6,78	2,23	4,04	2,22	4	2,2	3,92	1,55	1,57	1,53	1,53
6200	7,4	2,81	7,32	2,8	7,23	2,3	4,31	2,29	4,27	2,27	4,18	1,6	1,68	1,59	1,63
6400	7,89	2,91	7,8	2,89	7,71	2,37	4,6	2,36	4,55	2,35	4,46	1,65	1,79	1,64	1,74
6600	8,39	3	8,29	2,98	8,2	2,45	4,89	2,44	4,84	2,42	4,74	1,7	1,9	1,69	1,85
6800	8,91	3 09	8,8	3,07	8,7	2,52	5,19	2,51	5.14	2,49	5,03	1,76	2,02	1,74	1,96
7000	9.44	3,18	9,33	3.16	9,22	2,6	5,5	2.59	5,44	2.56	5,33	1,81	2,14	1,79	2.08
7200	9.98	3,27	9,87	3,25	9,76	2,67	5.82	2.66	5 76	2.64	5.64	1,86	2,26	1,84	2,2
7400	10,5	3.36	10,4	3,34	10,3	2,74	6.15	2,73	6,08	2.71	5,96	1,91	2,39	1,89	2,33
7600	11,1	3,45	11	3,44	10,9	2,82	6,48	2.81	6,41	2,78	6,28	1,96	2,52	1,94	2,49
7800	11,7	3,54	11,6	3,53	11,4	2,89	6,83	2 88	6,76	2,86	6,62	2,01	2,65	1,99	2,59
8000	12,3	3,63	12,2	3,62	12	2,97	7,18	2,95	7,11	2,93	6,96	2,07	2,79	2,05	2,72
8200	13	3,72	12,8	3,71	12,7	3,04	7.55	3,03	7,47	3	7,31	2,12	2,93	2,1	2,86
8400	13.6	3,81	13,4	3,8	13,3	3,12	7,92	3.1	7,84	3,08	7,68	2,17	3.08	2,15	3
8600	14,2	3,9	14,1	3,89	13,9	3,19	8,3	3,18	8,21	3,15	8,04	2,22	3,23	2,2	3,14
8800	14,9	4	14,7	3,98	14,6	3,26	8,69	3,25	8,6	3,22	8,42	2,27	3,38	2,25	3,29
9000	15.6	4,09	15,4	4,07	15,2	3,34	9,09	3,32	9	3,30	8,81	2,32	3,53	2,3	3,44
9200	16,3	4,18	16,1	4,16	15,9	3.41	9,5	3,4	9,4	3,37	9.21	2,38	3,69	2,35	3,6
9400	17	4,27	16,8	4,25	16,6	3,49	9,92	3,47	9,81	3,44	9,61	2.43	3,85	2.4	3,75
9600	17,8	4,36	17,5	4,34	17,3	3,56	10,3	3,55	10,2	3,52	10	2,48	4,02	2,45	3,92
9800	18.5	4,45	18,3	4,43	18,1	3,63	10,8	3,62	10,7	3,59	10,4	2,53	4,19	2,51	4,08
10000	19.3	4,54	19	4,52	18,8	3 71	11,2	3,69	11,1	3,66	10,9	2,58	4,36	2,56	4,25
10500	21,2	4,77	21	4,75	20,7	3,89	12,4	3,88	12.2	3.85	12	2,71	4,81	2,68	4,68
11000	23,3	4,99	23	4,97	22,8	4,08	13,6	4,06	13,4	4,03	13,2	2,84	5,28	2,81	4,14
11500	25,5	5,22	25.2	5,2	24,9	4,26	14.8	4,25	14,7	4,21	14,4	2,97	5,77	2,94	5,62

Примечание. Жирной линией обозначена граница между переходной и квадратичной областью.

При значениях удельных весов, эквивалентных шероховатостей и внутренних диаметров труб, отличающихся от принятых при составлении таблиц и номограмм, величины Δh, v и $l_э$, полученные по таблицам и номограммам, пересчитывают по следующим формулам:

а) при значениях удельных весов $\gamma' \neq \gamma$:

$$\Delta h' = \Delta h \frac{\gamma}{\gamma'} \quad кгс/м^2 \cdot м; \tag{9.23}$$

$$v' = v \frac{\gamma}{\gamma'} \quad м/сек, \tag{9.24}$$

б) при значениях эквивалентных шероховатостей $k'_э \neq k_э$ ориентировочно:

$$\Delta h' = \Delta h \sqrt[4]{\frac{k'_э}{k_э}} \quad кгс/м^2 \cdot м; \tag{9.25}$$

$$l'_э = l_э \sqrt[4]{\frac{k_э}{k'_э}} \quad м. \tag{9.26}$$

Значения $\sqrt[4]{\frac{k'_э}{k_э}}$ и $\sqrt[4]{\frac{k_э}{k'_э}}$ приравнивают $\sqrt{\frac{k_A}{k_B}}$

и определяют по табл. 9.14.

Для пересчета с таблиц и номограмм, составленных при значениях эквивалентной шероховатости, $k_э = 0{,}5$ *мм*:

$$\Delta h' = \beta \Delta h \quad кгс/м^2 \cdot м; \tag{9.27}$$

$$l'_э = \frac{1}{\beta} l_э \quad м, \tag{9.28}$$

где β — коэффициент, принимаемый по табл. 9.15;

в) при значениях внутренних диаметров труб $D'_в \neq D_в$:

$$\Delta h' \approx \Delta h \left[\frac{D_в}{D'_в}\right]^{5{,}25} \quad кгс/м^2 \cdot м; \tag{9.29}$$

$$v' \approx v \left[\frac{D_в}{D'_в}\right]^{2} \quad м/сек; \tag{9.30}$$

$$l'_э \approx l_э \left[\frac{D_в}{D'_в}\right]^{1{,}25} \quad м, \tag{9.31}$$

Для облегчения расчетов на рис. 9.8 дан график для определения значений $\left[\frac{D_в}{D'_в}\right]$ в степенях 5,25; 2 и 1,25.

При расчетных расходах теплоносителя, выходящих за пределы табличных величин, можно найти значения Δh и v по этим таблицам для условного расхода теплоносителя, увеличенного или уменьшенного в n раз:

если условная нагрузка увеличена в n раз против требуемой, то соответствующие ей табличные значения v и Δh надо уменьшить: скорость в n раз, а сопротивление трения в n^2 раз;

если условная нагрузка уменьшена в n раз, то значение v и Δh надо увеличить: скорость в n раз, а сопротивление трения в n^2 раз.

Величину n проще всего принимать равной 10.

Для промежуточных значений расходов теплоносителя значения скоростей и удельных потерь давления определяют линейной интерполяцией.

Эквивалентные длины местных сопротивлений при $k_э$=0,5 мм

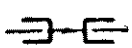
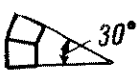
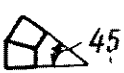
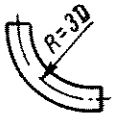
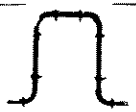
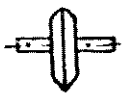
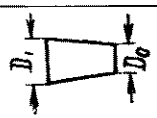
Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений							
		32	33,5	38	42,3	44,5	45	48	57
Задвижка[1]		—	—	—	—	—	—	—	0,65
Вентиль: с вертикальным шпинделем		5,1	5,4	6	6,9	7,7	7,8	8,1	8,4
„ косым „		0,57	0,54	0,64	0,69	0,72	0,73	0,76	0,92
Обратный клапан: поворотный („захлопка")		0,74	0,78	0,98	1,12	1,25	1,26	1,35	1,7
подъемный		4	4,2	5,25	6	6,7	6,8	7,3	9,16
Сальниковый компенсатор: односторонний		—	—	—	—	—	—	—	—
двусторонний		—	—	—	—	—	—	—	—
Грязевик промывочный		—	—	—	—	—	—	—	—
Отводы сварные одношовные с углом 30°		—	—	—	—	—	—	—	—
45°		—	—	—	—	—	—	—	—
60°		—	—	—	—	—	—	—	—
90°		—	—	—	—	—	—	—	—
Отводы сварные под углом 90°: двухшовные R=1 D		—	—	—	—	—	—	—	—
трехшовные R=1,5 D		—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 9.12

для труб D_y=25 ÷ 400 *мм*

$l_э$ при наружных диаметрах труб в *мм*																		
60	75,5	76	88,5	89	101,3	108	114	133	140	152	159	165	194	219	273	325	377	426
0,72	1	1	1,25	1,28	1,5	1,65	1,77	2,2	1,88	2,08	2,24	2,38	2,9	3,36	3,33	4,17	4,3	4,5
8,7	9	9,6	10	10,2	12	13,5	14,5	18,5	19,8	22,4	24,6	26,6	33,4	39,5	—	—	—	—
0,94	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,03	2,8	2,8	3,5	3,6	4,5	4,95	5,3	7	7,52	8,84	9,52	10,1	13	16	22,2	29,2	33,9	46
10,2	14	14	17,5	17,9	21	23	24,8	30,8	33	36,4	39,2	41,6	50,6	58.8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	0,66	0,71	0,88	1,41	1,56	1,68	1,78	2,17	2,52	3,33	4,17	5	10
—	—	—	—	—	—	1,98	2,12	2,64	2,82	3,12	3,36	3,57	4,34	5,04	6,66	8,34	10,1	12
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52	56	59,4	72,4	84	111	139	168	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,04	1,12	1,2	1,45	1,68	2,22	2,78	3,36	4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,56	1,68	1,78	2,17	2,52	3,33	4,17	5	6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,64	3,92	4,16	5,06	5,9	7,8	9,7	11,8	14
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,76	7,28	7,73	9,4	10,9	14,4	18,1	21,8	26
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,64	3,92	4,16	5,06	5,9	7,8	9,7	11,8	14
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,12	3,36	3,57	4,34	5,04	6,7	8,34	10,1	12

Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений							
		32	33,5	38	42,3	44,5	45	48	57
Отводы сварные под углом 90°: четырехшовные, $R=1\ D$		—	—	—	—	—	—	—	—
Отводы крутоизогнутые, $R=1{,}5D \div 2D$		0,29	0,3	0,38	0,43	0,48	0,48	0,52	0,65
Отводы гнутые гладкие:									
$R=3\ D$		0,23	0,24	0,3	0,34	0,38	0,39	0,42	0,52
$R>4\ D$		0,17	0,18	0,22	0,26	0,29	0,29	0,31	0,4
Компенсаторы П-образные со сварными трехшовными отводами, $R=1{,}5\ D$		—	—	—	—	—	—	—	—
Компенсаторы П-образные с крутоизогнутыми отводами $R=1{,}5$; $R=2D$		3,1	3,1	3,5	3,7	4	4	4,2	5,2
Компенсаторы П-образные с гнутыми гладкими отводами:									
$R=3\ D$		2,1	2,2	2,4	2,6	2,6	2,7	2,8	3,5
$R\geqslant 4\ D$		1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2	2,2	2,4
Компенсатор однолинзовый:									
без рубашки[2]		—	—	—	—	—	—	—	—
с рубашкой		—	—	—	—	—	—	—	—
Тройник при разделении потока:									
проход[3]		0,57	0,6	0,75	0,86	0,96	0,97	1,04	1,3
ответвление		0,86	0,9	1,13	1,29	1,44	1,45	1,56	1,96
Тройник при слиянии потока:									
проход[3]		0,86	0,9	1,13	1,29	1,44	1,45	1,56	1,96
ответвление		1,14	1,2	1,5	1,72	1,92	1,94	2,08	2,62
Тройники при расходящемся потоке		1,14	1,2	1,5	1,72	1,92	1,94	2,08	2,62
встречном		1,71	1,8	2,25	2,58	2,88	2,91	3,12	3,93
Переходы сварные по МН 2883—62[4].									
$F_1/F_0=2$		—	—	—	0,09	0,1	0,1	0,1	0,13
$F_1/F_0=3$		—	—	—	0,13	0,14	0,14	0,16	0,2
$F_1/F_0=4$		—	—	—	0,17	0,19	0,19	0,21	0,26

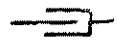
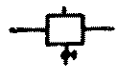
[1] Эквивалентную длину задвижек с суженным проходом и направляющей трубой принимают с коэффициентом 2.
[2] Эквивалентную длину двух-и трехлинзовых компенсаторов без рубашки принимают соответственно в два или три раза больше.
[3] Эквивалентную длину учитывают на участке с суммарным расходом воды.
[4] Эквивалентную длину учитывают на участке с меньшим диаметром.

Продолжение табл 9 12

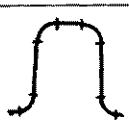
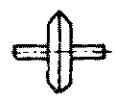
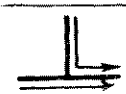
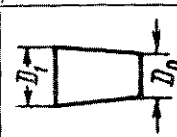
$l_э$ при наружных диаметрах труб в *мм*																	
60	75,5	76	88,5	89	101,3	108	114	133	140	152	159	165	194	219	273	325	377	426
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,12	3,36	3,57	4,34	5,04	6,7	8,34	10,1	12
0,73	1	1	1,25	1,28	1,5	1,65	1,77	2,2	2,35	2,6	2,8	2,97	3,62	4,2	5,55	6,95	8,4	10
0,58 0,44	0,8 0,6	0,8 0,6	1 0,75	1,02 0,76	1,2 0,9	1,32 0,98	1,42 1,06	1,76 1,32	1,88 1,41	2,08 1,56	2,24 1,68	2,38 1,78	2,9 2,17	3,36 2,52	4,4 3,3	5,56 4,17	6,7 5,0	8 6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16 7	17,6	18,5	22,1	24,8	33	40	47	55
5,5	6,8	6,8	7,8	7,9	8,8	9,8	10,3	12,5	13,1	14,6	15,4	16	19	23,4	28	34	40	47
3,7 2,6	4,9 2,9	4,9 3,2	5,3 3,4	5,4 3,5	6,1 3,6	6,5 3,8	6,9 4,3	8,4 5,6	8,4 5,7	9,3 6,1	10 6,5	10,5 6,9	12,6 8,4	14 4 9,3	18 11,2	22 11,5	26 16	31 20
— —	— —	— —	— —	— —	— –	5,57 0 33	6 0,35	7,5 0,44	8 0,47	8,2 0,52	8,4 0,56	8,9 0,59	10,1 0,72	10,9 0,84	13,3 1,1	13 9 1,4	15,1 1,68	16 2
1,45 2,18	2 3	2 3	2,5 3,78	2,55 3,82	3 4,5	3,3 4,95	3 54 5,3	4 4 6,6	4,7 7,05	5,2 7,8	5,6 8,4	5,94 8,9	7,24 10,9	8,4- 12,6	11,1 16,7	13,9 20,8	16,8 25 2	20 30
2,18 2,9	3 4	3 4	3,78 5	3,82 5,1	4,5 6	4,9 6,6	5,3 7,1	6,6 8,8	7,05 9,4	7,8 10,4	8.4 11,2	8,9 11,9	10,9 14,5	12,6 16,8	16,7 22,2	20,8 27,8	25,2 33,6	30 40
2,9	4	4	5	5,1	6	6,6	7,1	8,8	9,4	10.4	11,2	11,9	14,5	16,8	22,2	27,8	33,6	40
4,35	6	6	7,5	7,65	9	9,8	10,5	13,2	14,1	15,6	16,8	17,8	21,7	25,2	33,3	41,7	50,4	60
0,14 0,22 0,29	0,2 0,3 0,4	0,2 0,3 0,4	0,25 0,38 0,5	0,26 0,38 0,51	0,3 0,9 1,5	0,33 0,98 1 6	0,35 1 05 1,77	0,44 1,32 2,2	0,47 1,41 2,35	0,52 1,56 2 6	0,56 1,68 2,8	0,59 1,78 2,97	0,72 2,17 3,62	0,84 2 52 4,2	1,1 3,3 5,55	1,4 4,17 6,95	1 68 5 8,4	2 6 10

Таблица 9.13

Эквивалентные длины местных сопротивлений при $k_э$=0,5 мм для труб $D_у$=450 ÷ 1200 мм

Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений $l_э$ при наружных диаметрах трубы в мм							
		478	529	630	720	820	920	1020	1220
Задвижка[1]		4,7	5,3	5,7	6	6,4	6,8	7,1	7,5
Обратный клапан поворотный („захлопка")		56	66	89,5	112	133	158	180	226
Сальниковый компенсатор односторонний		11,7	13,1	16,5	19,4	22,8	26,3	30,1	37,6
двусторонний		14	15,8	19,9	23,3	27,4	31,6	36,1	45,1
Грязевик промывочный		233	262	331	388	456	526	602	752
Отводы сварные одношовные с углом 30°		4,7	5,3	6,6	7,8	9,2	10,5	12	15
45°		7	7,9	9,9	11,7	13,7	15,8	18	22,6
60°		16,3	18,4	23,2	27,2	32	36,8	42,1	52,6
90		30,3	34,2	43,1	50,4	59,4	68,3	78,2	97,8
Отводы сварные с углом 90° двухшовные, R=1D		16,3	18,4	23,2	27,2	32	36,8	42,1	52,6
трехшовные, R=1D		16,3	18,4	23,2	27,2	32	36,8	42,1	52,6
трехшовные, R=1,5D		14	15,8	19,9	23,3	27,4	31,6	36,1	45,1

Продолжение табл. 9.13

Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений $l_э$ при наружных диаметрах трубы в *мм*							
		478	529	630	720	820	920	1020	1220
Отводы сварные с углом 90°: четырехшовные, $R=1D$		14	15,8	19,9	23,8	27,4	31,6	36,1	45,1
Отводы крутоизогнутые, $R=1D$; $R=1,5D$		11,7	13,1	16,5	19,4	22,8	26,3	30,1	37,6
Компенсаторы П-образные со сварными трехшовными отводами; $R=1D$ $R=1,5D$		78 67	89 76	110 94	126 110	147 128	166 145	188 164	230 200
Компенсаторы П-образные с крутоизогнутыми отводами, $R=1D$; $R=1,5D$		60	68	83	95	110	124	140	170
Компенсатор однолинзовый: без рубашки[2] с рубашкой		16,3 2,4	17,1 2,6	19,9 3,3	22,5 3,9	24,7 4,6	26,3 5,3	30,1 6	37,6 7,5
Тройник при разделении потока: проход[3] ответвление		23,3 35	26,3 39,4	33,1 49,6	38,8 58,2	45,7 68,6	52,6 78,8	60,2 90,2	75,2 113
Тройник при слиянии потока: проход[3] ответвление		35 46,6	39,4 52,5	49,6 66,2	58,2 77,6	68,6 91,5	78,8 105	90,2 120	113 150
Тройники: при расходящемся потоке		46,6	52,5	66,2	77,6	91,5	105	120	150
» встречном »		69,9	78,7	99,3	116	137	158	181	226
Переходы сварные[4] (по МН 2883—62): $F_1/F_0=2$ $F_1/F_0=3$ $F_1/F_0=4$		2,4 4,7 7	2,6 5,3 7,9	3,3 6,6 9,9	3,9 7,8 11,6	4,6 9,2 13,7	5,26 10,5 15,8	6 12 18	7,5 15 22,6

Примечание. См. сноски табл. 9. 12.

Таблица 9.14

Значения $\sqrt[4]{\frac{k_A}{k_B}}$

k_B в *мм*	k_A в *мм*					
	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	1
0,05	1	1,19	1,41	1,78	2	2,11

Продолжение табл. 9.14

k_B в *мм*	k_A в *мм*					
	0,05	0,1	0,2	0 5	0,8	1
0,1	0,841	1	1,19	1,5	1,68	1,78
0,2	0,707	0,841	1	1,26	1,41	1,5
0,5	0,562	0,669	0,795	1	1,13	1,19
0,8	0,5	0,596	0,707	0,889	1	1,06
1	0,473	0,562	0,669	0,841	0,946	1

Таблица 9.15

Значения коэффициента β для пересчета удельной потери давления на трение в области квадратичного закона и эквивалентных длин местных сопротивлений при значениях эквивалентной шероховатости, отличной от $k_э = 0{,}5$ мм

Наружный диаметр трубы $D_н$ в мм	s в мм	Значения коэффициента β при эквивалентной шероховатости в мм																							
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
32	2,5, 3; 3 5	0,725	0,83	0,92	1	1,07	1,15	1,2	1,27	1,33	1,44	1,55	1,65	1,75	1,86	1,95	2,04	2,14	2,28	2,32	2,41	2,5	2,57	2,68	2,78
38	2,5; 3, 3,5	0,73	0,84	0,92	1	1,07	1,14	1,2	1,26	1,31	1,42	1,52	1,61	1,71	1,79	1,88	1,97	2,05	2,13	2,21	2,29	2,37	2,45	2,53	2,6
45	3,5, 2,5, 3	0,74	0,84	0,93	1	1,07	1,13	1,19	1,24	1,30	1,4	1,49	1,58	1,67	1,75	1,82	1,91	1,99	2,06	2,14	2,21	2,28	2,35	2,43	2,5
57	3, 3,5	0,75	0,85	0,93	1	1,06	1,12	1,18	1,23	1,28	1,38	1,47	1,55	1,63	1,71	1,78	1,85	1,92	2	2,06	2,12	2,19	2,25	2,315	2,38
76	3 3,5 4	0,75	0 85	0,93	1	1,06	1,12	1,17	1,22	1,27	1,35	1,43	1,51	1,58	1 65	1,72	1 79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,14	2,2	2,25
89	3,5; 4	0,77	0,86	0,93	1	1,06	1,11	1,16	1,21	1,26	1 34	1,42	1,49	1,56	1 63	1 69	1,755	1,81	1,88	1,93	1,99	2,04	2,09	2,14	2,2
108	4; 4 5	0,77	0,86	0,94	1	1,06	1,11	1,16	1,2	1,25	1,33	1,4	1,47	1,54	1 6	1,66	1 72	1,77	1,8	1,88	1,9	1,98	2,03	2,08	2,13
133	4; 4,5,	0,78	0,87	0,94	1	1,06	1,11	1,15	1,2	1,24	1,32	1,38	1,45	1,51	1,57	1 63	1 68	1,74	1,78	1,84	1,8	1,94	1,98	2,02	2,07
159	4,5; 5	0,78	0,87	0,94	1	1,05	1,1	1,15	1,19	1,23	1,31	1,37	1,44	1,5	1,58	1 61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,85	1,89	1,94	1,98	2,02
194	5, 6	0,79	0,87	0,94	1	1,05	1,1	1,14	1,19	1,23	1,3	1,36	1,42	1,48	1 53	1 58	1,63	1,68	1,73	1,77	1,81	1,8	1,9	1 94	1,98
219	6, 7	0 79	0,87	0,94	1	1,05	1,1	1,14	1,18	1,22	1,28	1,35	1,41	1,47	1,52	1 57	1 62	1,67	1,71	1,76	1,80	1,84	1,88	1,91	1,95
273	7; 8, 9	0 80	0,88	0,94	1	1,05	1,1	1,14	1,18	1,21	1,28	1,34	1,4	1,45	1 5	1,55	1,59	1,64	1,68	1,72	1,76	1,8	1,83	1,87	1,91
325	8, 9, 10	0 80	0 88	0,94	1	1,05	1,09	1,13	1,17	1,21	1,27	1,33	1,39	1,44	1 425	1 53	1,57	1,62	1,66	1,7	1,73	1,77	1,8	1 84	1,87
377	9—13	0 80	0,88	0,94	1	1,05	1,09	1,13	1,17	1,2	1,27	1,32	1,38	1,43	1,47	1 52	1,56	1,6	1,64	1,68	1,71	1,75	1,78	1,81	1,85
426	5—13	0,81	0,88	0 95	1	1,05	1,09	1,13	1,17	1,2	1,26	1,32	1,37	1,42	1,46	1,505	1,55	1,59	1,62	1,66	1,69	1,73	1,76	1,79	1,82
478	5—10	0,81	0 89	0,95	1	1,05	1,09	1,12	1,16	1,2	1,25	1,31	1,36	1,41	1 45	1,495	1 53	1,57	1,61	1,64	1,68	1,71	1,74	1,77	1,8
529	6—10	0 81	0,89	0,95	1	1,05	1,09	1,12	1,16	1,19	1,25	1,3	1 36	1,4	1,45	1,49	1 53	1,56	1,6	1,63	1,67	1,7	1,73	1,76	1,79
630	6—10	0 81	0,89	0,95	1	1,04	1,09	1,12	1,16	1,19	1,25	1,3	1,35	1,39	1,43	1 47	1 51	1,55	1,59	1,61	1,65	1,68	1,71	1,74	1,76
720	7--10	0 82	0,89	0,95	1	1,04	1,08	1,12	1 15	1,18	1,24	1,29	1,34	1,38	1,43	1 46	1,5	1,54	1,57	1,6	1,63	1,66	1,69	1,72	1,745
820	7—10	0,82	0,89	0,95	1	1,04	1,08	1,12	1,15	1,18	1,24	1,29	1,33	1,38	1 42	1,45	1 49	1,52	1,56	1,59	1,62	1,65	1,67	1,7	1,73
920	7—11	0,82	0,89	0,95	1	1,04	1,08	1,11	1,15	1,18	1,23	1,28	1,33	1,37	1,41	1,45	1,48	1,51	1,55	1,58	1,61	1,63	1,66	1,69	1,71
1020	8—12	0,82	0,895	0,95	1	1,04	1,08	1,11	1,15	1,17	1,23	1,28	1,32	1,36	1,4	1,44	1,47	1,51	1,54	1,57	1,6	1,62	1,65	1,67	1,7

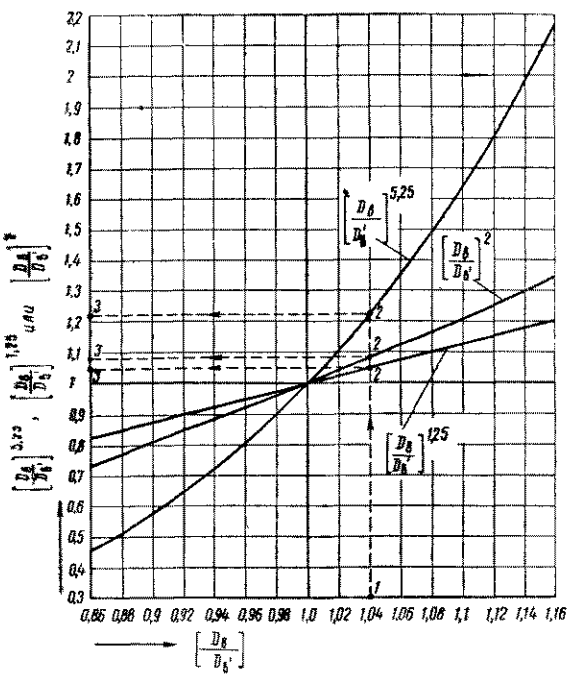


Рис. 9 8. График для определения значений

$$\left[\frac{D_в}{D'_в}\right]^{5,25}; \quad \left[\frac{D_в}{D'_в}\right]^{1,25} \quad \left[\frac{D_в}{D'_в}\right]^{2}$$

Таблица 9.16

Ведомость расчетных расходов воды потребителями для гидравлического расчета магистральных и распределительных тепловых сетей

№ п/п	№ по генплану	Потребитель	Расчетный расход воды в т/ч				
			на отопление $G_о$	на вентиляцию $G_в$ при		на горячее водоснабжение $G^р_г$	суммарный G
				$t_{н.в}$	$t_{н.в} = t_{н.о}$		
1		Промпредприятие	62	8	—	40	110
2	М1	Микрорайон 1	97,5	—	2,5	20	120
3	М2	» 2	65	—	5	20	90
		Итого	224,5	8	7,5	80	320

При гидравлических расчетах водяных тепловых сетей удельные потери давления на трение в трубопроводах рекомендуется принимать:

для участков расчетной магистрали от источника тепла до наиболее удаленного потребителя — до 8 кгс/м² м;

для ответвления от расчетной магистрали — по располагаемому перепаду давлений, но не более 30 кгс/м² м.

Таблица 9.17

Форма таблицы и пример гидравлического расчета водяных тепловых сетей

№ участков	Расход воды G в *т/ч*	Характеристика трубы		Длина участка трубопровода в *м*			Скорость воды на участке v в *м/сек*	Потеря давления		Суммарная потеря давления от ТЭЦ (или котельной) $H=\Sigma\Delta H\ 10^{-3}$ в *м вод. ст.*
		условный проход $D_у$ в *мм*	наружный диаметр × толщина стенки в *мм* $D_н \times s$	по плану l	эквивалентная местным сопротивлениям $l_э$	приведенная $l_{пр}=l+l_э$		удельная на трение Δh в *кгс/м² м*	на участке $\Delta H=\Delta h l_{пр}$ в *кгс/м²*	
Основная расчетная магистраль										
ТЭЦ — 1	320	300	325×8	645	195	840	1,24	5,36	4500	4,5
1—2	200	250	273×7	430	130	560	1,1	5,3	2970	7,47
2—1	110	200	219×6	216	64	280	0,95	5,22	1460	8,93
Ответвления от расчетной магистрали (распределительные сети)										
2—М2	90	175	194×5	162	48	210	0,98	6,5	1368	8,838
1—М1	120	200	219×6	377	113	490	1,03	6,2	3040	7,51

Если при принятых удельных потерях давления на трение избыточный перепад давлений на ответвлениях от магистралей не будет полностью использован, оставшийся перепад используется на вводах к потребителям в элеваторах или дросселируется шайбами.

Для гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей составляют ведомость расчетных расходов воды потребителями (табл. 9.16), в которой приводятся расчетные расходы воды каждым потребителем отдельно на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и суммарные расходы, и расчетная схема рис. 9.9.

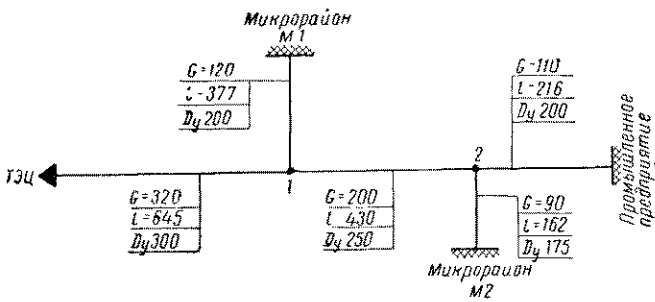


Рис. 99 Расчетная схема магистральных и распределительных водяных тепловых сетей. На схеме даны: расход теплоносителя G в *т/ч*, длина расчетного участка l в *м* и условный проход трубопровода $D_у$ в *мм*

Если расчетные расходы воды на горячее водоснабжение потребителями (см. п. 9.2) для расчета магистральных, распределительных сетей и для расчета ответвлений определяют по разным формулам, то составляют две ведомости: одну для расчета магистральных и распределительных сетей, другую — для расчета ответвлений к отдельным зданиям.

В первую очередь рассчитывают основную расчетную магистраль от источника тепла до наиболее удаленного потребителя.

Рассчитывать рекомендуется по форме, приведенной в табл. 9.17, по отдельным участкам трубопровода.

Пример расчета для схемы, приведенной на рис. 9.9, дан в табл. 9.17. Ведомость расчетных расходов воды дана в табл. 9.16.

9.5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПАРОПРОВОДОВ

Гидравлический расчет паропроводов производят с учетом изменения состояния пара за счет падения давления при движении его по трубопроводу и падения температуры за счет потерь тепла в окружающую среду.

Состояние пара принимают для каждого расчетного участка при среднем удельном весе и средней температуре на данном участке.

С достаточной степенью точности средний удельный вес пара на участке определяют по формуле

$$\gamma_{ср}=\frac{\gamma_н+\gamma_к}{2}\ кгс/м^3, \qquad (9.32)$$

где $\gamma_н$ и $\gamma_к$ — удельные веса пара в начале и конце расчетного участка в *кгс/м³*.

Падение температуры перегретого пара на участке паропровода за счет теплопотерь в окружающую среду определяют по формуле

$$\Delta t=\frac{Q\cdot 10^{-3}}{Gc_p}\ °C, \qquad (9.33)$$

где Q — потеря тепла в окружающую среду участком паропровода в *ккал/ч*;

G — расчетный расход пара на участке в *т/ч*;

c_p — истинная теплоемкость перегретого пара при постоянном давлении при средних параметрах пара на участке в *ккал/кг град*.

Потерю тепла в окружающую среду определяют по формуле

$$Q = q_{уд}(t_{ср} - t_о)\, l \ ккал/ч, \qquad (9.34)$$

где l — длина расчетного участка в *м*;

$q_{уд}$ — удельная потеря тепла изолированным паропроводом с учетом потерь тепла арматурой, компенсаторами и опорами в *ккал/м ч град* (см. табл. 9.10).

Удельную потерю давления на трение в паропроводах определяют по располагаемому перепаду давления, но при скорости пара, не более приведенной в табл. 9.18.

На ответвлениях к отдельным потребителям допускается увеличивать скорость пара по сравнению с величинами, указанными в табл. 9.18, но не более чем в 1,3 раза.

Располагаемую удельную потерю давления на трение определяют по формуле

$$\Delta h^р = \frac{H^р}{l_{пр}} \ кгс/м^2 м, \qquad (9.35)$$

где $l_{пр}$ — приведенная длина трубопровода в *м*;

Таблица 9.18

Рекомендуемые максимальные скорости пара в паропроводах в *м/сек*

Условный проход труб $D_у$ в *мм*	Перегретый пар	Насыщенный пар
До 200 *мм*	50	35
Выше 200 „	80	60

$H^р$ — располагаемая потеря давления на трение и местные сопротивления в *кгс/м²*.

Располагаемую потерю давления на трение и местные сопротивления определяют по формуле

$$H^р = (P_1 - P_2)\, 10^4 \ кгс/м^2 м, \qquad (9.36)$$

где P_1 и P_2 — заданные начальное и конечное давление пара в *кгс/см²*.

Гидравлический расчет паропроводов можно производить по табл. 9.19 и номограммам рис. 9.10 и рис. 9.11. Значения эквивалентных длин местных сопротивлений даны в табл. 9.20 и 9.21.

При составлении таблиц и номограмм принято: температура пара t=300° С, давление пара P=13 *кгс/см²*, удельный вес пара γ=1 *кгс/м³* (условно), эквивалентная шероховатость $k_э$=0,2 *мм* и динамическая вязкость $\mu = 2{,}05 \cdot 10^{-6}$ *кгс сек/м²*.

При значениях эквивалентных шероховатостей и внутренних диаметров труб, отличающихся от принятых при составлении таблиц и номограмм, величины Δh, v и $l_э$, полученные по таблицам или номограммам, пересчитывают по формулам (9.25), (9.26), (9.29)—(9.31). Действительные удельные потери давления на трение $\Delta h_д$ и скорости пара $v_д$ при расчетном среднем удельном весе пара $\gamma_{ср}$, не равном единице, определяют по формулам:

$$\Delta h_д = \frac{\Delta h}{\gamma_{ср}} \ кгс/м^2 м; \qquad (9.37)$$

$$v_д = \frac{v}{\gamma_{ср}} \ м/сек. \qquad (9.38)$$

Таблица 9.19

Гидравлический расчет паропроводов при $k_э$=0,2 *мм* и γ=1 *кгс/м³*

$D_н \times s$ в *мм*	32×2,5		38×2,5		44,5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5		89×3,5	
G в *т/ч*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*	v в *м/сек*	Δh в *кгс/м²м*
0,02	9,71	7,0												
0,03	14,6	15,2	9,75	5,2										
0,04	19,4	26	13	9,9	9,08	3,7	8,85	3,5						
0,05	24,3	40	16,3	15,3	11,3	5,6	11,1	5,2						
0,06	29,1	57	19,5	21,9	13,6	8	13,3	7,5						
0,07	34	77	22,8	29	15,9	10,8	15,5	10,1						
0,08	38,8	99	26	37	18,2	14	17,7	13,1						
0,09	43,7	127	29,3	46	20,4	18,8	19,9	16,5	12,7	5,2				
0,1	48,6	153	32,5	58	22,7	21,5	22,1	20,3	14,2	6,4				
0,11	53,4	185	35,8	67	25	26	24,3	24,5	15,6	7,7				
0,12	58,3	220	39	80	27,2	31	26,6	28,8	17	9,1	8,92	1,68		
0,13	63,1	258	42,3	94	29,5	36	28,8	34	18,4	10,3	9,67	2		
0,14	68	299	45,5	108	31,8	42	31	39	19,8	12,1	10,4	2,27		
0,15	72,8	343	48,8	120	34,0	47	33,2	45	21,2	14	11,2	2,38		
0,16	77,7	390	52	135	36,3	53	35,4	50	22,7	15,9	11,9	2,6		
0,17	82,6	441	55,3	152	38,6	60	37,6	57	24,1	18	12,6	3,3	8,95	1,4
0,18	87,4	494	58,5	170	40,8	67	39,8	64	25,5	20	13,4	3,65	9,48	1,57
0,19	92,3	550	61,8	189	43,1	75	42	70	26,9	22	14,1	4	10	1,65
0,2	97,1	610	65	210	45,4	83	44,3	78	28,3	24	14,9	4,5	10,5	1,97
0,22	107	738	71,5	254	49,9	100	48,7	94	31,2	29	16,4	5,3	11,6	2,25
0,24	117	878	78	302	54,5	117	53,1	112	34	35	17,8	6,4	12,6	2,72
0,26	126	1031	84,5	355	59	137	57,5	128	36,8	40	19,3	7,5	13,7	3,15
0,28	136	1195	91	411	63,5	158	62	148	39,6	46,1	20,8	9	14,7	3,68
0,3	146	1372	97,5	412	68,1	182	66,4	170	42,5	54	22,3	9,8	15,8	4,13
0,32	155	1561	104	537	72,6	207	70,8	194	45,3	61	23,8	10,2	16,8	4,7
0,34	165	1762	111	606	77,1	234	75,2	218	48,1	68	25,3	12,8	17,9	5,2
0,36	175	1976	117	680	81,7	262	79,7	245	51	75	26,8	14,2	19	5,8
0,38	185	2201	124	757	86,2	292	84,1	273	53,8	84	28,3	16	20	6,5
0,4	194	2439	130	839	90,8	323	88,5	302	56,6	92,7	29,7	17,8	21,1	7,1
0,42	204	2689	137	925	95,3	356	93	332	59,5	102	31,2	19,5	22,1	7,8

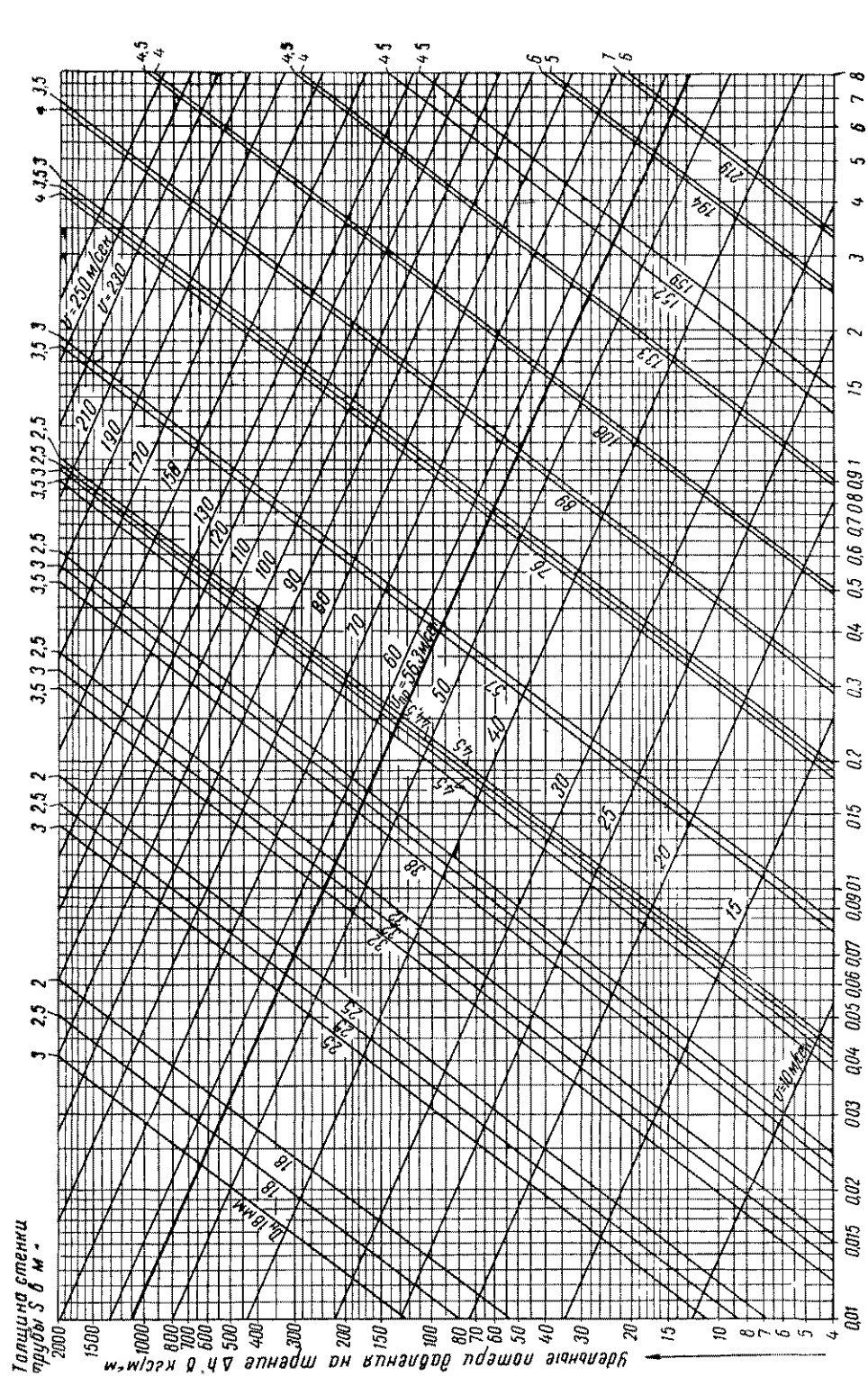


Рис. 9 10 Номограмма для гидравлического расчета паропроводов при $k_э = 0{,}2$ *мм* и $\gamma = 1$ *кгс/м*³ при расходах пара от 0,01 до 8 *т/ч*

Жирной линией обозначена предельная скорость $v_{пр} = 56{,}3$ *м/сек*, соответствующая границе между переходной и квадратичной областью

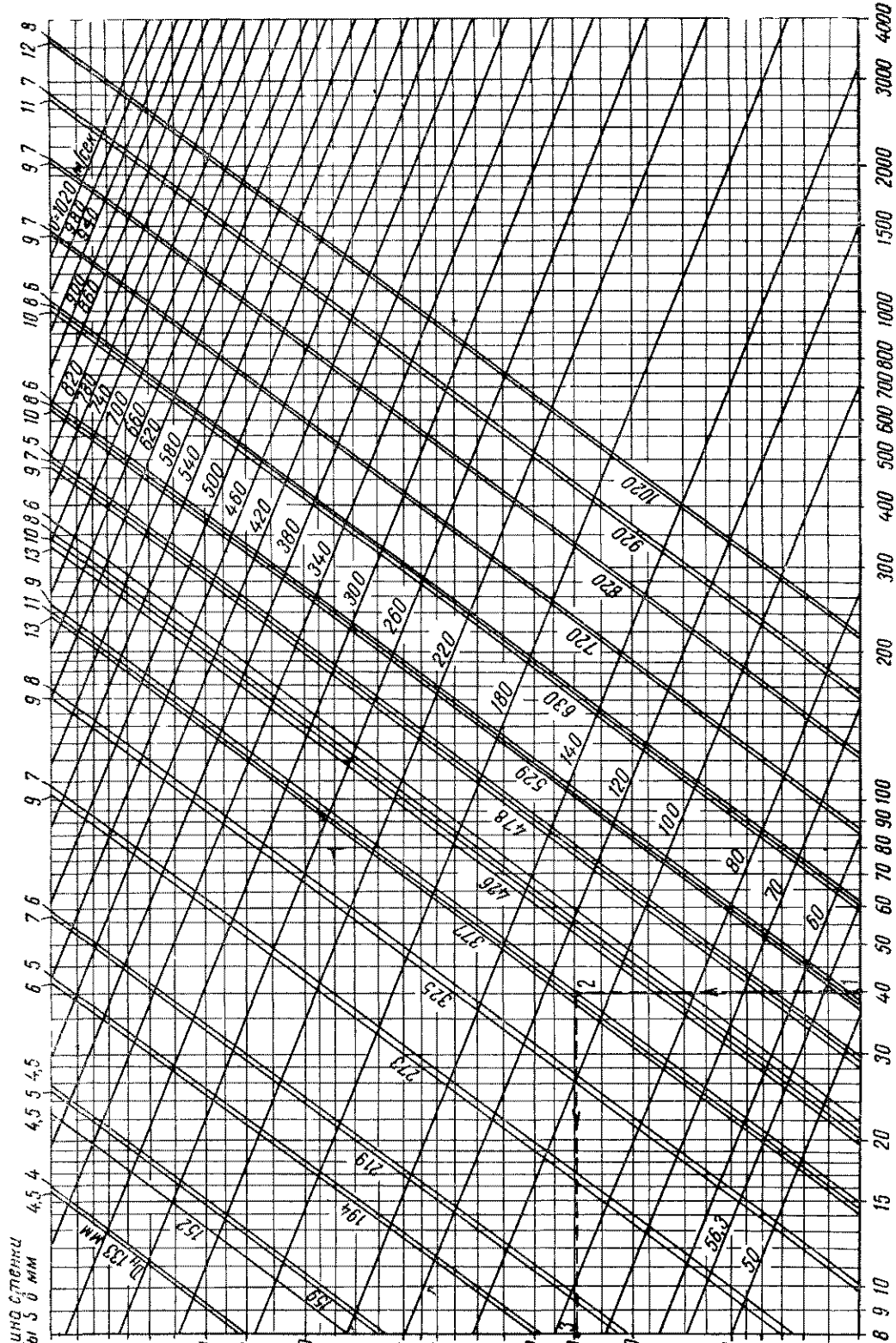


Рис. 9.11. Номограмма для гидравлического расчета паропроводов при $k_э = 0{,}2$ *мм* и $\gamma = 1$ *кгс/м³* при расходах пара от 8 до 4000 *т/ч*

Пример. Дано $G = 40$ *т/ч*, $D_н = 377$ *мм*; $s = 9$ *мм*; $P = 8$ *кгс/см²*, $t = 250°C$; $\gamma_{ср} = 3{,}35$ *кгс/м³*. Находим в точке 2 $v = 110$ *м/сек*, а в точке $\Delta h = 29{,}3$ *кгс/м²м*. Определяем действительные значения $\Delta h_д = \frac{\Delta h}{\gamma_{ср}} = \frac{29{,}3}{3{,}35} = 8{,}75$ *кгс/м²м*, $v_д = \frac{v}{\gamma_{ср}} = \frac{110}{3{,}35} = 32{,}8$ *м/сек*

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	44,5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5		89×3,5		108×4		133×4		152×4,5		159×4,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
0,44	99,8	391	97,4	366	62,3	112	32,7	21,5	23,2	8,8								
0,46	104	427	102	400	65,1	123	34,2	23	24,2	9,5	16,3	3,42						
0,48	109	465	106	435	68	134	35,7	25	25,3	10,1	17	3,8						
0,5	113	505	111	472	70,8	145	37,1	27	26,3	11	17,7	4						
0,55	125	611	122	572	77,9	175	40,9	33	29	13,15	19,5	4,8						
0,6	136	727	133	680	85	209	44,6	39	31,6	15,3	21,2	5,7						
0,65	147	853	144	708	92	245	48,3	45	34,3	18,3	23	6 7						
0,7	159	990	155	926	99,1	284	52	53	36,9	21	24,8	7,7						
											26,6	9						
0,75	170	1136	166	1063	106	326	55,8	61,5	39,5	24								
0,8	182	1293	177	1209	113	371	59,5	67,6	42,1	27,2	28,3	9,8	18,1	3,2				
0,85			188	1365	120	419	63,2	76,3	44,8	30,7	30,1	11,2	19,3	3,61				
0,9					127	469	66,9	85,5	47,4	34,5	31,9	12,7	20,4	4				
0,95					135	523	70,6	95,3	50	38,3	33,6	14	21,5	4,41				
1					142	579	74,4	106	52,6	42,5	35,4	15,1	22,7	4,9				
											37,2	17	23,8	5,32				
1,05					149	639	78,1	116	55,3	46								
1,1					156	701	81,8	128	57,9	51,4	38,9	18,5	24,9	5,9				
1,15					163	763	85,5	140	60,5	56,2	40,7	20,1	26,1	6,4				
1,2					1,7	834	89,2	152	63,2	61,2	42,5	22	27,2	7	20,8	3,5	18,9	2,7
1,25					177	905	92,9	165	65,8	66,4	44,3	24	28,3	7,5	21,6	3,8	19,7	2,93
1,3					184	979	96,7	178	68,4	71,8	46	26	29,5	8,3	22,5	4,07	20,5	3,19
1,35					191	1056	100	192	71,1	77,4	47,8	28	30,6	9	23,4	4,4	21,2	3,39
1,4					198	1136	104	207	73,7	83,2	49,6	29,5	31,7	9,5	24,7	4,7	22	3,65
1,45							108	222	76,3	89,3	51,3	32	32,9	10,1	25,1	5	22,8	3,96
1,5							112	238	79	95,6	53,1	34	34	10,6	26	5,32	23,6	4,13
1,55							115	254	81,6	102	54,9	36	35,1	11,3	26,8	5,63	24,4	4,42
1,6							119	270	84,2	109	56,6	38,2	36,2	12,1	27,7	6,1	25,2	4,71
1,65							123	287	86,9	116	58,4	40,6	37,3	12,9	28,6	6,4	26	5
1,7							126	305	89,5	123	60,2	43,1	38,5	13,7	29,4	6,78	26,7	5,3
1,75							130	323	92,2	130	62	45,6	39,6	14,6	30,3	7,25	27,5	5,64
1,8							134	342	94,8	138	63,7	48,4	40,8	15,2	31,2	7,7	28,3	6,01

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	76×3,5		89×3,5		108×4		133×4		152×4,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
1,85	138	361	97,4	145	65,5	51	41,9	16	32,1	8
1,9	141	381	100	153	67,3	53,9	43	16,8	32,9	8,5
1,95	145	401	103	161	69,1	56,8	44,2	17,8	33,8	9
2	149	422	105	170	70,8	59,7	45,3	18,8	34,6	9,51
2,1	156	466	111	187	74,3	65,8	47,6	20,6	36,4	10,35
2,2	164	511	116	206	77,9	72,2	49,8	22,5	38,1	11,2
2,3	171	559	121	225	81,4	79	52,1	24,5	39,8	12,2
2,4	178	608	126	245	85	86	54,4	26,6	41,5	13,3
2,5	186	660	132	265	88,5	93,3	56,6	28,8	43,3	14,4
2,6	193	714	137	287	92	101	58,9	31,8	45	15,5
2,7	201	770	142	310	95,6	109	61,2	33,6	46,7	16,7
2,8	208	828	147	333	99,1	117	63,4	36,2	48,5	18
2,9	216	888	153	357	103	126	65,7	38,8	50,2	19,2
3	223	950	158	382	106	134	68	41,5	51,9	20,5
3,1	230	1015	163	408	110	143	70,2	44,3	53,7	21,9
3,2	238	1081	168	435	113	153	72,5	47,2	55,4	23,3
3,3	245	1150	174	462	117	163	74,8	50,2	57,1	24,8
3,4	253	1221	179	491	120	173	77	53,3	58,9	26,3
3,5	260	1293	184	520	124	183	79,3	56,5	60,6	27,9
3,6			190	550	127	193	81,6	60	62,3	29,5
3,7			195	581	131	204	83,8	63,2	64,1	31,1
3,8			200	613	135	216	86,1	66,6	65,8	32,8
3,9			205	646	138	227	88,4	70,2	67,5	34,6
4			211	680	142	239	90,6	73,8	69,2	36,4
4,2			221	749	149	263	97,4	85,3	72,7	40,1
4,4			232	822	156	289	99,7	89,3	76,2	44
4,6			242	899	163	316	104	97,6	79,6	48,1
4,8			253	978	170	344	109	106	83,1	52,4
5			263	1062	177	373	113	115	86,6	56,9
5,2			274	1148	184	404	118	125	90	61,5

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	159×4,5		194×6		194×5		219×7		219×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
1,85	29,1	6,3	19,8	2,32	19,4	2,2				
1,9	29,9	6,6	20,3	2,42	19,9	2,25				
1,95	30,7	6,94	20,9	2,68	20,4	2,46				
2	31,5	7,287	21,4	2,7	20,9	2,6				
2,1	33	8,04	22,4	2,95	22	2,8				
2,2	34,6	8,85	23,5	3,22	23	3,1				
2,3	36,2	9,65	24,6	3,51	24	3,32				
2,4	37,8	10,5	25,6	3,8	25,1	3,61	20,2	2,15		
2,5	39,3	11,3	26,7	4,19	26,1	3,94	21,1	2,35	20,7	2,22
2,6	40,9	12,2	27,8	4,44	27,2	4,23	21,9	2,52	21,5	2,4
2,7	42,5	13,2	28,9	4,79	28,2	4,57	22,7	2,7	22,3	2,6
2,8	44,1	14,1	29,9	5,2	29,3	4,86	23,6	2,9	23,1	2,78
2,9	45,6	14,8	31	5,5	30,3	5,2	24,4	3,1	24	2,9
3	47,2	16	32,1	5,9	31,4	5,6	25,3	3,24	24,8	3,1
3,1	48,8	17,1	33,1	6,3	32,4	5,93	26,1	3,5	25,6	3,28
3,2	50,3	18,3	34,2	6,7	33,5	6,3	27	3,72	26,4	3,55
3,3	51,9	19,4	35,3	7,1	34,5	6,7	27,8	3,93	27,3	3,78
3,4	53,5	20,5	36,3	7,52	35,6	7,12	28,6	4,2	28,1	4
3,5	55,1	21,7	37,4	8	35,5	7,52	29,5	4,44	29	4,28
3,6	56,6	22,9	38,5	8,5	37,6	8	30,3	4,7	30	4,5
3,7	58,2	24,2	39,5	8,9	38,7	8,5	31,2	4,82	30,6	4,7
3,8	59,8	25,6	40,6	9,45	39,7	8,9	32	5,15	31,4	5
3,9	61,4	26,9	41,7	9,95	40,8	9,4	32,9	5,4	32,2	5,28
4	62,9	28,3	42,7	10,16	41,8	9,8	33,7	5,8	33	5,55
4,2	66,1	31,2	44,9	11,5	43,9	10,8	35,4	6,35	34,7	6
4,4	69,2	34,3	47	12,5	46	11,9	37,1	6,9	36,4	6,6
4,6	72,4	37,4	49,1	13,6	48,1	12,9	38,7	7,5	38	7,15
4,8	75,5	40,8	51,3	14,8	50,2	14	40,4	8,2	39,7	7,8
5	78,7	44,2	53,4	16,1	5 ,3	15,25	42,1	9	41,3	8,6
5,2	81,8	47,9	55,6	17,3	54,4	16,42	43,8	9,6	43	9,2

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	108×4		133×4		152×4,5		159×4,5		194×6		194×5		219×7	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в к с/м² м	v в м/сек	Δh в к с/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
5,4	191	435	122	135	93,5	66,3	85	51,6	57,7	18,7	56,5	17,7	45,5	10,2
5,6	198	468	127	145	97	71,3	88,1	55,5	59,8	20,1	58,6	19	47,2	11
5,8	205	502	131	155	100	76,5	91,3	59,5	62	21,6	60,6	20,4	48,9	12
6	212	537	1.6	165	104	81,9	94,4	63,7	64,1	23,1	62,7	21,8	50,5	12,6
6,2	219	574	140	177	107	87,4	97,5	68	66,3	24,7	64,8	23,3	5 ,2	13,3
6,4	227	611	145	189	111	93,2	101	72,5	68,4	26,3	66,9	24,8	53,9	14,15
6,6	234	650	150	201	114	99,1	104	77,1	70,5	27,9	69	26,4	55,6	15
6,8	241	690	154	213	118	105	107	81,8	72,7	29,7	71,1	28	57,3	15,9
7	248	731	159	226	121	111	110	86,7	74,8	31,4	73,2	29,7	59	16,8
7,5	266	840	170	259	130	128	118	99,5	80,2	36,1	78,4	34,2	63,2	19,4
8	283	955	181	295	138	146	126	113	85,5	41	83,6	38,8	67,4	22
8,5	301	1078	193	338	147	164	134	128	90,8	45,3	88,9	43,8	71,6	24,8
9	319	1209	204	374	155	184	142	143	96,2	51,9	94,1	49,1	75,8	27,8
9,5			215	416	164	205	1-9	160	102	57,9	99,3	54,7	80	31
10			227	461	173	227	157	177	107	64,1	105	60,6	84,2	34,4
10,5			238	509	182	251	165	195	112	70,7	110	66,8	88,4	37,9
11			249	558	190	275	173	214	118	77,6	115	73,3	92,7	4 ,6
11,5			261	610	199	301	181	2 4	123	84,8	120	80,1	96,9	45,4
12			272	664	208	328	189	255	128	92,4	125	87,2	101	49,5
12,5			283	721	216	355	197	277	134	100	131	94,6	105	5 ,7
13			295	780	225	384	205	299	139	108	136	102	110	58,1
13,5			306	841	234	415	212	323	144	117	141	110	114	62,6
14			317	904	242	446	220	347	150	126	146	119	118	67,3
14,5			329	970	251	478	228	372	155	135	152	127	122	72,2
15			340	1038	260	512	236	398	160	144	157	136	126	77,3
16			362	1181	277	582	252	453	171	164	167	155	135	88
17			385	1333	294	657	267	511	182	185	178	175	143	99,3
18			408	1494	312	737	283	573	192	208	188	196	152	111
19			430	1665	329	821	299	639	203	232	199	219	160	124
20			453	1845	346	910	315	708	214	257	209	242	168	137

Продолжение табл. 9.1

$D_н \times s$ в мм	219×6		273×8		273×7		325×9		325×8		377×10		377×9	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
5,4	44,6	9,8	28,9	3,81	28,5	3,96								
5,6	46,3	10,4	30	3,42	29,6	3,28								
5,8	47,9	11,3	31,1	3,66	30,6	3,52								
6	49,6	11,95	32,2	3,92	31,7	3,77								
6,2	51,2	12,6	33,2	4,16	32,7	4,02								
6,4	52,9	13,6	34,3	4,44	33,8	4,29								
6,6	54,5	14,4	35,4	4,7	34,8	4,53								
6,8	56,2	15,1	36,4	5	35,9	4,8								
7	57,8	16	37,5	5,28	36,9	5,07	26,3	2,09	26	2,02				
7,5	62	18,4	40,2	6,06	39,6	5,82	28,2	2,4	27,9	2,31				
8	66,1	20,9	42,9	6,82	42,2	6,57	30	2,72	29,7	2,62				
8,5	70,2	23,6	45,6	7,64	44,9	7,36	31,9	3,03	31,5	2,96				
9	74,4	26,5	48,2	8,58	47,5	8,27	33,8	3,44	33,4	3,32				
9,5	78,5	29,5	50,9	9,51	50,1	9,15	35,7	3,81	35,2	3,67				
10	82,6	32,7	53,6	10,57	52,8	10,1	37,6	4,23	37,1	4,08				
10,5	86,7	36	56,3	11,6	55,4	11,2	39,4	4,66	38,9	4,5	29,2	2,16	28,8	2,1
11	90,9	39,5	59	12,7	58	12,2	41,3	5,1	40,8	4,92	30,6	2,37	30,2	2,31
11,5	95	43,2	61,6	13,9	60,7	13,3	43,2	5,56	42,6	5,37	31,9	2,6	31,6	2,53
12	99,1	47	64,3	15,1	63,3	14,5	45,1	6,04	44,5	5,83	33,3	2,79	33	2,7
12,5	103	51	67	16,4	66	15,8	47	6,52	46,3	6,3	34,7	3,02	34,3	2,93
13	107	55,2	69,7	17,8	68,6	17,1	48,8	7,07	48,2	6,82	36,1	3,11	35,7	3,17
13,5	112	59,5	72,4	19,2	71,2	18,4	50,7	7,55	50,1	7,35	37,5	3,52	37,1	3,42
14	116	64	75	20,6	73,9	19,8	52,6	8,12	51,9	7,88	38,9	3,77	38,5	3,65
14,5	120	68,7	77,7	22,1	76,5	21,2	54,5	8,74	53,8	8,43	40,3	4,05	39,8	3,91
15	124	73,5	80,4	23,7	79,2	22,7	56,3	9,33	55,6	9	41,7	4,31	41,2	4,18
16	132	83,6	85,8	26,9	84,4	25,8	60,1	10,6	59,3	10,3	44,4	4,91	43,9	4,76
17	140	94,4	91,1	30,4	89,7	29,2	63,9	12	63	11,6	47,2	5,5	46,7	5,33
18	149	106	96,5	34,1	95	32,7	67,6	13,4	66,7	13	50	6,16	49,4	5,98
19	157	118	102	37,9	100	36,4	71,4	15	70,4	14,5	52,8	6,85	52,2	6,64
20	165	131	107	42	106	40,4	75,1	16,6	74,2	16	55,6	7,55	54,9	7,32

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	194×6		194×5		219×7		219×6		273×8		273×7		325×9		325×8		377×10	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
21	224	283	220	267	177	152	173	144	113	46,4	111	44,5	78,9	18,3	77,9	17,7	58,3	8,3
22	235	310	230	293	185	166	182	158	118	50,9	116	48,9	82,6	20,1	81,6	19,4	61,1	9,1
23	246	339	240	320	194	182	190	173	123	55,6	121	53,4	86,4	21,9	85,3	21,2	63,9	10
24	256	369	251	349	202	198	198	188	129	60,5	127	58,1	90,1	23,9	89	23,1	66,7	10,8
25	267	401	261	379	211	215	207	204	134	65,7	132	63,1	93,9	25,9	92,7	25	69,4	11,8
26	278	434	272	409	219	232	215	221	139	71,1	137	68,2	97,7	28	96,4	27,1	72,2	12,7
27	289	468	282	441	227	250	223	238	145	76,6	142	73,6	101	30,2	100	29,2	75	13,7
28	299	503	293	475	236	269	231	256	150	82,4	148	79,1	105	32,5	104	31,4	77,8	14,8
29	310	539	303	509	244	289	240	275	155	88,4	153	84,9	109	34,9	108	33,7	80,5	15,8
30	321	577	314	545	253	309	248	294	161	94,6	158	90,8	113	37,3	111	36,1	83,3	16,9
31	331	616	324	582	261	330	256	314	166	101	164	97	116	39,8	115	38,5	86,1	18,1
32	342	657	335	620	270	352	264	334	172	108	169	103	120	42,5	119	41	88,9	19,3
33	353	698	345	660	278	374	273	356	177	114	174	110	124	45,1	122	43,6	91,7	20,5
34	363	741	356	700	286	397	281	377	182	122	179	117	128	47,9	126	46,3	94,4	21,8
35	374	786	365	742	295	421	289	400	188	129	185	124	131	50,8	130	49,1	97,2	23,1
36	385	831	376	785	303	445	297	423	193	136	190	131	135	53,7	133	51,9	100	24,4
37	395	878	387	829	312	470	306	447	198	144	195	138	139	56,8	137	54,9	103	25,8
38	406	926	397	874	320	496	314	472	204	152	201	146	143	59,9	141	57,9	106	27,2
39	417	975	408	921	329	523	322	497	209	160	206	154	146	63,1	145	60,9	108	28,6
40	427	1026	418	969	337	550	330	522	214	168	211	161	150	66,3	148	64,1	111	30,1
41	438	1078	429	1018	345	578	339	549	220	177	216	170	154	69,7	152	67,4	114	31,7
42	449	1131	439	1068	354	606	347	576	225	185	222	178	158	73,1	156	70,7	11,7	33,2
43	460	1185	450	1120	362	635	355	604	230	194	227	187	162	76,7	159	74,1	11,9	34,8
44	470	1241	460	1172	371	665	364	632	236	203	232	195	165	80,3	163	77,6	12,2	36,5
45			471	1226	379	696	372	661	241	213	237	204	169	83,9	167	81,1	12,5	38,1
46					387	727	380	691	247	222	243	214	173	87,7	171	84,8	12,8	40
47					396	759	388	721	252	232	248	223	177	91,6	174	88,5	13,1	41,6
48					404	792	397	752	257	242	253	233	180	95,5	178	92,3	13,3	43,4
49					413	825	405	784	263	252	259	242	184	99,5	182	96,2	13,6	45,2
50					421	859	413	816	268	263	264	252	288	104	185	100	13,9	47,1

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	377×9		426×11		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м
21	57,7	8,1	45,5	4,45	45,1	4,35	43,8	4,04	43,4	3,92	34,5	2,17	34,2	2,12				
22	60,4	8,9	47,7	4,88	47,2	4,76	45,9	4,43	45,4	4,3	36,2	2,39	35,9	2,32				
23	63,2	9,7	49,9	5,34	49,4	5,18	48	4,83	47,5	4,69	37,8	2,62	37,5	2,54				
24	65,9	10,5	52,1	5,75	51,5	5,61	50,1	5,25	49,6	5,1	39,5	2,84	39,1	2,76				
25	68,7	11,4	54,2	6,2	53,7	6,05	52,1	5,65	51,6	5,51	41,1	3,06	40,8	2,98				
26	71,4	12,4	56,4	6,7	55,8	6,5	54,2	6,07	53,7	5,9	42,8	3,31	42,4	3,23				
27	74,2	13,3	58,6	7,2	58	7	56,3	6,5	55,8	6,35	44,4	3,57	44	3,49	36	2,1	35,8	2,07
28	76,9	14,3	60,7	7,7	60,1	7,5	58,4	7	57,8	6,8	46	3,82	45,6	3,74	37,4	2,27	37,1	2,21
29	79,7	15,4	62,9	8,3	62,3	6,2	60,5	7,5	59,9	7,3	47,7	4,11	47,3	4	38,7	2,42	38,4	2,38
30	82,4	16,5	65,1	8,9	64,4	6,4	62,6	8	62	7,8	49,3	4,37	48,9	4,27	40	2,59	39,7	2,55
31	85,1	17,6	67,2	9,5	66,6	9,2	64,7	8,6	64	8,3	51	4,66	50,5	4,56	41,4	2,76	41,1	2,71
32	87,9	18,7	69,4	10,1	68,7	9,8	66,7	9,1	66	8,9	52,6	4,93	52,2	4,82	42,7	2,94	42,4	2,89
33	90,6	19,9	71,6	10,7	70,9	10,5	68,8	9,7	68,1	9,4	54,3	5,23	53,8	5,1	44	3,11	43,7	3,05
34	93,4	21,1	73,7	11,4	73	11,1	70,9	10,3	70,2	10	55,9	5,55	55,4	5,42	45,4	3,31	45	3,25
35	96,1	22,4	75,9	12,1	75,2	11,8	73	10,9	72,3	10,6	57,5	5,9	57,1	5,7	46,7	3,49	46,4	3,43
36	98,9	23,7	78,1	12,8	77,3	12,5	75,1	11,5	74,4	11,3	59,2	6,2	58,7	6,1	48	3,68	47,7	3,62
37	102	25,0	80,2	13,5	79,5	13,2	77,2	12,2	76,4	11,9	60,8	6,6	60,3	6,4	49,4	3,86	49	3,8
38	104	26,4	82,4	14,2	81,6	13,9	79,2	12,9	78,5	12,5	62,5	6,9	61,9	6,8	50,7	4,1	50,3	4,01
39	107	27,8	84,6	15	83,8	14,6	81,3	13,5	80,6	13,2	64,1	7,3	63,6	7,1	52,1	4,28	51,7	4,57
40	110	29,3	86,8	15,8	85,9	15,4	83,4	14,3	82,6	13,9	65,8	7,7	65,2	7,5	53,4	4,48	53	4,4
41	113	30,7	88,9	16,6	88,1	16,2	85,5	15	84,7	14,6	67,4	8	66,8	7,9	54,7	4,65	54,3	4,59
42	115	32,3	91,1	17,4	90,2	17	87,6	15,7	86,7	15,3	69,1	8,4	68,5	8,3	56,1	4,9	55,6	4,8
43	118	33,8	93,3	18,2	92,3	17,8	89,7	16,5	88,8	16,1	70,7	8,8	70,1	8,7	57,4	5,1	56,9	5
44	121	35,4	95,4	19,1	94,5	18,6	91,8	17,2	90,9	16,8	72,3	9,3	71,7	9,1	58,7	5,4	58,3	5,3
45	124	37	97,6	20	96,6	19,5	93,8	18	92,9	17,6	74	9,7	73,4	9 5	60,1	5,6	59,6	5,5
46	126	38,7	99,8	20,9	98,8	20,3	95,9	18,8	95	18,4	75,6	10,1	75	9,9	61,4	5,9	60,9	5,8
47	129	40,4	102	21,8	101	21,2	98	19,7	97,1	19,2	77,3	10,6	76,6	10,3	62,7	6,1	62,2	6
48	132	42,1	104	22,7	103	22,2	100	20,5	99,1	20	78,9	11	78,2	10,8	64,1	6,4	63,6	6,3
49	135	43,9	106	23,7	105	23,1	102	21,4	101	20,9	80,6	11,5	80	11,2	65,4	6,7	64,9	6,5
50	137	45,7	108	24,7	107	24	104	22,3	103	21,7	82,2	12	81,5	11,7	66,7	6,9	66,2	6,8

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	273×8		273×7		325×9		325×8		377×10		377×9		426×11		426×10		426×7		426×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м	v в м/сек	Δh в кгс/м²·м
52	279	284	274	273	195	112	193	108	144	50,9	143	49,5	113	26 7	112	26	108	24,1	107	23,5
54	289	307	285	294	203	121	200	117	150	54,9	148	53,3	117	28,8	116	28	113	26	112	25,3
56	300	330	296	317	210	130	208	126	156	59,1	154	57,4	121	30,9	120	30,2	117	27,9	116	27,2
58	311	354	306	340	218	139	215	135	161	63,4	159	61,5	126	33.2	125	32,4	121	30.	120	29,2
60	322	378	317	363	225	149	222	144	167	67,8	165	65,8	130	35,5	129	34,6	125	32,1	124	31,3
62	332	404	327	388	233	159	230	154	172	72,4	170	70,3	134	37,9	133	37	129	34 2	128	33,4
64	343	431	338	413	240	170	237	164	178	77,1	176	74,9	139	40,4	137	39,4	133	36 5	132	35,6
66	354	458	348	440	248	181	245	175	183	82	181	79,7	143	43	142	41,9	138	38,8	136	37,8
68	364	486	359	467	255	192	252	185	189	87,1	187	84 6	147	45 6	146	44,5	142	41,2	140	40,2
70	375	515	369	495	263	203	260	136	194	92,3	192	89,6	152	48,4	150	47,1	146	43,6	145	42,6
72	386	545	380	523	270	215	267	208	200	97,6	198	94,8	155	51,2	155	49,9	150	46,2	149	45
74	397	576	391	553	278	227	274	219	206	103	203	100	160	54	159	52,7	154	48,8	153	47,6
76	407	607	401	583	285	239	282	231	211	109	209	106	165	57	163	55,5	158	51,4	157	50,2
78	418	640	412	614	293	252	289	244	217	115	214	111	169	60	168	58,5	163	54,2	161	52,8
80	429	673	422	646	300	265	297	256	222	121	220	117	174	63,2	172	61,5	167	57	165	55'6
85	456	759	449	729	319	300	315	290	236	136	233	132	184	71,3	183	69,5	177	64,4	176	62'9
90	482	851	475	818	338	336	334	325	250	153	247	148	195	79,9	193	77,9	188	72,1	186	70'3
95	509	949	501	911	357	374	352	362	264	170	261	165	206	89,1	204	86,8	198	80,4	197	78,4
100	536	1051	528	1009	376	415	371	401	278	188	275	183	217	98,7	215	96,2	209	89,1	207	86'8
105	563	1159	554	1113	394	457	389	442	292	208	288	202	228	109	225	106	219	98,2	217	95'7
110	590	1271	580	1221	413	502	408	485	306	228	302	221	239	119	236	116	229	108	227	105'
115					432	548	426	530	319	249	316	242	249	131	247	127	240	118	238	115
120					451	597	445	577	333	271	330	263	260	142	258	138	250	128	248	125
125					470	648	463	623	347	294	343	2 6	271	154	268	150	261	139	258	136
130					488	701	481	677	361	318	357	309	282	167	279	163	271	151	269	147
135					507	756	501	730	375	343	371	333	293	180	290	175	282	162	279	159
140					526	813	519	785	389	369	385	358	304	193	301	188	292	175	289	170
145					545	872	538	843	403	396	398	385	314	207	311	202	302	187	299	183
150					563	933	556	902	417	424	412	412	325	222	322	216	313	200	310	195
155					582	996	575	963	431	452	426	439	336	237	333	231	323	214	320	209

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	478×7		478×6		529×7		529×6		630×8		630×7		720×9		720×8		720×7		820×9		820×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
52	85,5	13	84,8	12,7	69,4	7,5	68,9	7,4	48 8	3,1	48,5	3										
54	88,8	14	88	13,7	72,1	8,1	71,5	7,9	50.7	3,3	50.4	3,2										
56	92	15,1	91,3	14,7	74,7	8,7	74.2	8,5	52,6	3,5	52,2	3,5										
58	95,4	16,1	95	15,7	77,4	9,3	76 8	9,2	54.5	3,7	54,1	3,7										
60	98,7	17,2	97,8	16,9	80,1	10	79,5	9,8	6.3	4	56	3,9										
62	102	18,4	101	18	82,8	10,7	82,1	10,5	58.2	4,3	57.8	4,2	44,5	2,2	44,3	2,1	44	2,1	34,1	1,1	34	1,06
64	105	19,6	104	19,2	85,4	11,4	84.8	11,2	60	4,5	59,7	4,5	46	2,4	45.7	2,3	45,5	2,2	35,2	1,25	35	1,15
66	109	20,9	108	20,4	88.1	12,1	87,4	11,9	62	4,8	61,6	4,8	47,4	2,5	47.1	2,4	46,9	2,3	36,3	1,3	36,1	1,21
68	112	22,1	111	21,6	90,8	12,8	90,1	12,6	63,9	5,1	63,4	5	48,8	2,6	48,6	2,5	48,3	2,5	37,4	1,33	37,2	1,3
70	115	23,5	114	22,9	93,4	13,6	92,7	13,3	65,7	5,4	65.3	5,3	50,3	2,8	50	2,7	49,7	2,6	38,5	1,4	38,3	1,35
72	118	24,8	117	24,3	96,1	14,4	95,4	14,1	67.6	5,8	67,2	5,7	51,7	2,9	51,4	2,8	51.1	2,8	39,6	1,48	39,4	1,4
74	121	26,2	121	25,6	98,8	15,2	98	14,9	69,5	6,1	69	6	53,2	3	52,9	3	52,6	3	40,7	1,57	40,5	1,5
76	125	27,7	124	27	101	16	101	15,7	71,4	6,4	70,9	6,3	54,6	3,2	54,3	3,1	54	3,1	41,8	1,63	41,6	1,61
78	128	29,1	127	28,5	104	16,9	103	16,6	73,2	6,8	72,8	6,6	56	3,4	55,7	3,3	55,4	3,2	42,9	1,71	42,7	1,68
80	132	30,6	130	30	108	17,8	106	17,4	75,1	7,1	74.6	7	57,5	3,5	57,1	3,5	56,8	3,4	44	1,8	43,8	1,76
85	140	34,6	139	33,8	114	20,1	113	19,7	79,8	8	79,3	7,9	61,1	4	60,7	4	60.4	3,8	46,8	2	46,6	1,9
90	148	38,8	147	37,9	120	22,5	119	22,1	84,5	9	84	8,8	64.7	4,5	64.3	4,4	63,9	4,3	49,5	2,2	49,3	2,2
95	156	43,2	155	42,3	127	25,1	126	24,6	89.2	10	88.7	9,8	68,3	5	67.9	4,9	67,5	4,8	52,3	2,5	52,1	2,4
100	164	47,9	163	46,8	133	27,8	132	27,2	93.9	11,1	93,3	10,9	71,8	5,5	71,4	5,4	71	5,4	55	2,8	54,8	2,7
105	173	52,8	171	51,6	130	30,7	139	30	98,5	12,3	98,2	12	75,4	6,1	75	6	74,6	6	57,8	3	57,5	3
110	181	57,9	179	56,7	147	33,6	146	32,9	103	13,4	108	13,2	79	6,7	78,6	6,6	78.1	6,5	60,5	3,3	60,2	3,3
115	189	63,3	187	61,9	153	36,7	152	36	108	14,7	107	14,4	82.6	7,3	82,1	7,2	81,6	7,1	63,3	3,7	63	3,6
120	197	69	196	67,4	160	40	159	39,2	113	16	112	15,7	87.2	8	85.7	7,8	85,2	7,7	66	4	65,7	3,9
125	206	74,8	204	73,2	167	43,4	166	42,5	117	17,3	117	17,1	89,8	8,6	89.3	8,5	88.8	8,4	68,8	4,3	68,5	4,3
130	214	80,9	212	79,1	174	47	172	46	122	18,8	121	18,5	93.4	9,3	92.9	9.2	92,3	9,1	71,5	4,7	71,2	4,6
135	222	87,3	220	85,3	180	50,6	179	49,6	127	20,2	126	19,9	97	10,1	96,4	9 9	95,9	9,8	74,3	5	73,9	5
140	230	93,8	228	91,8	187	54,5	185	53,4	131	21,8	131	21,4	101	10,8	100	10,7	99,4	10,5	77,1	5,4	76,7	5 3
145	238	101	236	98,4	194	58,4	192	57,2	136	23,3	135	23	104	11,6	104	11,4	103	11,3	79,8	5.8	79,4	5,7
150	247	108	245	105	200	62,5	199	61,3	141	25	140	24,6	108	12,4	107	12,2	107	12,1	82,6	6,2	82,1	6,1
155	255	115	253	112	207	66,8	205	65,4	146	26,7	145	26,2	111	13,3	111	13,1	110	12,9	85.3	6,6	84,9	6.5

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	377×10		377×9		426×11		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6		630×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
160	444	482	439	468	347	253	344	246	334	228	330	222	263	123	261	120	214	71,1	212	69,7	150	28.4
165	458	513	453	498	358	269	354	262	344	243	341	235	271	130	269	127	220	75,6	219	74,1	155	30,2
170	472	544	467	529	369	285	365	278	355	257	351	251	280	138	277	135	227	80 3	225	78.7	160	32,1
175	486	577	481	560	380	302	376	295	365	273	361	266	288	147	285	143	234	85,1	232	83,4	164	34
180	500	610	494	593	390	320	387	312	375	289	372	281	296	155	293	152	240	90	238	88,2	169	36
190	528	680	522	660	412	356	408	347	396	322	392	314	312	173	310	169	254	100	252	98 3	178	40.1
200	556	753	549	732	434	395	430	385	417	356	413	347	328	192	326	187	267	111	265	109	188	44.4
210	583	831	577	807	455	435	451	424	438	393	434	383	345	211	342	206	280	123	278	120	197	49
220	611	912	604	885	477	478	472	465	459	431	454	420	362	232	359	227	294	134	291	132	207	53.7
230	639	996	632	968	499	522	494	509	480	471	475	459	378	253	375	248	307	147	305	144	216	58,7
240	667	1085	659	1054	521	568	515	554	501	513	496	500	395	276	391	270	320	160	318	157	225	64
250	694	1177	687	1143	542	617	537	601	521	557	516	543	411	299	408	293	334	174	331	170	235	69,4
260	722	1273	714	1236	564	667	558	650	542	602	537	587	428	3 4	424	316	347	188	344	184	244	75 1
270	750	1373	742	1333	586	719	580	701	563	649	558	633	444	349	440	341	360	203	358	198	254	80,9
280	778	1477	769	1434	607	774	601	754	584	698	578	681	460	375	456	367	374	218	371	213	263	87,1
290	805	1584	797	1538	629	830	623	809	605	749	599	730	477	403	473	394	387	234	384	229	272	93.4
300	833	1695	824	1646	651	888	644	866	626	802	620	782	493	431	489	421	400	250	397	245	282	99,9
310					6 2	948	666	924	647	856	640	835	510	460	505	450	414	267	411	262	291	107
320					694	1010	6 7	985	667	912	(61	890	526	490	522	479	427	285	424	279	300	114
330					716	1074	709	1047	688	970	682	946	543	521	538	510	440	303	437	297	310	121
340					737	1141	730	1112	709	1080	702	1004	559	554	554	541	454	321	450	315	319	128
350					759	1209	752	1178	730	1091	723	1064	575	587	571	574	467	340	464	334	329	136
360					781	1279	773	1246	751	1154	744	1126	592	621	587	607	480	360	477	353	338	144
370					802	1351	795	1317	772	1219	764	1189	608	656	603	641	494	380	490	373	347	152
380					824	1424	816	1389	792	1286	785	1254	625	691	619	676	507	401	503	393	357	160
390							838	1463	813	1354	806	1320	641	728	636	712	521	423	517	414	366	169
400													658	766	652	749	539	445	530	436	376	178
410													674	805	668	787	547	467	543	458	385	187
420													691	845	685	826	561	490	556	480	394	196
430													707	885	701	866	574	514	569	503	404	205

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	630×7		720×9		720×8		720×7		820×9		820×8		920×10		920×9		920×8		1020×11		1020×10		1020×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
160	149	27,9	115	14,1	114	13,9	114	13,7	88,1	7,1	87,6	7	69,9	3,9	69,6	3,8	69,3	3,8	55,9	2,3	56,5	2,2	56,1	2,2
165	154	29,7	119	15	118	14,8	117	14,6	90,8	7,5	90,4	7,4	72,1	4,1	71,8	4,1	71,5	4	53,6	2,4	58,3	2,4	57 9	2,3
170	159	31,6	122	16	121	15,7	121	15,5	93,5	8	93 1	7,9	74,3	4,4	74	4 3	73,6	4,3	59,4	2,6	60,1	2,5	59,7	2,5
175	163	33,4	126	16,9	125	16,7	124	16,4	96,3	8,5	95,8	8,3	76,5	4,6	76,1	4,6	75,8	4,5	62,2	2,7	62	2,7	61,5	2,6
180	168	35,4	129	17,9	129	17,6	128	17.4	99,1	8,9	98,6	8,8	78,7	4,9	78 3	4,9	78	4,8	64	2,8	63,7	2,8	63,2	2,8
190	173	37,4	136	19,9	136	19,6	135	19,4	105	10	104	9,8	83	5,5	82,7	5,4	82,3	5,3	67,5	3,2	67,3	3,2	66,7	3,1
200	187	43,7	144	22,1	139	20,7	142	21,5	110	11	110	10,9	87,4	6,1	87	6	86,6	5,9	71,1	3.5	70,8	3,5	70,2	3,4
210	196	48.1	151	24,4	150	24	149	23,7	116	12,2	115	12	91,8	6,7	91.4	6,6	91	6,5	74,6	3,9	74,3	3,9	73.7	3,8
220	205	52,8	158	26,7	157	26,3	156	26	121	13,4	120	13,2	96,1	7,3	95,7	7,2	95,3	7,2	78,2	4,3	77,9	4,2	77,3	4,1
230	215	57,8	165	29,2	164	28,8	163	28,4	127	14,6	125	14,4	101	8	100	7,9	99,6	7,8	81,7	4,7	81.4	4,6	80,8	4,5
240	224	62,9	172	31,8	171	31,4	170	30,9	132	15,9	131	15,7	105	8,7	104	8,6	104	8,5	85,3	5,1	85	5	84,3	4,9
250	233	68,2	180	34,5	179	34	178	33,5	138	17,3	137	17	109	9,5	109	9,4	108	9,2	88,9	5,5	88,5	5,5	87,8	5,4
260	243	73,8	187	37,3	186	36,8	185	36,3	143	18,7	142	18,4	114	10,2	113	10,1	113	10	92,4	6	92	5.9	91,3	5,8
270	252	79,6	194	40,3	193	39,7	192	39,1	149	20,1	148	19,9	118	11	117	10,9	117	10,8	96	6,1	95,6	6,1	94,8	6,2
280	261	85,6	201	43,3	200	42,7	199	42	154	21,6	153	21,4	122	11,9	120	11,8	121	11,6	99,5	6,9	99,1	6.9	98,3	6,7
290	271	91,8	208	46,5	207	45,8	205	45,1	160	23,2	159	22,9	127	12,7	126	12,6	126	12,4	103	7,4	103	7,4	102	7,2
300	280	98,3	216	49,7	214	49	213	48,3	165	24,8	164	24,5	131	13,6	131	13,5	130	13,3	107	8	106	7,9	105	7,7
310	289	105	223	53.1	221	52,3	220	51,5	171	26,5	170	26,2	135	14,6	135	14,4	134	14,2	110	8,5	110	8,4	109	8,2
320	299	112	230	56,6	229	55,7	227	54,5	176	28,3	175	27 9	140	15,5	139	15,3	139	15,2	114	9,1	113	9	112	8,8
330	308	119	237	60,2	236	59,3	234	58,9	182	30,1	181	29,7	144	16,5	144	16,3	143	16,1	117	9,6	117	9,5	116	9,3
340	317	126	244	63,9	243	62,9	241	62	187	31,9	186	31,5	149	17,5	148	17,3	147	17.1	121	10,2	120	10,1	119	9,9
350	327	134	251	67,7	250	63,7	249	65.7	193	33,8	192	33,4	158	18,6	152	18,3	152	18,1	124	10,8	124	10,7	123	10,5
360	336	141	259	71,6	257	70,5	256	69.5	198	35,8	197	35,3	157	19,6	157	19,4	156	19,2	128	11,5	127	11,3	126	11,1
370	345	149	266	75.6	264	74,5	263	73,4	204	37,8	203	37,3	162	20,7	161	20,5	160	20,3	132	12,1	131	12	130	11,7
380	355	158	273	79,8	271	78,6	270	77,4	209	39,9	208	39,3	166	21,9	165	21,6	165	21,4	135	12,8	135	12.6	133	12,4
390	364	166	280	84	279	82,8	277	81,6	215	42	214	41,4	170	23	170	22,8	169	22,5	139	13,5	138	13.3	37	13
400	373	175	287	88,4	286	87,1	284	85,8	220	44,2	219	43,6	175	24,2	174	24,0	173	23.7	142	14,2	142	14	140	13,7
410	383	184	295	93.4	293	91,5	291	90,3	226	46,5	225	45,8	180	25,4	179	25,2	178	24,9	146	14,9	146	14,7	144	14,4
420	392	193	302	97,4	300	96	298	94.6	231	48,7	230	48,1	184	23,7	183	26,4	182	26,1	149	15.6	149	15,4	147	15,1
430	401	202	309	102	307	101	305	99,1	237	51	235	50,4	183	28	187	27,7	187	27,4	153	16,4	153	15,1	156	15,8

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	529×7		529×6		630×8		630×7		720×9		720×8		720×7		820×9
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек
440	587	538	583	527	413	215	410	211	316	107	314	105	312	104	242
450	601	563	596	551	423	225	420	221	323	112	322	110	320	109	248
460	614	588	609	576	432	235	429	231	330	117	329	115	327	113	253
470	627	614	622	601	442	246	439	242	338	122	336	120	334	118	259
480	641	640	636	627	451	256	448	252	345	127	343	125	341	121	264
490	654	667	649	654	461	251	457	263	352	133	350	131	348	129	270
500	667	695	662	681	470	278	463	273	359	138	357	136	355	134	275
520	694	751	689	736	488	300	485	295	374	149	371	147	369	145	286
540	721	810	715	794	507	324	504	318	388	161	385	159	384	156	297
560	747	871	742	854	526	348	522	342	402	173	400	171	398	168	308
580	774	935	768	916	545	374	541	337	417	185	414	183	412	180	319
600	801	1000	795	980	563	400	560	393	431	199	429	196	426	193	330
620	828	1063	821	1047	582	427	578	420	445	212	443	209	440	206	341
640	854	1138	848	1115	601	455	597	447	460	226	457	223	455	220	352
660					620	484	616	476	474	241	471	237	469	234	363
680					639	513	634	505	488	255	486	252	483	248	374
700					657	544	653	535	503	271	500	267	497	253	385
720					676	576	672	563	517	286	514	282	511	278	396
740					695	608	690	593	532	303	529	298	526	294	407
760					714	641	709	631	545	319	543	314	540	310	418
780					732	676	728	634	560	336	557	331	554	326	429
800					751	711	746	699	575	354	571	348	568	343	440
820					770	747	765	734	589	371	586	365	582	361	451
840					789	783	784	770	603	390	600	384	597	378	462
860					808	821	802	807	618	409	614	403	611	397	473
880					826	860	821	845	632	428	629	421	625	415	484
900					845	899	840	831	647	447	643	441	639	434	495
920					864	940	858	924	661	468	657	461	653	454	506
940					883	981	877	965	675	488	671	481	668	474	517
960					901	1023	896	1005	695	509	685	502	682	494	528

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	820×9	820×8		920×10		920×9		920×8		1020×11		1020×10		1020×8	
G в т/ч	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
440	53,4	241	52,8	192	29,3	191	29	191	23,7	156	17,1	156	16,9	155	16,6
450	55,9	247	55,3	197	30,6	196	30,3	195	30	160	17,9	160	17,7	159	17,4
460	58,4	252	57,7	201	32	200	31,7	199	31,3	163	18,7	163	18,5	162	18,1
470	61	258	60,2	206	33,4	205	33,1	204	32,6	167	19,5	167	19,3	166	18,9
480	63,6	263	62,8	210	34,9	209	34,5	208	34,1	171	20,4	170	20,2	169	19,8
490	66,3	269	65,5	215	36,4	214	36	213	35,5	175	21,2	174	21	173	20,6
500	69	274	68,1	219	37,9	218	37,4	217	37	178	22,1	177	21,9	176	21,4
520	74,6	285	73,7	227	41	226	40,5	225	40	185	23,9	184	23,7	183	23,2
540	80,5	296	79,5	236	44,2	235	43,7	234	43,2	192	25,8	191	25,5	190	25
560	86,6	307	85,4	245	47,5	244	46,9	243	46,4	199	27,7	198	27,4	197	26,9
580	92,9	318	91,7	253	50,9	252	50,4	251	49,8	206	29,8	205	29,4	204	28,8
600	99,4	329	98,1	262	54,5	261	53,9	260	53,3	213	31,8	212	31,3	211	30,9
620	106	340	105	271	58,2	270	57,5	269	56,9	220	34	219	33,6	218	33
640	113	350	112	280	62	278	61,3	277	60,6	227	36,2	227	35,8	225	35,1
650	120	361	119	288	66	287	65,2	286	64,5	295	38,5	234	38,1	232	37,3
680	128	372	126	297	70	296	69,2	295	68,4	242	40,9	241	40,5	239	39,6
700	135	383	134	306	74,2	305	73,4	303	72,5	249	43,3	248	42,9	246	42
720	143	394	141	315	78,5	313	77,6	312	76,7	256	45,8	255	45,4	253	44,4
740	151	405	149	323	82,9	322	82	321	81	263	48,4	262	47,9	260	46,9
760	159	416	157	332	87,5	331	86,5	329	85,5	270	51,1	269	50,6	267	49,5
780	168	427	166	341	92,1	339	91,1	338	90	277	53,8	276	53,2	274	52,2
800	177	438	174	350	97	348	95,8	347	94,7	284	56,6	283	56	281	54,9
820	186	449	183	358	102	357	101	355	99,5	291	59,5	290	58,8	288	57,6
840	19,5	460	192	367	107	365	106	364	104	299	62,4	297	61,8	295	60,5
860	204	471	202	376	112	374	111	373	109	306	65,4	304	64,7	302	63,4
880	214	482	211	385	117	383	116	381	115	313	68,5	312	67,8	309	63,4
900	224	493	221	393	123	392	121	390	120	320	71,6	319	70,9	316	69,4
920	234	504	231	402	128	400	127	399	125	327	74,9	326	74,1	323	72,6
940	244	515	241	411	134	409	132	407	131	334	78,1	333	77,3	330	75,7
960	254	526	251	420	140	418	138	416	136	341	81,5	340	80,7	337	79

Продолжение табл. 9.19

$D_н \times s$ в мм	720×9		720×8		720×7		820×9		820×8		920×10		920×9		920×8		1020×11		1020×10		1020×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м	v в м/сек	Δ h в кгс/м²м
980	704	531	700	523	696	515	539	265	537	262	428	145	426	144	425	142	348	84,9	347	84,1	344	82,3
1000	718	552	714	544	710	536	550	276	548	272	437	151	435	150	433	148	355	88,4	354	87,5	351	85,7
1020	733	575	729	566	724	558	561	287	559	283	446	157	444	155	441	154	362	92	361	91	3 8	89,2
1040	747	597	743	589	739	580	572	299	570	295	455	163	453	162	451	160	370	95,6	369	94,6	3 6	92,9
1060	761	621	757	612	753	603	583	310	580	306	463	170	461	169	459	166	376	99,5	375	98,4	3 2	96,3
1080	776	644	771	635	767	626	594	3_2	591	318	472	176	470	175	4 8	173	384	103	383	102	380	100
1100	790	668	786	659	781	649	605	334	602	330	481	183	479	181	476	179	391	107	389	106	386	104
1150	826	731	821	720	817	709	633	365	630	350	503	200	500	198	498	196	409	117	407	116	404	113
1200	862	795	857	784	852	772	650	397	657	39_	524	218	522	216	520	213	427	127	425	126	421	123
1250	898	863	893	850	888	838	688	431	685	426	546	237	544	234	541	231	444	138	443	137	439	134
1300	934	934	929	920	923	906	715	465	712	460	568	256	566	253	563	250	462	149	460	148	457	145
1350	970	1006	964	992	959	977	743	503	739	497	590	276	587	273	585	270	480	161	478	160	474	156
1400	1010	1083	1000	1067	994	1051	771	541	767	534	612	297	609	293	606	290	498	173	496	172	492	168
1450							798	580	794	573	634	318	631	315	628	311	515	186	513	184	509	180
1500							826	621	821	613	656	341	653	337	650	333	533	199	531	197	527	193
1550							853	663	849	655	677	354	674	350	671	356	551	212	549	210	544	206
1600							881	707	876	698	699	388	696	383	693	379	5 9	226	566	224	5 2	219
1650							908	752	904	742	721	412	718	408	715	403	585	241	584	238	579	233
1700							936	798	931	787	743	438	740	433	736	428	604	256	602	253	597	248
1750							963	845	958	834	765	464	761	458	758	453	622	271	620	2 8	615	263
1800							991	894	985	883	787	491	783	485	780	479	640	287	637	281	632	2 8
1850							1018	945	1013	933	809	518	805	512	801	507	658	303	655	3 0	650	293
1900							1046	996	1041	984	830	547	827	540	823	534	675	319	673	316	667	309
1950							1073	1050	1068	1036	852	576	848	569	845	563	693	336	690	333	685	326
2000							1101	1104	1095	1090	874	606	870	599	866	592	711	354	708	350	702	343
2100											918	668	914	660	910	653	743	390	743	386	737	378
2200											961	733	957	725	953	716	782	428	779	424	773	415
2300											1005	801	1001	792	99	783	817	468	814	4 3	808	453
2400											1049	872	1044	862	1040	852	853	509	850	504	843	494
2500											1093	947	1088	936	1083	925	889	553	885	547	878	536

Примечание к табл. 9.19 и 9.24. Жирной линией обозначена граница между переходной и квадратичной областью.

Эквивалентные длины местных сопротивлений

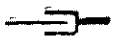
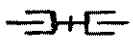
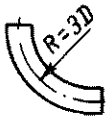
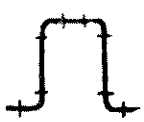
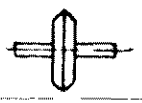
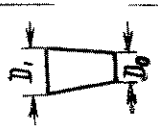
Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений $l_э$									
		32	33,5	38	42,3	44,5	45	48	57	60	75,5
Задвижка[1]		—	—	—	—	—	—	—	0,88	0,97	1,33
Вентиль: с вертикальным шпинделем		7,1	7.5	8,2	9,4	10.4	10,5	10,9	11,4	11,7	12
„ косым „		0,79	0,75	0.87	0,94	0,98	1,02	1,02	1,23	1,26	1,73
Обратный клапан: поворотный („захлопка")		1,03	1,08	1,33	1,52	1,69	1,7	1,82	2,29	2,72	3,72
подъемный		5,5	5,8	7 1	8,2	9,1	9,2	9,8	12,3	13,6	18.6
Сальниковый компенсатор: односторонний		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
двусторонний		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Грязевик промывочный		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Отводы сварные одношовные с углом: 30°		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45°		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60°		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90°		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Отводы сварные под углом 90°: двухшовные, $R = 1D$		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
трехшовные, $R = 1{,}5D$		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
четырехшовные, $R = 1D$		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 9.20

при $k_э$=0,2 *мм* для труб $D_у$=25 — 400 *мм*

при наружных диаметрах труб в *мм*																
76	88,5	89	101,3	108	114	133	140	152	159	165	194	219	273	325	377	426
1,33	1,65	1,67	1,97	2,12	2,3	2,32	2,4	2,68	2,76	3,02	3,66	4,2	4,2	5,2	6,3	7,36
12,5	13,2	13,3	15,7	17,4	18,8	23,8	25,2	28,8	30,4	34	42	49,3	—	—	—	—
1,73	1,98	2	2,07	2,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,72 18,6	4,6 23,1	4,64 23,3	5,9 27,5	6,36 29,7	6,86 32	9,05 39,8	9,6 42	11,4 47	11,7 48,3	12,9 53	16,5 64	20 73,5	28 —	36,5 —	46 —	57,2 —
—	—	—	—	0,85	0,92	1,13	1,8	2,01	2,07	2,26	2,74	3,15	4,2	5,2	6,3	12,5
—	—	—	—	2,55	2,75	3,4	3,6	4,02	4,14	4,53	5,5	6,3	8,4	10,4	12,6	15
—	—	—	—	—	—	—	—	67	69	75,5	91,5	105	140	174	209	249
—	—	—	—	—	—	—	—	1,34	1,38	1,51	1,83	2,1	2,8	3,48	4,2	5
—	—	—	—	—	—	—	—	2,01	2,07	2,26	2,74	3,15	4,2	5,2	6,3	7,46
—	—	—	—	—	—	—	—	4,7	4,83	5,3	6,4	7,35	9,8	12,2	14,6	17,5
—	—	—	—	—	—	—	—	8,7	9	9,8	11,9	13,7	18,2	22,6	27,2	32,4
—	—	—	—	—	—	—	—	4,7	4 83	5,3	6,4	7,35	9,8	12,2	14,6	17,5
—	—	—	—	—	—	—	—	4,02	4,14	4,53	5,5	6,3	8,4	10,4	12,6	15
—	—	—	—	—	—	—	—	4,02	4,14	4,53	5,5	6,3	8,4	10,4	12,6	15

Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений $l_э$									
		32	33,5	38	42,3	44,5	45	48	57	60	75,5
Отводы крутоизогнутые, $R = 1,5D \div 2D$		0,4	0,42	0,51	0,59	0,65	0,66	0,7	0,88	0,97	1,33
Отводы гнутые гладкие:											
$R = 3D$		0,32	0,33	0,41	0,47	0,52	0,52	0,56	0,7	0,78	1,06
$R \geqslant 4D$		0,24	0,25	0,31	0,35	0,39	0,39	0,42	0,53	0,58	0,8
Компенсаторы П-образные со сварными трехшовными отводами, $R = 1,5D$		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Компенсаторы П-образные с крутоизогнутыми отводами.											
$R = 1,5D$		5,1	5,2	5,6	6	6,5	6,6	6,7	8,1	8,5	10,5
$R = 2D$											
Компенсаторы П-образные с гнутыми гладкими отводами:											
$R = 3D$		3,9	3,9	4,2	4,5	4,7	4,7	4,8	6	6,3	7,9
$R \geqslant 4D$		3,4	3,4	3,6	3,8	3,9	3,9	4	4,9	5,1	6
Компенсатор однолинзовый:											
без рубашки[2]		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
с рубашкой		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тройник при разделении потока:											
проход[3]		0,79	0,83	1,02	1,17	1,3	1,31	1,4	1,76	1,94	2,66
ответвление		1,19	1,25	1,53	1,75	1,95	1,97	2,1	2,64	2,91	4
Тройник при слиянии потока:											
проход[3]		1,19	1,25	1,53	1,75	1,95	1,97	2,1	2,64	2,91	4
ответвление		1,58	1,66	2,04	2,34	2,6	2,62	2,8	3,52	3,88	5,32
Тройники:											
при расходящемся потоке		1,58	,66	2,04	2,34	2,6	2,62	2,8	3,52	3,88	5,32
„ встречном „		2,37	2,49	3,06	3,51	3,9	3,93	4,2	5,28	5,82	8
Переходы сварные (по МН 2883—62)											
$F_1/F_0 = 2$		—	—	—	0,12	0,13	0,13	0,14	0,18	0,19	0,27
$F_1/F_0 =$		—	—	—	0,18	0,2	0,2	0,21	0,26	0,29	0,4
$F_1/F_0 = 4$		—	—	—	0,23	0,26	0,26	0,28	0,35	0,39	0,53

Примечание. См. сноски к табл. 9-12.

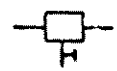
Продолжение табл. 9.20

при наружных диаметрах труб в *мм*

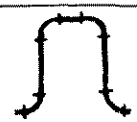
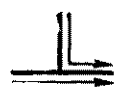
76	88,5	89	101,3	108	114	133	140	152	159	165	194	219	273	325	377	426
1,33	1,65	1,67	1,97	2,12	2,3	2,82	3	3,35	3,45	3,78	4,6	5,25	7	8,7	10,5	12,5
1,06 0,8	1 3 0,99	1,33 1	1,57 1,18	1,7 1,27	1,83 1,37	2,26 1,7	2,4 1,8	2,68 2,01	2,76 2,07	3,02 2,26	3,66 2,74	4,2 3,15	5,6 4,2	6,95 5,2	8,4 6,3	9,95 7,46
—	—	—	—	—	—	—	—	23,5	24	25,5	30,8	34,6	44,6	53,2	63,4	74,2
10,5	12,8	12,9	14,1	14,9	15,6	19,4	19,5	20,8	21,2	22,5	27,2	30,4	40	46,2	55	64,2
7,9 6	9,3 7,4	9,4 7,4	10,4 8,1	10,8 8,3	11,3 8,7	13,2 10	13,8 10,4	15,3 11,4	15,6 11,7	16,7 12,4	20 15	22 16,2	28 20,4	33 24	39 28	45,2 32
— —	— —	— —	— —	7,2 0,42	7,8 0,46	9,6 0,56	10,2 0,6	10,3 0,67	10,4 0,69	11,3 0,76	12,8 0,92	13,7 1,05	16,8 1,4	17,4 1,74	18,8 2,09	19,9 2,49
2,66 4	3,3 4,95	3,33 5	3,93 5,9	4,24 6,36	4,57 6,86	5,65 8,5	6 9	6,7 10	6,9 10,4	7,55 11,3	9,15 13,7	10,5 15,8	14 21	17,4 26,1	20, 3	24,9 37,3
4 5,32	4,95 6,6	5 6,66	5,9 7,86	6,36 8,5	6,86 9,15	8,5 11,3	9 12	10 13,4	10,4 13,8	11 3 15,1	13,7 18,3	15,8 21	21 28	26,1 34,8	31,4 41,8	37,3 49,8
5,32	6,6	6,66	7,86	8,5	9,15	11,3	12	13,4	13,8	15,1	18,3	21	28	34,8	41,8	49,8
8	9,9	10	11,8	12,7	13,7	17	18	20,1	20,7	22,6	27,4	31,5	42	52	62,7	74,6
0,27 0,4 0,53	0,33 0,5 0,66	0,33 0,5 0,67	0,39 1,18 1,97	0,42 1,27 2,12	0,46 1,37 2,3	0,56 1,7 2,82	0,6 1,8 3	0,67 2,01 3,35	0,69 2,07 3,45	0,76 2,26 3,78	0,92 2,74 4,6	1,05 3,15 5,25	1 4 4,2 7	1,74 5,2 8,7	2,09 6,3 10,5	2,49 7,46 12,5

Таблица 9.21

Эквивалентные длины местных сопротивлений при $k_э$=0,2 мм для труб $D_у$=450÷1200 мм

Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений $l_э$ при наружных диаметрах труб в мм							
		478	529	630	720	820	920	1020	1220
Задвижка[1]		5,8	6,5	6,9	7,4	7,8	8,3	8,7	9,2
Обратный клапан поворотный („захлопка")		69 6	81,7	110	138,5	162	194	219	274,5
Сальниковый компенсатор односторонний		14,5	16,4	20,3	23,9	28	32,3	36,5	45,6
двусторонний		17,4	19,6	24,4	28,6	33,5	38,7	43,8	54,9
Грязевик промывочный		290	327	406	477	558	645	730	915
Отводы сварные одношовные с углом 30°		5,8	6,5	8,1	9,5	11,2	12,9	14,6	18,3
45°		8,7	9,8	12,2	14,3	16,8	19,4	21,9	27,4
60°		20,3	22,9	28,4	33,4	39,1	45,2	51,1	64
90°		37,7	42,5	52,7	62	72,5	83,8	95	119
Отводы сварные с углом 90° двухшовные, $R=1D$		20,3	22,9	28,4	33,4	39,1	45,2	51,1	64
трехшовные, $R=1D$		20,3	22,9	28,4	33,4	39,1	45,2	51,1	64
трехшовные, $R=1,5D$		17,4	19,6	24,4	28,6	33,5	38,7	43,8	54,9

Продолжение табл. 9.21

Наименование местных сопротивлений	Эскизы	Эквивалентные длины местных сопротивлений $l_э$ при наружных диаметрах труб в *мм*							
		478	529	630	720	820	920	1020	1220
четырехшовные, $R = 1D$		17,4	19,6	24,4	28,6	33,5	38,7	43,8	54,9
Отводы крутоизогнутые $R = 1D$; $R = 1,5D$		14,5	16,4	20,3	23,9	28	32,3	36,5	45,6
Компенсаторы П-образные со сварными трехшовными отводами:									
$R = 1D$		105	119	142	164	209	214	238	290
$R = 1,5D$		92	103	124	142	162	184	205	250
Компенсаторы П-образные с крутоизогнутыми отводами $R = 1D$; $R = 1,5D$		86	93	110	126	144	162	180	216
Компенсатор однолинзовый:									
без рубашки[2]		20,3	21,2	24,4	27,7	30,2	32,3	36,5	45,6
с рубашкой		2,9	3,3	4,1	4,8	5,6	6,5	7,3	9,2
Тройник при разделении потока:									
проход[3]		29	32,7	40,6	47,7	55,8	64,5	73	91,5
ответвление		43,5	49	60,9	71,6	83,7	96,7	109,5	137
Тройник при слиянии потока:									
проход[3]		43,5	49	60,9	71,6	83,7	96,7	110	137
ответвление		58	65,4	81	95,5	112	129	146	183
Тройники: при расходящемся потоке		58	65,4	81	95,5	112	129	146	183
„ встречном „		87	98	122	143	168	194	219	274
Переходы сварные (МН 2883—62):[4]									
$F_1/F_0 = 2$		2,9	3,3	4,1	4,8	5,6	6,5	7,3	9,2
$F_1/F_0 = 3$		5,8	6,5	8,1	9,5	11,2	12,9	14,6	18,3
$F_1/F_0 = 4$		8,7	9,8	12,2	14,3	16,8	19,4	21,9	27,4

Примечание. См. сноски к табл. 9.12.

Форма таблицы для гидравлического расчета

№ участков	Расход пара G в *т/ч*	Характеристика трубы		Длина участка трубопровода в *м*			Начало участка		При $\gamma = 1$ *кгс/м³*	
		условный проход $D_у$ в *мм*	наружный диаметр в *мм* × толщина стенки трубы $D_н \times s$ в *мм*	по плану l	эквивалентная местным сопротивлениям $l_э$	приведенная $l_{пр}$	давление $P_н$ в *кгс/см²*	удельный вес $\gamma_н$ в *кгс/м³*	скорость v в *м/сек*	удельная потеря давления на трение Δh в *кгс/м²м*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Форма таблицы и пример гидравлического расчета

№ участков	Расход пара G в *т/ч*	Характеристика трубы		Длина участка трубопровода в *м*			Начало участка			При $\gamma = 1$ *кгс/м³*	
		условный проход $D_у$ в *мм*	наружный диаметр в *мм* × толщина стенки трубы в *мм* $D_н \times s$	по плану l	эквивалентная местным сопротивлениям $l_э$	приведенная $l_{пр}$	давление $P_н$ в *кгс/см²*	температура $t_н$ в *град*	удельный вес $\gamma_н$ в *кгс/м³*	скорость v в *м/сек*	удельная потеря давления на трение Δh в *кгс/м²м*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
										Основная расчетная	
ТЭЦ-1	45	300	325×8	1000	800	1800	13	300	4,98	167	81,1
1-А	25	250	273×7	400	320	720	9,67	284,8	3,79	132	63,1
										Ответв.	
1—В	20	250	273×7	600	480	1080	9,67	284,8	3,79	106	40,4

Значения $\gamma_{ср}$ определяют по формуле (9.32).

При заданной удельной потере давления на трение $\Delta h_д$ или скорости пара $v_д$ для пользования номограммами или таблицами их значения пересчитываются по формулам:

$$\Delta h = \Delta h_д \gamma_{ср} \text{ кгс/м}^2 \text{ м}; \quad (9.39)$$

$$v = v_д \gamma_{ср} \text{ м/сек}. \quad (9.40)$$

Для гидравлического расчета паропроводов составляют расчетную схему паропровода (см. рис. 9.12).

Расчетным участком считается участок между двумя ближайшими ответвлениями. При расчете паропроводов большой протяженности или паропроводов с небольшим количеством ответвлений длину расчетного участка принимают равной от 300 до 500 *м*. При большом перегреве пара длину расчетного участка можно увеличить до 1000 *м*.

В первую очередь производят расчет основной расчетной магистрали, для которой величина располагаемой удельной потери давления на трение $\Delta h^р$, определенная по формуле (9.35), имеет наименьшее значение, а затем рассчитывают ответвления.

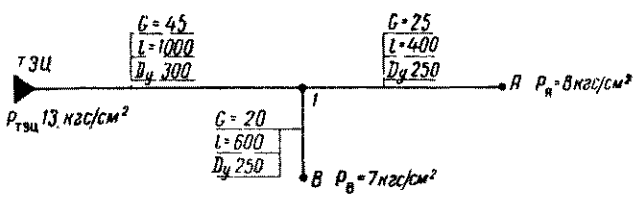


Рис. 9.12. Расчетная схема паропроводов

G — расход пара в *т/ч*; l — длина расчетного участка в *м*, $D_у$ — условный проход трубопровода в *мм*

Паропроводы рассчитывают методом подбора.

Предварительно задаются средней температурой и средним удельным весом пара на участке, и для выбранного диаметра трубопровода определяют конечные параметры пара. Если при этом средний удельный вес пара и средняя температура на участке отличаются от

Таблица 9.22

трубопроводов насыщенного пара

Предполагаемый средний удельный вес $\gamma_{ср}$ в *кгс/м³*	При $\gamma_{ср}$ *кгс/м³*: скорость $v_д = \frac{v}{\gamma_{ср}}$ в *м/сек*	потеря давления: удельная $\Delta h_д = \frac{\Delta h}{\gamma_{ср}}$ в *кгс/м²м*	на участке $\Delta H = \Delta h_д \, l_{пр}$ в *кгс/м²*	Конец участка: давление $P_к$ в *кгс/см²*	удельный вес $\gamma_к$ в *кгс/м³*	Средний удельный вес пара $\gamma_{ср}$ в *кгс/м³*	Суммарная потеря давления от ТЭЦ $H = \Sigma\Delta H \cdot 10^{-4}$ в *кгс/см²*
12	13	14	15	16	17	18	19

Таблица 9.23

трубопроводов перегретого пара

Предполагаемый средний удельный вес $\gamma_{ср}$ в *кгс/м³*	При $\gamma_{ср}$ в *кгс/м³*: скорость $v_д = \frac{v}{\gamma_{ср}}$ в *м/сек*	потеря давления: удельная $\Delta h_д = \frac{\Delta h}{\gamma_{ср}}$ в *кгс/м² м*	на участке $\Delta H = \Delta h_д \times l_{пр}$ в *кгс/м²*	Потеря тепла: удельная $q_{уд}$ в *ккал/м ч град*	суммарная Q в *ккал/ч*	Падение температуры Δt в *град*	Конец участка: давление $P_к$ в *кгс/см²*	температура $t_к$ в *град*	удельный вес $\gamma_к$ в *кгс/м³*	Средний удельный вес $\gamma_{ср}$ в *кгс/м³*	Суммарная потеря давления от ТЭЦ $H = \Sigma\Delta H \times 10^{-4}$ в *кгс/см²*
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
магистраль											
4,4	37,2	18,5	33300	1,14	356	15,2	9,67	284,8	3,79	4,39	3,33
3,57	37	17,7	12700	1,03	124	9,7	8,4	275,1	3,34	3,57	4,6
ление											
3,64	29,1	11,1	12000	1,03	183	18	8,47	266,8	3,48	3,64	4,53

принятых предварительно, последние следует уточнить и повторять расчет и уточнение до тех пор, пока предварительно принятые параметры не совпадут с расчетными. При этих параметрах и определяются потери давления и температуры пара на участке.

Гидравлический расчет паропроводов производят по формам, отражающим специфику расчета трубопроводов насыщенного пара (табл. 9.22) и перегретого пара (табл. 9.23).

Пример гидравлического расчета паропровода перегретого пара для схемы рис. 9.12 приведен в табл. 9.23.

9.6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ

Гидравлический расчет напорных конденсатопроводов можно производить по табл. 9.24 и номограммам рис. 9.13 и 9.14.

При составлении таблиц и номограмм для напорных конденсатопроводов приняты: температура конденсата $t = 100°$ С, удельный вес конденсата $\gamma = 958{,}4$ *кгс/м³* эквивалентная шероховатость $k_э = 1$ *мм* и кинематическая вязкость $\nu = 0{,}295 \cdot 10^{-6}$ *м²/сек*. При значениях эквивалентных шероховатостей и внутренних диаметров труб, отличающихся от принятых при составлении таблиц и номограмм, величины Δh, v и $l_э$, полученные по таблицам или номограммам, пересчитывают по формулам (9.23)—(9.26), (9.29)—(9.31).

При гидравлических расчетах напорных конденсатопроводов удельные потери давления на трение принимают до 10 *кгс/м² м*.

Гидравлический расчет напорных конденсатопроводов производят аналогично гидравлическому расчету водяных тепловых сетей.

Гидравлический расчет сборных конденсатопроводов производят по табл. 9.24 или по номограммам рис. 9.13 и 9.14, при этом полученные значения потери давления на трение и скорости умножают на коэффициент φ:

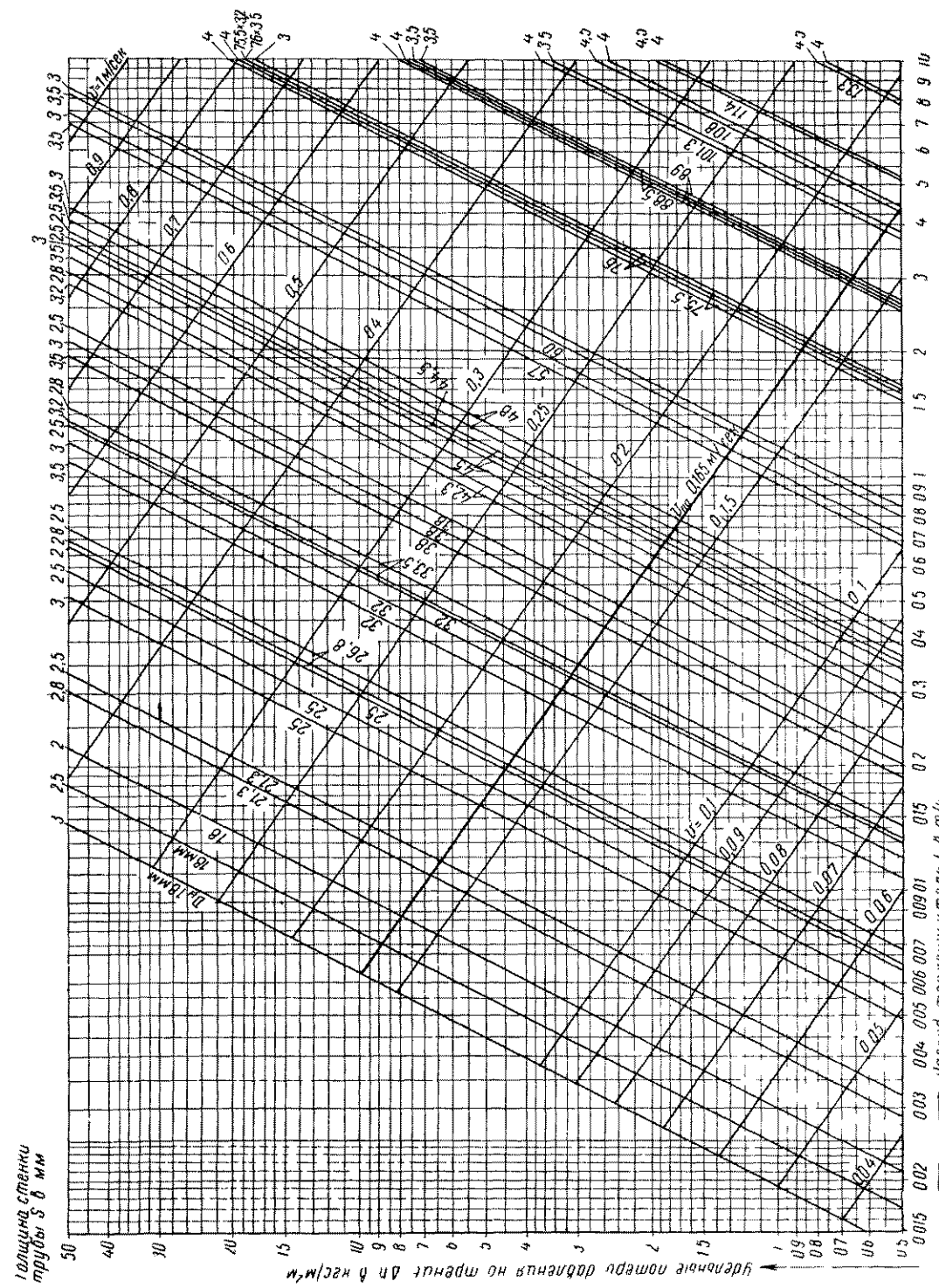


Рис. 9.13. Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов при $k_э = 1$ *мм* и $\gamma = 958$ *кгс/м³* при расходе теплоносителя от 0,015 до 10 *т/ч*

Жирной линией обозначена предельная скорость $v_{пр} = 0{,}165$ *м/сек*, соответствующая границе между переходной и квадратичной областью

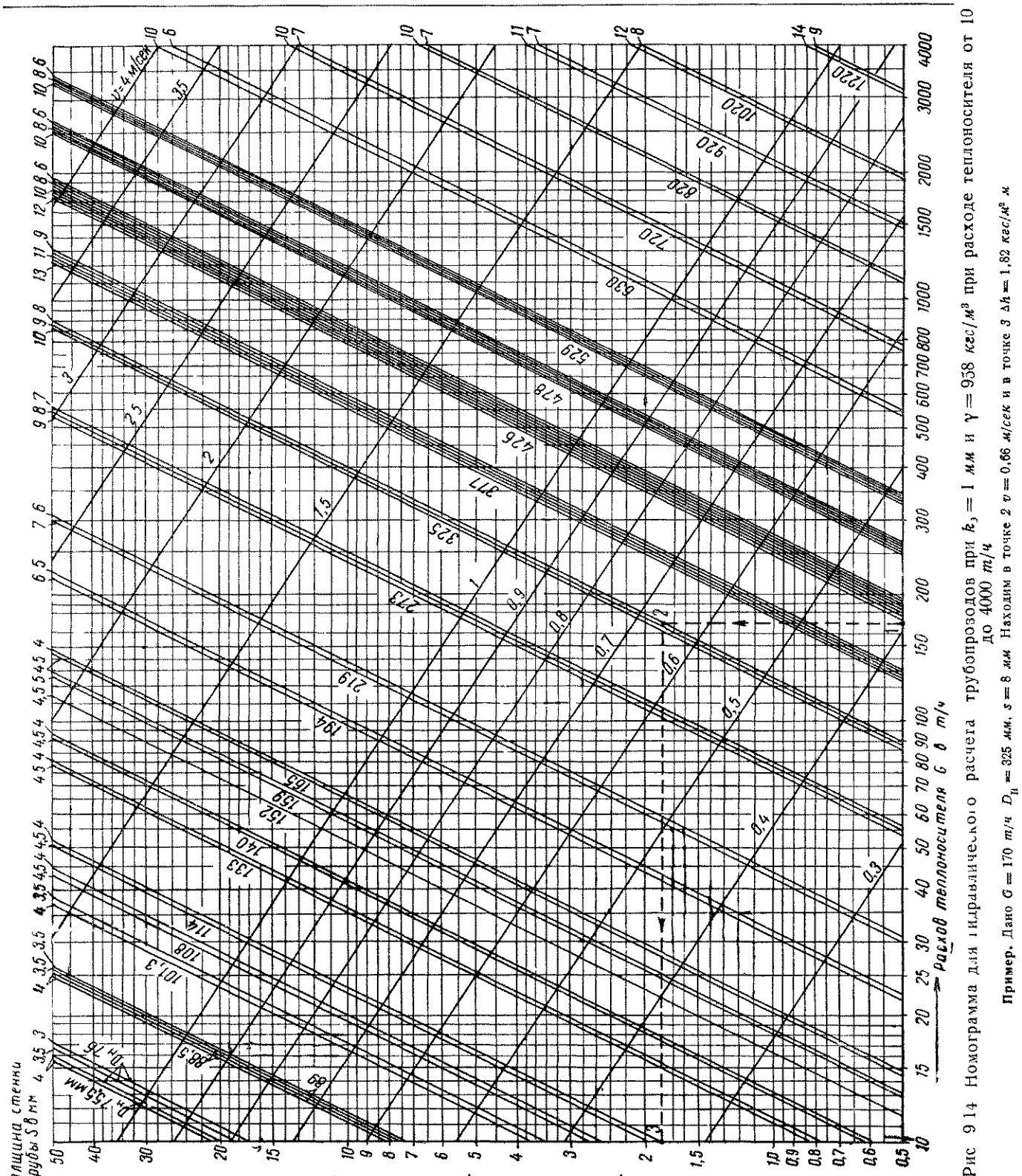


Рис. 9.14. Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов при $k_э = 1$ мм и $\gamma = 958$ кгс/м³ при расходе теплоносителя от 10 до 4000 т/ч

Пример. Дано $G = 170$ т/ч $D_н = 325$ мм, $s = 8$ мм. Находим в точке 2 $v = 0{,}66$ м/сек и в точке 3 $\Delta h = 1{,}82$ кгс/м² м

Таблица 9.24

Таблица для гидравлического расчета конденсаторопроводов при $k_э = 1$ мм, $\gamma = 958{,}4$ кгс/м³

$D_н \times s$ в мм	32×2,5		38×2,5		44,5×2,5		45×2,5		57×3,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
0,2	0,1	1,2								
0,22	0,11	1,48								
0,24	0,12	1,76								
0,26	0,13	2,04								
0,28	0,14	2,35								
0,3	0,15	2,7	0,1	0,91						
0,32	0,16	3,05	0,11	1,05						
0,34	0,17	3,35	0,12	1,17						
0,36	0,18	3,75	0,12	1,33						
0,38	0,19	4,18	0,13	1,46						
0,4	0,2	4,63	0,14	1,59	0,096	0,64	0,092	0,58		
0,42	0,21	5,11	0,14	1 78	0,1	0,69	0,097	0,64		
0,44	0,22	5,61	0,15	1,93	0,1	0,76	0,10	0 71		
0,46	0,23	6,13	0,16	1,07	0,11	0,84	0,11	0,77		
0,48	0,24	6,67	0,16	2,25	0,11	0,91	0,11	0,84		
0,5	0,25	7,24	0,17	2,44	0,12	0,96	0,12	0,89		
0,55	0,28	8,76	0,19	2,95	0,13	1,14	0,13	1,07		
0,6	0,3	10,4	0,2	3,51	0,14	1,36	0,14	1,26		
0,65	0,33	12,2	0,22	4,12	0,15	1,53	0,15	1,46		
0,7	0,35	14,2	0,24	4,77	0,17	1,81	0,16	1,69	0,1	0,53
0,75	0,38	16,3	0,25	5,48	0,18	2 07	0,17	1,94	0,11	0,61
0,8	0,41	18,5	0,27	6,24	0,19	2,36	0,18	2,2	0,12	0,7
0,85	0,43	20,9	0,29	7,04	0,2	2,66	0,20	2,49	0,13	0,77
0,9	0,46	23,5	0,31	7,9	0,21	2,99	0,21	2,79	0,13	0,87
0,95	0,48	26,1	0,32	8,8	0,24	3,33	0,22	3.11	0,14	0,97
1	0,51	29	0,34	9,75	0,24	3,69	0,23	3,44	0,15	1,06
1,05	0,53	31,9	0,36	10,7	0,25	4,06	0,24	3,8	0,16	1,16
1,1	0,56	35	0,37	11,8	0,26	4,46	0,25	4,17	0,16	1,26
1,15	0,58	38,3	0,39	12,9	0,27	4,88	0,27	4,56	0,17	1,37
1,2	0,61	41,7	0,41	14	0,28	5,3	0,28	4,96	0,18	1,49

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	38×2,5		44.5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5		89×3,5	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
1,25	0,42	15,2	0,3	5,76	0,29	5,38	0,18	1,62				
1,3	0,44	16,5	0,31	6,23	0,3	5,82	0,19	1,75				
1,35	0,46	17,8	0,32	6,72	0,31	6,28	0,2	1,89				
1,4	0,47	19,1	0,33	7,23	0,32	6,75	0,21	2,03				
1,45	0,49	20,5	0,34	7,75	0,33	7,24	0,21	2,17				
1.5	0,51	21,9	0,36	8,3	0,35	7,75	0,22	2,33	0,12	0,43		
1,55	0,53	23,4	0,37	8,86	0,36	8,28	0,23	2,49	0,12	0,47		
1,6	0,54	25	0,38	9,44	0,37	8,82	0,24	2,65	0,12	0,5		
1,65	0,56	26,5	0,39	10	0,38	9,38	0,24	2,82	0,13	0,52		
1 7	0,58	28,2	0,4	10,7	0,39	9,96	0,25	2,99	0,13	0,55		
1,75	0 59	29,9	0,41	11,3	0,4	10,5	0,26	3,17	0,14	0,58		
1,8	0,61	31.6	0,43	11,9	0,42	11,2	0,27	3,35	0,14	0,62		
1,85	0,63	33,4	0,44	12,6	0,43	11,8	0,27	3,54	0,14	0,65		
1,9	0,64	35,2	0,45	13,3	0,44	12,4	0,28	3,73	0,15	0,38		
1,95	0,66	37,1	0,46	14	0,45	13,1	0,29	3,93	0,15	0,72		
2	0,68	39	0,47	14,7	0,46	13,8	0,3	4,14	0,16	0,75	0,11	0,3
2,1	0,71	43	0,5	16,3	0,48	15,2	0,31	4,56	0,16	0,81	0,12	0,33
2,2	0,75	47,2	0,52	17,8	0,51	16,7	0,33	5	0,17	0,89	0,12	0,36
2,3	0,78	51,6	0,54	19,5	0,53	18,2	0,34	5 47	0,18	0,97	0,13	0,39
2,4	0,81	56,2	0,57	21,2	0,55	19,8	0,35	5,96	0,19	1,06	0,13	0,43
2,5	0,85	60,9	0 59	23	0 58	21,5	0,37	6,47	0,19	1,15	0,14	0,46
2,6	0,88	65,9	0,62	24 9	0,6	23,3	0,38	6,99	0,2	1,24	0,14	0,5
2,7	0,92	71,1	0,64	26,9	0,62	25,1	0,4	7,54	0,21	1,34	0,15	0,54
2,8	0,95	76,4	0,66	28,9	0,65	27	0,41	8,11	0,22	1,44	0,15	0,58
2,9	0,98	82	0,69	31	0,17	29	0,43	8,7	0,22	1,54	0,16	0,62
3	1	87,7	0,71	33,2	0,39	31	0,44	9,31	0,23	1,55	0,16	0 66
3,1	1,05	93.7	0,73	35,4	0,72	33,1	0,46	9,94	0,24	1,76	0,17	0,7
3,2	1,09	99,8	0,76	37,8	0,74	35,3	0,47	10,6	0,25	1,88	0,18	0,75
3,3	1,12	106,2	0,78	40,2	0,76	37,5	0,49	11,3	0,26	2	0,18	0,79
3,4	1,15	112,7	0,8	42,6	0,78	39,8	0,5	12	0,26	2,12	0,19	0,84

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	44,5×2,5		45×2,5		57×3,5		76×3,5		89×3,5		108×4		133×4	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
3,5	0,85	47,8	0,81	42,2	0,52	12,7	0,27	2,25	0,19	0,89	0,13	0,33		
3,6	0,88	50,5	0,83	44,6	0,53	13,4	0,28	2,38	0,2	0,94	0,13	0,35		
3,7	0,9	53,2	0,85	47,2	0,55	14,2	0,29	2,51	0,2	1	0,14	0,36		
3,8	0,92	56,1	0,88	49,7	0,56	14,9	0,29	2,65	0,21	1,05	0,14	0,37		
3,9	0,92	56,1	0,9	52,4	0,58	15,7	0,3	2,8	0,21	1,11	0,14	0,39		
4	0,95	59	0,92	55,1	0,6	16,6	0,31	2,93	0,22	1,16	0,15	0,41	0,09	0,13
4,2	0,99	65	0,97	60,8	0,62	18,2	0,33	3,23	0,23	1,28	0,16	0,45	0,1	0,14
4,4	1,04	71,4	1,02	66,7	0,65	20	0,34	3,55	0,24	1,41	0,16	0,49	0,1	0,16
4,6	1,09	78,1	1,06	72,9	0,68	21,9	0,36	3,88	0,25	1,54	0,17	0,53	0,11	0,17
4,8	1,14	84,9	1,11	79,4	0,71	23,8	0,37	4,23	0,26	1,68	0,18	0,58	0,11	0,18
5	1,18	92,1	1,15	86,1	0,74	25,9	0,39	4,58	0,27	1,82	0,18	0,63	0,12	0,2
5,2	1,23	99,7	1,2	93,1	0,77	28	0,41	4,96	0,29	1,97	0,19	0,68	0,12	0,22
5,4	1,28	107,3	1,25	100,5	0,8	30,2	0,42	5,35	0,3	2,12	0,2	0,73	0,13	0,23
5,6					0,83	32,4	0,43	5,75	0,31	2,28	0,21	0,79	0,13	0,25
5,8					0,86	34,8	0,45	6,17	0,32	2,45	0,21	0,85	0,14	0,26
6					0,89	37,2	0,47	6,6	0,33	2,61	0,22	0,91	0,14	0,28
6,2					0,92	39,8	0,48	7,05	0,34	2,8	0,23	0,97	0,15	0,3
6,4					0,95	42,4	0,5	7,51	0,35	2,98	0,24	1,03	0,15	0,32
6,6					0,98	45,1	0,51	7,99	0,36	3,17	0,24	1,1	0,16	0,34
6,8					1	47,8	0,53	8,48	0,37	3,36	0,25	1,17	0,16	0,36
7					1,03	50,7	0,54	8,99	0,38	3,57	0,26	1,23	0,17	0,38
7,5					1,11	58,2	0,58	10,3	0,41	4,09	0,28	1,42	0,18	0,43
8					1,18	66,2	0,62	11,7	0,44	4,66	0,3	1,61	0,19	0,49
8,5					1,26	74,7	0,66	13,2	0,47	5,26	0,31	1,82	0,2	0,55
9					1,33	83,8	0,7	14,9	0,49	5,89	0,33	2,04	0,21	0,62
9,5					1,4	93,4	0,74	16,5	0,52	6,57	0,35	2,27	0,22	0,69
10					1,48	103,4	0,78	18,3	0,55	7,28	0,37	2,52	0,24	0,77
10,5							0,81	20,2	0,58	8,02	0,39	2,78	0,25	0,85
11							0,85	22,2	0,6	8,8	0,41	3,05	0,26	0,93
11,5							0,89	24,3	0,63	9,62	0,42	3,33	0,27	1,01

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	76×3,5		89×3,5		108×4		133×4		152×4,5		159×4,5		194×6		194×5		219×7		219×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
12	0,97	28,7	0,66	10,5	0,44	3,63	0,28	1,1	0,22	0,54	0,2	0,42								
12,5	1,01	31	0,69	11,4	0,46	3,94	0,3	1,2	0,23	0,59	0,21	0,45								
13	1,05	33,4	0,71	12,3	0,48	4,26	0,31	1,3	0,23	0,63	0,21	0,49								
13,5	1,09	35,9	0,74	13,3	0,5	4,59	0,32	1,4	0,24	0,68	0,22	0,53								
14	1,12	38,6	0,77	14,3	0,52	4,94	0,33	1,5	0,25	0,73	0,23	0,57								
14,5	1,16	41,3	0,8	15,3	0,54	5,3	0,34	1,61	0,26	0,79	0,24	0,61								
15	1,16	41,3	0,82	16,4	0,55	5,67	0,35	1,73	0,27	0,84	0,25	0,65	0,17	0,23						
16	1,24	46,9	0,88	18,6	0,59	6,45	0,38	1,96	0,29	0,96	0,26	0,74	0,18	0,27	0,17	0,25				
17	1,32	53	0,93	21	0,63	7,28	0,4	2,22	0,31	1,08	0,28	0,84	0,19	0,3	0,19	0,28				
18	1,4	59,4	0,99	23,6	0,66	8,16	0,43	2,48	0,33	1,21	0,3	0,94	0,2	0,34	0,2	0,32				
19	1,47	66,2	1,04	26,3	0,7	9,1	0,45	2,77	0,34	1,35	0,31	1,05	0,21	0,38	0,21	0,35	0,17	0,2		
20	1,55	73,4	1,1	29,1	0,74	10,1	0,47	3,07	0,36	1,5	0,33	1,16	0,22	0,42	0,22	0,39	0,18	0,22	0,17	0,21
21	1,63	80,9	1,15	32,1	0,78	11,1	0,5	3,38	0,38	1,65	0,34	1,28	0,23	0,46	0,23	0,43	0,18	0,24	0,18	0,23
22	1,71	88,8	1,21	35,2	0,81	12,2	0,52	3,71	0,4	1,81	0,36	1,41	0,25	0,5	0,24	0,48	0,19	0,27	0,19	0,25
23	1,78	97	1,26	38,5	0,85	13,3	0,54	4,06	0,42	1,98	0,38	1,54	0,26	0,55	0,25	0,52	0,2	0,29	0,2	0,28
24	1,86	105,6	1,32	41,9	0,89	14,5	0,57	4,42	0,43	2,16	0,39	1,67	0,27	0,6	0,26	0,57	0,21	0,32	0,21	0,3
25			1,37	45,5	0,92	15,7	0,59	4,79	0,45	2,34	0,41	1,82	0,28	0,65	0,27	0,61	0,22	0,35	0,22	0,33
26			1,43	49,2	0,96	17,0	0,61	5,18	0,47	2,53	0,43	1,96	0,29	0,7	0,28	0,66	0,23	0,37	0,22	0,36
27			1,48	53	1	18,4	0,64	5,59	0,49	2,73	0,44	2,12	0,3	0,76	0,29	0,72	0,24	0,4	0,23	0,38
28			1,54	57	1,03	19,8	0,66	6,01	0,51	2,94	0,46	2,28	0,31	0,82	0,31	0,77	0,25	0,43	0,24	0,41
29			1,59	61,2	1,07	21,2	0,69	6,45	0,52	3,15	0,48	2,44	0,32	0,88	0,32	0,83	0,25	0,47	0,25	0,44
30			1,65	65,5	1,11	22,7	0,71	6,9	0,54	3,37	0,49	2,62	0,33	0,94	0,33	0,88	0,26	0,5	0,26	0,47
31			1,7	69,9	1,15	24,2	0,73	7,37	0,56	3,6	0,51	2,79	0,35	1	0,34	0,94	0,27	0,53	0,27	0,51
32			1,76	74,5	1,18	25,8	0,76	7,85	0,58	3,84	0,53	2,98	0,36	1,07	0,35	1	0,28	0,57	0,28	0,54
33			1,81	79,2	1,22	27,4	0,78	8,35	0,6	4,08	0,54	3,16	0,37	1,13	0,36	1,07	0,29	0,6	0,28	0,57
34			1,87	84,1	1,26	29,1	0,8	8,86	0,61	4,33	0,56	3,36	0,38	1,2	0,37	1,14	0,3	0,64	0,29	0,61
35			1,92	89,1	1,29	30,9	0,83	9,39	0,63	4,59	0,57	3,56	0,39	1,27	0,38	1,2	0,31	0,68	0,3	0,64
36			1,98	94,3	1,33	32,7	0,85	9,94	0,65	4,86	0,59	3,77	0,4	1,35	0,39	1,27	0,32	0,72	0,31	0,68
37			2,03	99,6	1,37	34,5	0,87	10,5	0,67	5,13	0,61	3,98	0,41	1,42	0,4	1,34	0,33	0,76	0,32	0,72
38			20,9	105	1,4	36,4	0,9	11,1	0,69	5,41	0,62	4,2	0,42	1,5	0,41	1,42	0,33	0,8	0,33	0,76

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	108×4		133×4		152×4,5		159×4,5		194×6		194×5		219×7		219×6		273×8		273×7		325×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
39	1,4	38,3	0,92	14,7	0,7	5,7	0,64	4,42	0,43	1,58	0,43	1,49	0,34	0,84	0,34	0,8	0,22	0,25	0,21	0,24		
40	1,5	40,3	0,95	12,3	0,72	5,6	0,66	4,65	0,45	1,66	0,44	1,57	0,35	0,89	0,35	0,84	0,22	0,27	0,22	0,26		
41	1,51	42,4	0,97	12,9	0,74	6,3	0,67	4,89	0,46	1,75	0,45	1,65	0,36	0,93	0,35	0,88	0,23	0,28	0,23	0,27		
42	1,55	44,4	0,99	13,5	0,76	6,61	0,69	5,13	0,47	1,84	0,46	1,73	0,37	0,9[illegible]	0,36	0,93	0,23	0,29	0,23	0,28		
43	1,59	46,6	1,02	14,2	0,78	6,93	0,71	5,37	0,48	1,92	0,47	1,82	0,38	1,02	0,37	0,97	0,24	0,31	0,24	0,3		
44	1,63	48,8	1,04	14,8	0,79	7,25	0,72	5,63	0,49	2,01	0,48	1,9	0,39	1,07	0,38	1,02	0,25	0,32	0,24	0,31		
45	1,66	51	1,06	15,5	0,81	7,59	0,74	5,89	0,5	2,11	0,49	1,99	0,4	1,12	0,39	1,06	0,25	0,34	0,25	0,32		
46	1,7	53,3	1,09	16,2	0,83	7,93	0,76	6,15	0,51	2,2	0,5	2,08	0,4	1,17	0,4	1,11	0,26	0,35	0,25	0,34		
47	1,74	55,7	1,11	16,9	0,85	8,28	0,77	6,42	0,52	2,3	0,51	2,17	0,41	1,22	0,41	1,16	0,26	0,37	0,26	0,35		
48	1,77	58,1	1,13	17,7	0,87	8,63	0,79	6,7	0,54	2,4	0,52	2,26	0,42	1,28	0,41	1,21	0,27	0,39	0,26	0,37		
49	1,81	60,5	1,16	18,4	0,89	9	0,8	6,98	0,55	2,5	0,53	2,36	0,43	1,33	0,42	1,26	0,27	0,4	0,27	0,39		
50	1,85	63	1,18	19,2	0,9	9,37	0,82	7,27	0,56	2,6	0,55	2,45	0,44	1,38	0,43	1,31	0,28	0,42	0,28	0,4	0,19	0,16
52	1,92	68,1	1,23	20,7	0,94	10,1	0,85	7,86	0,58	2,81	0,57	2,66	0,46	1,41	0,45	1,42	0,29	0,45	0,29	0,43	0,2	0,17
54	1,99	73,5	1,28	22,4	0,98	10,9	0,89	8,47	0,6	3,03	0,59	2,86	0,47	1,61	0,47	1,53	0,3	0,49	0,3	0,47	0,21	0,18
56	2,07	79	1,32	24	1,01	11,8	0,92	9,11	0,62	3,26	0,61	3,08	0,49	1,74	0,48	1,65	0,31	0,52	0,31	0,5	0,22	0,2
58	2,14	84,8	1,37	25,8	1,05	12,6	0,95	9,78	0,65	3,5	0,63	3,3	0,51	1,86	0,5	1,77	0,32	0,56	0,32	0,54	0,22	0,21
60	2,22	90,7	1,42	27,6	1,08	13,5	0,98	10,5	0,67	3,75	0,65	3,53	0,53	1,99	0,52	1,89	0,34	0,6	0,33	0,58	0,23	0,23
62	2,29	96,9	1,47	29,5	1,11	14,4	1,02	11,2	0,69	3,4	0,68	3,77	0,54	2,12	0,53	2,02	0,35	0,64	0,34	0,62	0,24	0,24
64	2,36	103,2	1,51	31,4	1,12	15,3	1,05	11,9	0,71	4,26	0,7	4,02	0,56	2,26	0,55	2,15	0,36	0,68	0,35	0,66	0,25	0,25
66			1,56	33,4	1,15	16,3	1,08	12,7	0,74	4,53	0,72	4,28	0,58	2,41	0,57	2,3	0,37	0,73	0,36	0,7	0,26	0,27
68			1,61	35,5	1,22	17,3	1,12	13,4	0,76	4,81	0,74	4,54	0,6	2,62	0,59	2,43	0,33	0,77	0,37	0,74	0,26	0,29
70			1,65	37,6	1,26	18,4	1,15	14,2	0,78	5,1	0,76	4,81	0,62	2,71	0,6	2,58	0,39	0,82	0,39	0,79	0,27	0,31
72			1,7	39,7	1,3	19,4	1,18	15,1	0,8	5,39	0,79	5,09	0,63	2,87	0,62	2,73	0,4	0,87	0,4	0,83	0,28	0,33
74			1,75	42	1,34	20,5	1,21	15,9	0,83	5,69	0,81	5,38	0,65	3,03	0,64	2,83	0,41	0,92	0,41	0,88	0,29	0,35
76			1,8	44,3	1,37	21,6	1,25	16,8	0,85	6,01	0,83	5,67	0,67	3,2	0,66	3,04	0,43	0,97	0,42	0,93	0,29	0,36
78			1,84	46,6	1,41	22,8	1,28	17,7	0,87	6,33	0,85	5,97	0,69	3,37	0,67	3,2	0,43	1,02	0,43	0,94	0,3	0,38
80			1,89	49,1	1,45	24	1,31	18,6	0,89	6,6[illegible]	0,87	6,28	0,7	3,54	0,69	3,36	0,45	1,07	0,44	1,03	0,31	0,4
85			2,01	55,4	1,54	27,1	1,4	21	0,95	7,52	0,93	7,09	0,75	3,4	0,73	3,8	0,48	1,21	0,47	1,16	0,33	0,46
90			2,13	62,1	1,63	30,4	1,48	23,5	1	8,43	0,98	7,95	0,79	4,48	0,78	4,26	0,5	1,35	0,5	1,3	0,35	0,51
95			2,25	69,2	1,72	33,8	1,56	26,2	1,06	9,4	1,04	8,86	0,83	5	0,82	4,74	0,53	1,51	0,52	1,45	0,37	0,57

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	152×4,5		159×4,5		194×6		194×5		219×7		219×6		273×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
100	1,81	37,5	1,64	29,1	1,12	10,4	1,09	9,82	0,88	5,54	0,86	5,26	0,56	1,67
105	1,89	41,3	1,72	32	1,17	11,5	1,15	10,8	0,92	6,1	0,91	5,8	0,59	1,84
110	1,99	45,3	1,81	35,2	1,23	12,6	1,2	11,9	0,97	6,7	0,95	6,36	0,62	2,02
115	2,08	49,6	1,89	38,4	1,28	13,8	1,25	13	1,01	7,32	0,99	6,95	0,64	2,21
120	2,17	54	1,97	41,8	1,34	15	1,31	14,1	1,05	7,97	1,03	7,57	0,67	2,41
125	2,26	53,5	2,05	45,4	1,39	16,3	1,36	15,3	1,1	8,65	1,08	8,21	0,7	2,61
130	2,35	63,3	2,13	49,1	1,45	17,6	1,42	16,6	1,14	9,35	1,12	8,89	0,73	2,82
135	2,44	68,3	2,22	53	1,51	19	1,47	17,9	1,19	10,1	1,16	9,58	0,75	3,05
140	2,53	73,4	2,3	57	1,56	20,4	1,53	19,2	1,23	10,8	1,21	10,3	0,78	3,28
145	2,62	78,8	2,31	61,1	1,62	21,9	1,58	20,6	1,27	11,6	1,25	11,1	0,81	3,51
150	2,7	84,3	2,46	65,4	1,67	23,4	1,64	22,1	1,32	12,5	1,29	11,8	0,84	3,76
155	2,8	90	2,54	69,8	1,73	25	1,69	23,6	1,36	13,3	1,34	12,6	0,87	4,02
160	2,89	95,9	2,63	74,4	1,78	26,6	1,75	25,1	1,41	14,2	1,38	13,5	0,89	4,28
165	2,98	102	2,71	79,1	1,84	28,3	1,8	26,7	1,45	15,1	1,42	14,3	0,92	4,55
170			2,79	84	1,9	30,1	1,8	28,4	1,49	16	1,47	15,2	0,95	4,83
175			2,87	89	1,95	31,9	1,91	30,1	1,54	17	1,51	16,1	0,98	5,12
180			2,95	94,2	2,01	33,7	1,95	31,8	1,58	17,9	1,55	17	1,01	5,42
190					2,12	37,6	2,07	35,4	1,67	20	1,64	19	1,03	6,03
200					2,23	41,6	2,18	39,3	1,76	22,1	1,72	21	1,12	6,69
210					2,34	45,9	2,29	43,3	1,85	24,4	1,81	23,2	1,17	7,37
220					2,45	50,4	2,4	47,5	1,93	26,8	1,9	25,4	1,23	8,09
230					2,56	55	2,51	51,9	2,02	29,3	1,98	27,8	1,29	8,84
240					2,68	59,9	2,62	56,6	2,11	31,9	2,07	30,3	1,34	9,63
250					2,79	65	2,73	61,4	2,2	34,6	2,16	32,8	1,4	10,4
260					2,9	70,3	2,84	66,4	2,29	37,4	2,24	35,5	1,45	11,3
270					3,01	75,9	2,95	71,6	2,37	40,4	2,33	38,3	1,51	12,2
280					3,12	81,6	3,05	77	2,46	43,4	2,41	41,2	1,57	13,1
290					3,23	87,5	3,16	82,6	2,55	46,5	2,5	44,2	1,62	14,1
300					3,35	93,6	3,27	88,4	2,64	49,8	2,59	47,3	1,68	15
310					3,46	100	3,38	94,4	2,72	53,2	2,67	50,5	1,73	16,1

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	273×7		325×8		377×9		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
100	0,55	1,6	0,39	0,63	0,29	0,29	0,22	0,15	0,22	0,14	0,22	0,13	0,17	0,07	0,17	0,07
105	0,58	1,77	0,41	0,7	0,3	0,32	0,24	0,16	0,23	0,15	0,23	0,15	0,18	0,08	0,17	0,07
110	0,61	1,94	0,43	0,76	0,32	0,35	0,25	0,18	0,24	0,17	0,24	0,16	0,19	0 09	0,19	0,09
115	0,63	2,12	0,44	0,83	0,33	0,38	0,26	0,2	0,25	0,18	0,25	0,18	0,2	0,1	0,2	0,1
120	0,66	2,31	0,46	0,91	0,34	0,41	0,27	0,22	0,26	0,2	0,26	0,19	0,21	0,11	0,2	0,1
125	0,69	2,51	0,48	0,99	0,36	0,45	0,28	0,23	0,27	0,22	0,27	0,21	0,21	0,12	0,21	0,11
130	0,72	2,71	0,5	1,07	0,37	0,48	0,29	0,25	0,28	0,23	0,28	0,23	0,22	0,12	0,22	0,12
135	0,74	2,92	0,52	1,15	0,39	0,52	0,3	0,27	0,29	0,25	0,29	0,25	0,23	0,13	0,23	0,13
140	0,77	3,14	0,54	1,24	0,4	0,56	0,31	0,29	0,3	0,27	0,3	0,26	0,24	0,14	0,24	0,14
145	0,8	3,37	0,56	1,32	0,42	0,6	0,32	0,31	0,32	0,29	0,31	0,28	0,25	0,16	0,25	0,15
150	0,83	3,61	0,58	1,41	0,43	0,64	0,34	0,34	0,33	0,31	0,32	0,3	0,26	0,17	0,26	0,16
155	0,85	3,85	0,6	1,51	0,44	0,69	0,35	0,36	0,34	0,33	0,33	0,32	0,27	0,18	0,26	0,17
160	0,88	4,11	0,62	1,62	0,46	0,73	0,36	0,38	0,35	0,35	0,34	0,34	0,27	0,19	0,27	0,18
165	0,91	4,37	0,64	1,73	0,47	0,78	0,37	0,41	0,36	0,38	0,36	0,37	0,28	0,2	0,28	0,2
170	0,94	4,64	0,66	1,82	0,49	0,83	0,38	0,43	0,37	0,4	0,37	0,39	0,29	0,21	0,29	0,21
175	0,96	4,91	0,68	1,93	0,5	0,88	0,39	0,46	0,38	0,42	0,38	0,41	0,3	0,23	0,3	0,22
180	0,99	5,2	0,7	2,04	0,52	0,93	0,4	0,48	0,39	0,45	0,39	0,44	0,31	0,24	0,31	0,23
190	1,05	5,79	0,73	2,3	0,54	1,03	0,43	0,54	0,41	0,5	0,41	0,49	0,33	0,27	0,32	0,26
200	1,1	6,41	0,77	2,52	0,57	1,14	0,45	0,6	0,44	0,55	0,43	0,54	0,34	0,3	0,34	0,29
210	1,16	7,08	0,81	2,78	0,6	1,26	0,47	0,66	0,46	0,61	0,45	0,59	0,36	0,33	0,36	0,32
220	1,21	7,77	0,85	3,05	0,63	1,38	0,49	0,72	0,48	0,67	0,47	0,65	0,38	0,36	0,37	0,35
230	1,27	8,49	0,89	3,34	0,66	1,51	0,52	0,79	0,5	0 73	0,5	0,71	0,39	0,39	0,39	0,38
240	1,32	9,24	0,93	3,63	0,69	1,65	0,54	0,86	0,52	0,8	0,52	0,78	0,41	0,43	0,41	0,42
250	1,38	10	0,97	3,94	0,72	1,79	0,56	0,93	0,54	0,86	0,54	0,84	0,43	0,46	0,43	0,45
260	1,43	10,8	1,01	4,27	0,75	1,93	0,58	1,01	0,57	0,93	0,56	0,91	0,45	0,47	0,44	0,49
270	1,49	11,7	1,04	4,6	0,77	2,08	0,61	1,09	0,59	1,01	0,58	0,98	0,46	0,54	0,46	0,53
280	1,54	12,6	1,08	4,94	0,8	2,24	0,63	1,17	0,61	1,08	0,6	1,06	0,48	0,58	0,48	0,57
290	1,6	13,5	1,12	5,3	0,83	2,4	0,65	1,26	0,63	1,16	0,62	1,13	0,5	0,62	0,49	0,61
300	1,65	14,4	1,16	5,68	0,86	2,57	0,67	1,34	0,65	1,24	0,65	1,21	0,51	0,66	0,51	0,65
310	1,71	15,4	1,2	6,06	0,89	2,75	0,69	1,44	0,67	1,33	0,67	1,29	0 53	0,71	0,53	0,7

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	273×8		273×7		325×8		377×9		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6		630×8		630×7	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м	v в м/сек	Δh в кгс/м² м
320	1,78	17,1	1,76	16,4	1,24	6,46	0,92	2,93	0,72	1,53	0,7	1,42	0,69	1,38	0,55	0,76	0,54	0,74	0,45	0,44	0,44	0,43				
330	1,85	18,2	1,82	17,5	1,28	6,9	0,95	3,11	0,74	1,63	0,72	1,51	0,71	1,47	0,57	0,8	0,56	0,79	0,46	0,46	0,46	0,46				
340	1,9	19,2	1,87	18,5	1,32	7,29	0,97	3,3	0,76	1,73	0,74	1,6	0,73	1,56	0,68	0,85	0,58	0,83	0,47	0,49	0,47	0,48				
350	1,96	20,5	1,93	19,7	1,35	7,73	1	3,5	0,78	1,83	0,76	1,69	0,75	1,65	0,6	0,9	0,6	0,88	0,49	0,52	0,48	0,51				
360	2,01	21,7	1,98	20,8	1,4	8,18	1,03	3,7	0,81	1,91	0,78	1,79	0,78	1,75	0,62	0,96	0,61	0,94	0,5	0,55	0,5	0,54				
370	2,07	22,9	2,04	22	1,43	8,64	1,06	3,91	0,83	2,04	0,81	1,89	0,8	1,84	0,63	1,01	0,63	0,99	0,52	0,58	0,51	0,57				
380	2,13	24,1	2,09	23,2	1,47	9,11	1,09	4,13	0,85	2,16	0,83	2	0,82	1,95	0,65	1,07	0,65	1,04	0,53	0,62	0,53	0,6				
390	2,18	25,4	2,15	24,4	1,51	9,6	1,12	4,35	0,87	2,27	0,85	2,1	0,84	2,05	0,67	1,12	0,66	1,1	0,54	0,65	0,54	0,64				
400	2,24	26,7	2,2	25,7	1,55	10,1	1,15	4,57	0,9	2,39	0,87	2,21	0,86	2,16	0,69	1,18	0,68	1,16	0,56	0,68	0,55	0,67				
410	2,29	28,1	2,26	27	1,59	10,6	1,18	4,8	0,92	2,51	0,89	2,32	0,88	2,26	0,7	1,24	0,7	1,21	0,57	0,72	0,57	0,7				
420	2,35	2 ,5	2,31	28,3	1,62	11,1	1,2	5,04	0,94	2,63	0,91	2,43	0,91	2,38	0,72	1,3	0,71	1,27	0,58	0,75	0,58	0,74				
430	2,4	30,9	2,37	29,7	1,66	11,7	1,23	5,28	0,96	2,76	0,94	2,56	0,93	2,49	0,74	1,37	0,73	1,34	0,6	0,79	0,59	0,77				
440	2,46	32,4	2,42	31,1	1,7	12,2	1,26	5,53	0,99	2,89	0,96	2,68	0,95	2,61	0,75	1,43	0,75	1,4	0,61	0,83	0,61	0,81				
450	2,52	33,9	2,48	32,5	1,74	12,8	1,29	5,79	1,01	3,02	0,98	2,8	0,97	2,73	0,77	1,5	0,77	1,46	0,63	0,86	0,62	0,85				
460	2,57	35,4	2,53	33,9	1,78	13,4	1,32	6,05	1,03	3,16	1	2,92	0,99	2,85	0,79	1,56	0,78	1,53	0,64	0,9	0,64	0,88				
470	2,63	36,9	2,59	35,4	1,82	13,9	1,35	6,31	1,05	3,3	1,02	3,05	1,01	2,98	0,81	1,63	0,8	1,6	0,65	0,94	0,65	0,92				
480	2,68	38,5	2,64	36,9	1,86	14,5	1,38	6,58	1,08	3,44	1,04	3,18	1,03	3,1	0,82	1,7	0,82	1,66	0,67	0,98	0,66	0,96				
490	2,74	40,1	2,7	38,5	1,9	15,1	1,4	6,86	1,1	3,59	1,07	3,32	1,06	3,23	0,84	1,77	0,83	1,73	0,68	1,02	0,68	1				
500	2,8	41,8	2,75	40,1	1,93	15,8	1,43	7,14	1,12	3,73	1,09	3,46	1,08	3,37	0,86	1,85	0,85	1,81	0,7	1,07	0,69	1,04	0,49	0,42	0,49	0,42
520	2,91	45,2	2,86	43,4	2,01	17,1	1,49	7,73	1,17	4,04	1,13	3,74	1,12	3,64	0,89	2	0,88	1,95	0,72	1,15	0,72	1,13	0,51	0,46	0,51	0,45
540	3,02	48,7	2,97	46,8	2,09	18,4	1,55	8,33	1,21	4,35	1,18	4,03	1,16	3,93	0,93	2,15	0,92	2,11	0,75	1,24	0,75	1,22	0,53	0,49	0,53	0,48
560	3,13	52,4	3,08	50,3	2,17	19,8	1,6	8,96	1,25	4,68	1,22	4,33	1,21	4,22	0,96	2,32	0,95	2,26	0,78	1,34	0,77	1,31	0,53	0,53	0,55	0,52
580	3,24	56,2	3,19	54	2,24	21,2	1,66	9,61	1,3	5,02	1,26	4,65	1,25	4,53	1	2,48	0,99	2,43	0,81	1,43	0,8	1,41	0,57	0,57	0,56	0,56
600	3,36	60,2	3,3	57,8	2,32	22,7	1,72	10,3	1,34	5,38	1,31	4,98	1,29	4,85	1,03	2,66	1,02	2,6	0,84	1,54	0,83	1,5	0,59	0,61	0,58	0,6
620	3,47	64,3	3,41	61,7	2,4	24,3	1,78	11	1,39	5,74	1,35	5,31	1,34	5,18	1,06	2,84	1,05	2,78	0,86	1,64	0,86	1,61	0,61	0,65	0,6	0,64
640	3,58	68,5	3,52	65,7	2,48	25,8	1,83	11,7	1,43	6,12	1,39	5,66	1,38	5,52	1,1	3,03	1,09	2,96	0,89	1,75	0,88	1,71	0,63	0,6	0,62	0,68
660	3,69	72,8	3,63	69,9	2,55	27,5	1,89	12,4	1,48	6,5	1,44	6,02	1,42	5,87	1,13	3,22	1,12	3,15	0,92	1,86	0,91	1,82	0,65	0,74	0,64	0,72
680	3,8	77,3	3,74	74,2	2,63	29,2	1,95	13,2	1,52	6,9	1,48	6,4	1,47	6,13	1,17	3,42	1,16	3,34	0,95	1,97	0,94	1,93	0,67	0,78	0 66	0,77
700	3,91	81,9	3,85	78,9	2,71	30,9	2,01	14	1,57	7,32	1,52	6,77	1,51	6,6	1,2	3,62	1,2	3,54	0,97	2,09	0,97	2,05	0,69	0,83	0,68	0,81
720	4,03	86,7	3,96	83,2	2,79	32,7	2,06	14,8	1,61	7,74	1,57	7,16	1,55	6,98	1,24	3,83	1,22	3,74	1	2,21	0,99	2,17	0,71	0,88	0,7	0,86

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	325×8		377×9		426×10		426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6		630×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
740	2,86	34,6	2,12	15,6	1,66	8,18	1,61	7,57	1,59	7,38	1,27	4,05	1,26	3,95	1,03	2,34	1,02	2,29	0,73	0,93
760	2,94	36,4	2,18	16,5	1,7	8,63	1,65	7,98	1,64	7,78	1,3	4,27	1,29	4,17	1,06	2,46	1,05	2,41	0,74	0,98
780	3,02	38,4	2,24	17,4	1,75	9,08	1,7	8,41	1,68	8,2	1,34	4,49	1,33	4,39	1,09	2,6	1,08	2,54	0,76	1,03
800	3,09	40,4	2,29	18,3	1,79	9,56	1,74	8,85	1,72	8,62	1,37	4,73	1,36	4,62	1,11	2,73	1,11	2,67	0,78	1,08
820	3,17	42,4	2,35	19,2	1,84	10	1,78	9,29	1,77	9,06	1,41	4,97	1,39	4,86	1,14	2,87	1,13	2,81	0,8	1,14
840	3,25	44,5	2,41	20,2	1,88	10,5	1,83	9,75	1,81	9,51	1,44	5,21	1,43	5,1	1,17	3,01	1,16	2,95	0,82	1,19
860	3,33	46,7	2,46	21,1	1,93	11	1,87	10,2	1,85	9,96	1,48	5,46	1,46	5,34	1,2	3,15	1,19	3,09	0,84	1,25
880	3,4	48,9	2,52	22,1	1,97	11,6	1,91	10,7	1,9	10,4	1,51	5,72	1,5	5,59	1,23	3,3	1,22	3,24	0,86	1,31
900	3,48	51,1	2,58	23,1	2,01	12	1,96	11,2	1,94	10,9	1,54	5,98	1,53	5,85	1,25	3,45	1,24	3,39	0,88	1,37
920	3,56	53,4	2,64	24,2	2,06	12,6	2	11,7	1,98	11,4	1,58	6,25	1,53	6,11	1,28	3,61	1,27	3,54	0,9	1,43
940	3,64	55,8	2,69	25,3	2,11	13,2	2,05	12,2	2,03	11,9	1,61	6,53	1,6	6,38	1,31	3,77	1,3	3,69	0,92	1,49
960	3,71	58,1	2,75	26,3	2,15	13,8	2,09	12,7	2,07	12,4	1,65	6,81	1,63	6,66	1,34	3,93	1,33	3,85	0,94	1,56
980	3,79	60,6	2,81	27,4	2,2	14,3	2,13	13,3	2,11	12,9	1,68	7,09	1,67	6,93	1,36	4,1	1,35	4,01	0,96	1,62
1000	3,87	63,1	2,87	28,6	2,24	14,9	2,18	13,8	2,16	13,5	1,72	7,39	1,7	7,22	1 39	4,27	1,38	4,18	0,98	1,69
1020	3,95	65,6	2,92	29,7	2,29	15,5	2,22	14,4	2 2	14	1,75	7,69	1,73	7,51	1,42	4,44	1,41	4,35	1	1,76
1040	4,02	68,2	2,98	30,9	2,33	16,2	2,26	14,9	2,24	14,6	1,78	7,99	1,77	7,81	1,45	4,61	1,44	4,52	1,02	1,83
1060	4,1	70,9	3,04	32,1	2,38	16,8	2,31	15,5	2,28	15,1	1,82	8,3	1,8	8,11	1,48	4,79	1,46	4,7	1,04	1,9
1080	4,18	73,6	3,1	33,3	2,42	17,4	2,35	16,1	2,33	15,7	1,85	8,62	1,84	8,42	1,5	4,98	1,49	4,87	1,06	1,97
1100	4,26	76,3	3,15	34,6	2,46	18,1	2,39	16,7	2,37	16,3	1,89	8,94	1,87	8,74	1 53	5,16	1,52	5,06	1,08	2,05
1150			3,3	37,8	2,58	19,7	2,5	18,3	2,48	17,8	1,97	9,77	1,96	9,55	1,6	5,64	1,59	5,53	1.13	2,24
1200			3,44	41,2	2,69	21,5	2,61	19,9	2,59	19,4	2,06	10,6	2,04	10,4	1,67	6.14	1,66	6,02	1,18	2,44
1250			3,58	44,7	2,8	23,3	2,71	21,6	2,69	21,1	2,14	11,5	2,13	11,3	1,74	6,66	1,73	6,53	1,22	2,64
1300			3,73	48,3	2,91	25,2	2,83	23,4	2,8	22,8	2,23	12,5	2,21	12,2	1,81	7,21	1,8	7,06	1,27	2,86
1350			3,87	52,1	3,03	27,2	2,94	25,2	2,91	24,6	2,32	13,5	2,3	13,2	1,88	7,77	1,87	7,62	1,32	3,08
1400			4,01	56	3,14	29,3	3,05	27,1	3,02	26,4	2,4	14,5	2,38	14,2	1,95	8,36	1,93	8,19	1,37	3,31
1450			4,16	60,1	3,25	31,4	3,16	29,1	3,12	28,3	2,49	15,5	2,47	15,2	2,02	8,97	2	8,79	1,42	3,56
1500			4,3	64,2	3,36	33,6	3,26	31,1	3,23	30,3	2,57	16,6	2,55	16,2	2,09	9,6	2,07	9,4	1,47	3,8
1550			4,44	68,7	3,47	35,9	3,37	33,2	3,34	32,4	2,66	17,7	2,64	17,3	2,16	10,2	2,14	10	1,52	4,06
1600			4,59	73,2	3,59	38,2	3,48	35,4	3,45	34,5	2,74	18,9	2,72	18,5	2,23	10,9	2,21	10,7	1,57	4,33
1650			4,73	77,8	3,7	40,7	3,59	37,6	3,56	36,7	2,83	20,1	2,81	19,7	2,3	11,6	2,28	11,4	1,62	4,6

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	630×7		720×9		720×8		720×7		820×9		820×8		920×10		920×9		920×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
740	0,72	0,91	0,55	0,46	0,55	0,45	0,55	0,44	0,42	0,23	0,42	0,22						
760	0,74	0,96	0,57	0,48	0,57	0,48	0,56	0,47	0,44	0,24	0,43	0,24						
780	0,76	1,01	0,58	0,51	0,58	0,5	0,58	0,49	0,45	0,25	0,45	0,25						
800	0,78	1,06	0,6	0,53	0,6	0,53	0,59	0,52	0,46	0,27	0,46	0,26						
820	0,8	1,12	0,61	0,56	0,61	0,55	0,61	0,55	0,47	0,28	0,47	0,28						
840	0,82	1,17	0,63	0,59	0,63	0,58	0,62	0,57	0,48	0,29	0,48	0,29						
860	0,84	1,23	0,64	0,62	0,64	0,61	0,64	0,6	0,49	0,31	0,49	0,3						
880	0,86	1,29	0,66	0,65	0,66	0,64	0,65	0,63	0,51	0,32	0,5	0,32						
900	0,88	1,35	0,67	0,68	0 67	0,67	0,67	0,66	0,52	0,34	0,51	0,33						
920	0,9	1,41	0,69	0,71	0,69	0,7	0,68	0,69	0,53	0,35	0,53	0,35						
940	0,92	1,47	0,7	0,74	0,7	0,73	0,7	0,71	0,54	0,37	0,54	0,36						
960	0,93	1,53	0,72	0,77	0,72	0,76	0,71	0,75	0,55	0,33	0,55	0,38						
980	0,95	1,6	0,73	0,8	0,73	0,79	0,73	0,78	0,53	0,4	0,56	0,39						
1000	0,97	1,66	0,75	0,84	0,75	0,82	0,74	0,81	0,57	0,42	0,57	0,41						
1020	0,99	1,73	0,76	0,87	0,76	0,86	0,76	0,84	0,59	0,43	0,58	0,43						
1040	1,01	1,8	0,78	0,9	0,78	0,89	0,77	0,88	0,6	0,45	0,59	0,44						
1060	1,03	1,87	0,79	0,94	0,79	0,93	0,79	0,91	0,61	0,47	0,61	0,46						
1080	1,05	1,94	0,81	0,98	0,8	0,96	0,8	0,95	0,62	0,48	0,62	0,48						
1100	1,07	2,01	0,82	1,01	0,82	1	0,82	0,98	0,63	0,5	0,63	0,5	0,5	0,27	0,5	0,27	0,5	0,27
1150	1,12	2,2	0,86	1,11	0,86	1,09	0,85	1,07	0,66	0,55	0,66	0,54	0,52	0,3	0,52	0,3	0,52	0,29
1200	1,17	2,39	0,9	1,2	0,89	1,19	0,89	1,17	0,69	0,6	0,69	0,59	0,55	0,33	0,54	0,32	0,54	0,32
1250	1,22	2,6	0,94	1,31	0,93	1,29	0,93	1,27	0,72	0,65	0,71	0,64	0,57	0,35	0,57	0,35	0,56	0,35
1300	1,27	2,81	0,97	1,41	0,97	1,39	0,96	1,37	0,75	0,7	0,74	0,69	0,59	0,38	0,59	0,38	0,59	0,37
1350	1,31	3,03	1,01	1,52	1,01	1,5	1	1,48	0,78	0,76	0,77	0,75	0,62	0,41	0,61	0,01	0,61	0,4
1400	1,36	3,26	1,05	1,64	1,04	1,61	1,04	1,59	0,8	0,81	0,8	0,8	0,64	0,44	0,64	0,44	0,63	0,43
1450	1,41	3,5	1,09	1,76	1,08	1,73	1,07	1,71	0,83	0,87	0,83	0,86	0,66	0,48	0,66	0,47	0,66	0,47
1500	1,46	3,74	1,12	1,88	1,12	1,85	1,11	1,83	0,86	0,94	0,86	0,92	0,68	0,51	0,68	0,5	0,68	0,5
1550	1,51	3,99	1,16	2,01	1,16	1,98	1,15	1,95	0,89	1	0,89	0,99	0,71	0,55	0,7	0,54	0,7	0,53
1600	1,56	4,26	1,2	2,14	1,19	2,11	1,19	2,08	0,92	1,06	0,91	1,05	0,73	0,58	0,73	0,57	0,72	0,57
1650	1,61	4,53	1,24	2,28	1,23	2,24	1,22	2,21	0,95	1,13	0,94	1,12	0,75	0,62	0,75	0,61	0,75	0,6

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times s$ в мм	426×10		426×7		426×6		478×7		478×6		529×7		529×6		630×8		630×7		720×9		720×8	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
1700	3,81	43,2	3,7	39,9	3,66	38,9	2,92	21,3	2,89	20,9	2,37	12,3	2,35	12,1	1,67	4,89	1,65	4,8	1,27	2,42	1,27	2,38
1750	3,92	45,7	3,81	42,3	3,77	41,3	3	22,6	2,98	22,1	2,44	13,1	2,42	12,8	1,71	5,18	1,7	5,09	1,31	2,56	1,3	2,52
1800	4,03	48,4	3,91	44,8	3,88	43,7	3,09	23,9	3,06	23,4	2,51	13,8	2,49	13,5	1,76	5,48	1,75	5,39	1,35	7,71	1,34	2,67
1850	4,15	51,1	4,03	47,3	3,99	46,1	3,17	25,3	3,15	24,7	2,58	14,6	2,56	14,3	1,81	5,79	1,8	5,69	1,39	2,86	1,38	2,82
1900	4,26	53,9	4,13	49,9	4,09	48,6	3,26	26,7	3,23	26,1	2,65	15,4	2,63	15,1	1,86	6,1	1,85	6	1,42	3,02	1,42	2,97
1950	4,37	56,8	4,24	52,6	4,2	51,2	3,35	28,1	3,32	27,5	2,72	16,2	2,69	15,9	1,91	6,43	1,9	6,32	1,46	3,18	1,45	3,13
2000	4,48	59,7	4,35	55,3	4,31	53,9	3,43	29,5	3,4	28,9	2,79	17,1	2,76	16,7	1,96	6,76	1,95	6,65	1,5	3,35	1,49	3,3
2100							3,6	32,6	3,57	31,8	2,92	18,8	2,9	18,4	2,06	7,46	2,04	7,33	1,57	3,69	1,57	3,63
2200							3,77	35,8	3,74	35	3,06	20,6	3,04	20,2	2,16	8,18	2,14	8,05	1,65	4,05	1,64	3,99
2300							3,95	39,1	3,91	38,2	3,2	22,6	3,18	22,1	2,25	8,95	2,24	8,79	1,72	4,42	1,71	4,36
2400							4,12	42,5	4,08	41,6	3,34	24,6	3,32	24,1	2,35	9,74	2,34	9,58	1,8	4,82	1,79	4,75
2500							4,29	46,2	4,25	45,1	3,48	26,7	3,45	26,1	2,45	10,6	2,43	10,4	1,87	5,23	1,86	5,15
2600							4,46	49,9	4,42	48,8	3,62	28,8	3,59	28,3	2,55	11,4	2,53	11,2	1,95	5,65	1,94	5,57
2700							4,63	53,9	4,59	52,6	3,76	31,1	3,73	30,5	2,65	12,3	2,63	12,1	2,02	6,1	2,01	6,01
2800							4,8	57,9	4,76	56,6	3,9	33,4	3,87	32,8	2,74	13,3	2,73	13	2,1	6,56	2,09	6,46
2900							4,98	62,1	4,93	60,7	4,04	35,9	4,01	35,1	2,84	14,2	2,82	14	2,17	7,03	2,16	6,93
3000							5,15	66,5	5,1	65	4,18	38,4	4,15	37,6	2,94	15,2	2,92	15	2,25	7,53	2,24	7,42
3100							5,32	71	5,27	69,4	4,32	41	4,28	40,2	3,04	16,3	3,02	16	2,32	8,04	2,31	7,92
3200							5,49	75,6	5,44	73,9	4,46	43,7	4,42	42,8	3,14	17,3	3,11	17	2,4	8,56	2,38	8,44
3300							5,66	80,4	5,61	78,6	4,6	46,4	4,56	45,5	3,23	18,4	3,21	18,1	2,47	9,11	2,46	8,97
3400							5,83	85,4	5,78	83,5	4,74	49,3	4,7	48,3	3,33	19,5	3,31	19,2	2,55	9,67	2,53	9,53
3500							6	90,5	5,95	88,5	4,87	52,3	4,84	51,2	3,43	20,7	3,41	20,4	2,62	10,2	2,61	10,1
3600							6,18	95,7	6,12	93,6	5,01	55,3	4,97	54,2	3,53	21,9	3,5	21,5	2,7	10,8	2,68	10,7
3700							6,35	101,1	6,29	98,9	5,15	58,4	5,11	57,2	3,63	23,2	3,6	22,8	2,77	11,5	2,76	11,3
3800									6,46	104,2	5,29	61,6	5,25	60,3	3,72	24,4	3,7	24	2,85	12,1	2,83	11,9
3900											5,43	64,9	5,39	63,6	3,82	25,7	3,8	25,3	2,92	12,7	2,91	12,5
4000											5,57	68,2	5,53	66,9	3,92	27,1	3,89	26,6	3	13,4	2,98	13,2
4200															4,11	29,8	4,09	29,3	3,15	14,8	3,13	14,5
4400															4,31	32,7	4,28	32,2	3,3	16,2	3,28	16
4600															4,51	35,8	4,48	35,2	3,45	17,7	3,43	17,4

Продолжение табл. 9.24

$D_н \times S$ в мм	720×7		820×9		820×8		920×10		920×9		920×8		1020×11		1020×10		1020×8		1220×12		1220×9	
G в т/ч	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м	v в м/сек	Δh в кгс/м²м
1700	1,26	2,35	0,98	1,2	0,97	1,19	0,78	0,66	0,77	0,65	0,77	0,64	0,63	0,38	0,63	0,38	0,62	0,37	0,44	0,15	0,43	0,14
1750	1,3	2,49	1	1,27	1	1,26	0,8	0,69	0,79	0,69	0,79	0,68	0,65	0,4	0,65	0,4	0,64	0,39	0,45	0,16	0,45	0,15
1800	1,33	2,63	1,03	1,35	1,03	1,33	0,82	0,74	0,82	0,73	0,81	0,72	0,67	0,43	0,66	0,42	0,66	0,41	0,46	0,17	0,46	0,16
1850	1,37	2,78	1,06	1,42	1,06	1,4	0,84	0,78	0,84	0,77	0,84	0,76	0,69	0,45	0,68	0,45	0,68	0,44	0,48	0,17	0,47	0,17
1900	1,41	2,93	1,09	1,5	1,09	1,48	0,87	0,82	0,86	0,81	0,86	0,8	0,7	0,48	0,7	0,47	0,7	0,46	0,49	0,18	0,49	0,18
1950	1,45	3,09	1,12	1,58	1,11	1,56	0,89	0,86	0,89	0,85	0,88	0,84	0,72	0,5	0,72	0,5	0,71	0,49	0,5	0,19	0,5	0,19
2000	1,48	3,25	1,15	1,66	1,14	1,64	0,91	0,91	0,91	0,9	0,9	0,89	0,74	0,53	0,74	0,52	0,73	0,51	0,52	0,2	0,51	0,2
2100	1,56	3,58	1,21	1,83	1,2	1,81	0,91	0,91	0,95	0,99	0,95	0,98	0,78	0,58	0,78	0,58	0,77	0,56	0,54	0,23	0,54	0,22
2200	1,63	3,93	1,26	2,01	1,26	1,99	0,96	1	1	1,09	0,99	1,07	0,82	0,64	0,81	0,63	0,81	0,62	0,57	0,25	0,56	0,24
2300	1,7	4,29	1,32	2,2	1,31	2,17	1	1,1	1,04	1,19	1,04	1,17	0,85	0,7	0,85	0,69	0,84	0,68	0,59	0,27	0,59	0,26
2400	1,78	4,68	1,38	2,39	1,37	2,36	1,05	1,2	1,09	1,29	1,08	1,28	0,89	0,76	0,89	0,75	0,88	0,74	0,62	0,29	0,61	0,29
2500	1,85	5,07	1,44	2,6	1,43	2,56	1,09	1,31	1,13	1,4	1,13	1,39	0,93	0,82	0,92	0,82	0,92	0,8	0,65	0,32	0,64	0,31
2600	1,93	5,49	1,49	2,81	1,49	2,77	1,14	1,42	1,18	1,52	1,18	1,5	0,96	0,89	0,96	0,88	0,95	0,86	0,67	0,35	0,66	0,34
2700	2	5,92	1,55	3,03	1,54	2,99	1,19	1,53	1,23	1,64	1,22	1,62	1	0,96	1	0,95	0,99	0,93	0,7	0,37	0,69	0,36
2800	2,07	6,36	1,61	3,26	1,6	3,22	1,23	1,65	1,27	1,76	1,27	1,74	1,04	1,03	1,03	1,02	1,03	1	0,72	0,4	0,72	0,39
2900	2,15	6,83	1,67	3,49	1,66	3,45	1,28	1,78	1,32	1,89	1,31	1,86	1,08	1,11	1,07	1,1	1,06	1,08	0,75	0,43	0,74	0,42
3000	2,22	7,31	1,72	3,74	1,71	3,69	1,32	1,91	1,36	2,02	1,36	2	1,12	1,19	1,11	1,18	1,1	1,15	0,77	0,46	0,77	0,45
3100	2,3	7,8	1,78	3,99	1,77	3,94	1,37	2,04	1,41	2,16	1,4	2,13	1,15	1,27	1,15	1,25	1,14	1,23	0,8	0,49	0,79	0,48
3200	2,37	8,31	1,84	4,26	1,83	4,2	1,41	2,18	1,45	2,3	1,45	2,2	1,19	1,35	1,18	1,34	1,17	1,31	0,83	0,52	0,82	0,51
3300	2,45	8,84	1,9	4,53	1,89	4,47	1,46	2,32	1,5	2,44	1,49	2,41	1,22	1,44	1,22	1,42	1,21	1,39	0,85	0,56	0,84	0,54
3400	2,52	9,38	1,95	4,8	1,94	4,74	1,5	2,47	1,54	2,59	1,54	2,56	1,26	1,53	1,26	1,51	1,25	1,48	0,88	0,59	0,87	0,58
3500	2,59	9,94	2	5,09	2	5,02	1,55	2,62	1,59	2,75	1,58	2,72	1,3	1,62	1,29	1,6	1,28	1,57	0,9	0,63	0,89	0,61
3600	2,67	10,5	2,07	5,39	2,06	5,32	1,6	2,78	1,63	2,91	1,63	2,87	1,34	1,71	1,33	1,69	1,32	1,66	0,93	0,66	0,92	0,65
3700	2,74	11,1	2,12	5,69	2,11	5,62	1,64	2,94	1,68	3,07	1,67	3,04	1,37	1,81	1,37	1,79	1,36	1,75	0,96	0,7	0,95	0,68
3800	2,82	11,7	2,18	6	2,17	5,92	1,69	3,11	1,73	3,24	1,72	3,2	1,41	1,91	1,4	1,89	1,39	1,85	0,98	0,74	0,97	0,72
3900	2,89	12,3	2,24	6,32	2,23	6,24	1,73	3,28	1,77	3,41	1,76	3,37	1,45	2,01	1,44	1,99	1,43	1,94	1,01	0,78	1	0,76
4000	2,96	13	2,3	6,63	2,29	6,56	1,78	3,45	1,82	3,59	1,81	3,55	1,48	2,11	1,48	2,09	1,47	2,05	1,03	0,82	1,02	0,8
4200	3,11	14,3	2,41	7,33	2,4	7,24	1,82	3,63	1,91	3,96	1,9	3,91	1,56	2,33	1,55	2,3	1,54	2,76	1,08	0,9	1,07	0,88
4400	3,26	15,7	2,53	8,04	2,51	7,94	1,92	4	2	4,34	1,99	4,29	1,63	2,55	1,63	2,53	1,61	2,48	1,14	0,99	1,12	0,96
4600	3,41	17,2	2,64	8,79	2,63	8,68	2,01	4,39	2,09	4,75	2,08	4,69	1,71	2,79	1,7	2,76	1,69	2,71	1,19	1,08	1,18	1,05

$$\Delta h_{см} = \Delta h \varphi \ кгс/м^2 \ м; \qquad (9.43)$$

$$v_{см} = v\varphi \ м/сек, \qquad (9.44)$$

где φ — коэффициент увеличения потери давления на трение и скорости в конденсатопроводе при транспортировке пароводяной смеси;

Δh — удельная потеря давления на трение в $кгс/м^2 \ м$, определенная по таблицам или номограммам для расчета конденсатопроводов при $\gamma = 958{,}4 \ кгс/м^3$;

v — скорость в $м/сек$, определенная по таблицам или номограммам для расчета конденсатопроводов при $\gamma = 958{,}4 \ кгс/м^3$;

Коэффициент увеличения потери давления на трение и скорости определяется по формуле

$$\varphi = \frac{958{,}4}{\gamma_{см}}, \qquad (9.45)$$

где 958,4 — удельный вес конденсата, при котором составлены таблицы и номограммы для расчета напорных конденсатопроводов в $кгс/м^3$;

$\gamma_{см}$ — удельный вес пароводяной смеси в $кгс/м^3$.

Значение φ можно определять по табл. 9.25.

Удельный вес пароводяной смеси без учета пролетного пара определяют по формуле

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma' \gamma''}{x(\gamma' - \gamma'') + \gamma''} \ кгс/м^3, \qquad (9.46)$$

где γ' — удельный вес конденсата при давлении P_2 в $кгс/м^3$;

γ'' — удельный вес насыщенного пара при давлении P_2 в $кгс/м^3$;

x — количество пара вторичного вскипания, получающегося при вскипании конденсата в результате падения давления от P_1 до P_2, в $кг/кг$;

P_1 — давление перед конденсатоотводчиком в $кгс/см^2$, принимаемое по давлению пара в местной системе потребителя или по давлению в паропроводе;

P_2 — давление в конце расчетного участка трубопровода пароводяной смеси (в расширительном бачке, сборном баке конденсата, в точке разветвления трубопроводов) в $кгс/см^2$; при свободном сливе конденсата давление P_2 принимают равным атмосферному.

Количество пара вторичного вскипания определяется по формуле

$$x = \frac{i_1' - i_2'}{r_2} \ кг/кг; \qquad (9.47)$$

значения x определяют по табл. 9,26;

i_1', i_2' — теплосодержание конденсата соответственно при давлениях P_1 и P_2 (энтальпия воды на линии насыщения) в $ккал/кг$;

r_2 — скрытая теплота парообразования при давлении P_2 в $ккал/кг$.

Значения $\gamma_{см}$ определяются по табл. 9.27.

Если условно принять удельную потерю давления на трение в напорном конденсатопроводе и в конденсатопроводе, транспортирующем пароводяную смесь, одинаковыми, диаметр последнего можно определить по формуле

$$D_{в.см} = D_в \sqrt[5{,}25]{\frac{958{,}4}{\gamma_{см}}} \ мм, \qquad (9.48)$$

где $D_в$ — внутренний диаметр конденсатопровода в $мм$, определенный по таблицам и номограммам для гидравлического расчета напорных конденсатопроводов при $\gamma = 958{,}4 \ кгс/м^3$ и $k_э = 1 \ мм$.

Удельные потери давления на трение при гидравлическом расчете сборных конденсатопроводов определяют по располагаемому перепаду давлений, определяемому по формуле (9.35), но при скорости пароводяной смеси не более приведенной в табл 9 18 для насыщенного пара. Располагаемую потерю давления на трение и местные сопротивления определяют по формуле

$$H^р = \left[P_1' - P_2 - 0{,}1\left(h_г^к - h_г^н\right)\right] 10^4 \ кгс/м^2, \qquad 9.49$$

где P_1' — давление после конденсационного горшка в $кгс/см^2$ определяют величиной давления перед конденсационным горшком и потерей давления в самом горшке, зависящей от конструкции горшка;

$h_г^к$, $h_г^н$ — геодезические отметки конца и начала рассчитываемого участка трубопровода в $м$.

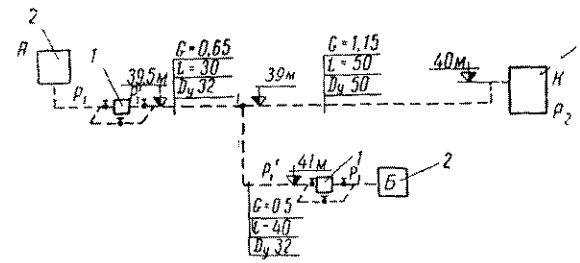


Рис. 9 15 Расчетная схема сборных конденсатопроводов

G — расход конденсата в $т/ч$; l — длина расчетного участка в $м$; $D_у$ — условный проход трубопровода в $мм$; *1* — конденсационный горшок; *2* — теплообменник; *3* — конденсатный бак

Давление после конденсационного горшка определяют по формуле

$$P_1' = a(P_1 - 1) + 1 \ кгс/см^2, \qquad (9.50)$$

где a — коэффициент, учитывающий потерю давления в конденсационном горшке; можно принимать в зависимости от давления ориентировочно $a = 0{,}5 \div 0{,}7$.

Для гидравлического расчета сборных конденсатопроводов составляют расчетную схему (см. рис. 9.15).

В первую очередь производят расчет основной расчетной магистрали, для которой по формуле (9 35) получают наименьшую располагаемую потерю давления на трение; ответвления от основной магистрали рассчитываются на свои располагаемые удельные потери давления на трение, определяемые по разнице давлений в узлах ответвлений и у потребителей.

Гидравлический расчет сборных конденсатопроводов производят по форме, приведенной в табл. 9.28.

9.7. ГРАФИКИ ДАВЛЕНИЙ

Графики давлений разрабатывают для водяных тепловых сетей при состоянии покоя теплоносителя (гидростатический режим) и при установившемся движении теплоносителя (гидродинамический режим).

Графики разрабатывают для основной расчетной магистрали и характерных ответвлений, а при нескольких магистралях одного источника тепла — для каждой из магистралей, совмещая их на одном чертеже.

Масштаб графика давлений и масштаб профиля земли, на котором строятся графики, принимают, как правило, горизонтальный 1 · 10000 до 1 : 20000, вертикальный — 1 : 1000 до 1 : 2000. В этом же масштабе на профиле земли показывают высоту характерных зданий, присоединяемых к тепловым сетям.

Условно принимают, что отметка прокладки трубопроводов, установки насосов и нагревательных приборов в первом этаже зданий совпадает с отметкой земли. Высшее положение воды в местной системе принимают равным высоте здания.

Если у отдельных потребителей нагревательные приборы расположены в подвалах зданий, отметку их установки принимают равной отметке пола подвала, которую также наносят на профиль.

Разработку графиков начинают с гидростатического режима для условий заполнения системы водой с температурой до 100° С при непосредственной схеме присоединения местных систем всех потребителей тепла.

Возможное повышение статического давления в системе за счет вскипания воды с температурой выше 100° С при аварийной остановке системы не учитывается. При разработке графиков давлений для статического режима:

определяют необходимость деления системы не независимые при статике зоны исходя из условий непосредственного присоединения всех местных систем потребителей к тепловой сети;

в случае деления системы на зоны определяют место размещения на тепловой сети разделительных задвижек (узлов рассечки);

определяют напор подпиточных насосов как у источника тепла, так и в узлах рассечки;

уточняют схему присоединения местных систем отдельных потребителей.

Таблица 9.25

Значения коэффициента φ

Начальное давление P_1 в *кгс/см²*	φ при конечном давлении P_2 в *кгс/см²*										
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	6	7
1,2	16,8										
1,5	36,8	18,2	5,7								
2	64,7	41,5	25,9	15	7						
2,5	87	60,5	42,4	29,6	20,1	13					
3	106,5	76,5	56,4	42	31,4	23,2					
3,5	129	90,4	69	53,2	41	31,4	5,7				
4	137	103	79,8	62,6	49,9	39,9	12,8				
5	162	126	98,8	79,7	65,2	54,5	22,2	8,7			
8	223	174	143	118	100	85,5	44	25,7	14,9	8,4	4,1
10	252	199,5	165	137	117	102	55	34,6	21,8	14,2	9,5
15	309	252	208	177,5	154,5	133	78	51,2	35,6	26,2	19,8
20	355	290	246	208	181	157	95,3	64,7	47	35,8	28,2
25	416	319	274	234	204	181	109	75,5	56	43,3	34,8
30	435	354	299	252	223	195,5	121	85,5	64,3	50,4	40,3
35	479	383	320	274	240	208	137	94	70,5	55,7	46

Таблица 9.26

Количество пара вторичного вскипания x в кг/кг

Начальное давление P_1 в кгс/см²	x при конечном давлении P_2 в кгс/см²										
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	6	7
1,2	0,01										
1,5	0,022	0,012	0,004								
2	0,039	0,029	0,021	0,013	0,006						
2,5	0,052	0,043	0,034	0,027	0,02	0,014					
3	0,064	0,054	0,046	0,039	0,032	0,026					
3,5	0,077	0,064	0,056	0,049	0,042	0,036	0,01				
4	0,083	0,073	0,065	0,058	0,051	0,045	0,02				
5	0,098	0,089	0,081	0,074	0,067	0,061	0,036	0,017			
8	0,134	0,125	0,117	0,11	0,104	0,098	0,073	0,054	0,038	0,024	0,012
10	0,152	0,143	0,136	0,129	0,122	0,117	0,093	0,074	0,058	0,044	0,032
15	0,188	0,18	0,172	0,165	0,161	0,154	0,13	0,112	0,096	0,083	0,071
20	0,216	0,208	0,205	0,194	0,188	0,182	0,159	0,122	0,127	0,113	0,102
25	0,252	0,232	0,225	0,221	0,212	0,205	0,184	0,147	0,152	0,139	0,127
30	0,26	0,252	0,245	0,239	0,233	0,288	0,205	0,188	0,174	0,161	0,15
35	0,279	0,271	0,262	0,26	0,252	0,238	0,225	0,208	0,193	0,181	0,17

Таблица 9.27

Удельный вес пароводяной смеси $\gamma_{см}$ в кгс/м³

Начальное давление P_1 в кгс/см²	$\gamma_{см}$ при конечном давлении P_2 в кгс/см²										
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	6	7
1,2	57										
1,5	26	52,5	169								
2	14,8	23,1	37	63,9	136,5						
2,5	11	15,8	22,6	32,3	47,6	73,5					
3	9	12,5	17	22,8	30,5	41,3					
3,5	7,4	10,6	13,9	18	23,3	30,5	168				
4	7	9,3	12	15,3	19,2	24	74,5				
5	5,9	7,6	9,7	12	14,7	17,7	43	110,5			
8	4,3	5,5	6,7	8,1	9,6	11,2	21,8	37,3	64,3	114	232,4
10	3,8	4,8	5,8	7	8,2	9,4	17,4	27,7	43,8	67,3	101,5
15	3,1	3,8	4,6	5,4	6,2	7,2	12,3	18,7	26,9	36,6	48,3
20	2,7	3,3	3,9	4,6	5,3	6,1	10,1	14,8	20,4	26,8	34
25	2,3	3	3,5	4,1	4,7	5,3	8,8	12,7	17,1	22,1	27,5
30	2,2	2,7	3,2	3,8	,3	4,9	7,9	11,2	14,9	19	23 8
35	2	2,5	3	3,5	4	4,6	7	10,2	13,6	17,2	20,3

Таблица 9.28

Форма таблицы и пример гидравлического расчета трубопроводов пароводяной смеси

№ участков	Расход пароводяной смеси в *т/ч*	Характеристика трубы: условный проход в *мм*	Характеристика трубы: наружный диаметр в *мм* × толщина стенки трубы $D_н \times S$ в *мм*	Разность геодезических отметок в конце и начале участка $\pm\left(h_т^к - h_т^н\right)$ в *м*	Давление перед конденсационным горшком P_1 в *кгс/см²*	Давление в начале участка конденсатопровода P_1' в *кгс/см²*	Давление в конце участка конденсатопровода или в конденсатном баке или расширительном баке P_2 в *кгс/см²*	Коэффициент φ	Длина участка трубопровода в *м*: по плану l	эквивалентная местным сопротивлениям $l_э$	приведенная $l_{пр} = l + l_э$	Конденсат при $\gamma = 958{,}4$ *кгс/см³*: скорость v в *м/сек*	удельная потеря давления Δh в *кгс/м²·м*	Пароводяная смесь при $\gamma_{см}$: скорость $v_{см} = \varphi v$ в *м/сек*	потеря давления: удельная $\Delta h_{см} = \varphi = \Delta h$ в *кгс/м²·м*	потеря давления: на участке $\Delta H_{см} = \Delta h_{см} l_{пр}$ в *кгс/м²*	Суммарная потеря давления от конденсатоотводчика $H = 2{,}5 H_{см} \times 10^{-4}$ в *кгс/см²*	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Основная расчетная магистраль																		
А—1	0,65	32	38×2,5	—0,5	2,5	2,05	1,8	20,1	30	6	36	0,22	4,12	4,43	83	2980	0,3	
1—К	1,15	50	57×3,5	+1	2,5	1,8	1,2	60,5	50	10	60	0,17	1,37	10,3	83	4980	0,8	
Ответвление																		
Б—1	0,5	32	38×2,5	—2	2,5	2,05	1,8	20,1	40	8	48	0,17	2,44	3,42	49	2350	0,24	

Статическое давление на графике характеризуется горизонтальной линией, проведенной на отметке наивысшего положения воды. Разница между отметкой этой линии и отметкой искомой точки тепловой сети, подогревательной установки источника тепла, местной системы здания определяет избыточное давление (гидростатическое) в этой точке в *м вод. ст.* Если давление в любой точке системы не превышает допустимых пределов прочности, тепловую сеть не делят на отдельны зоны.

В табл. 9.31 даны предельные давления для некоторых типов оборудования источников тепла и местных систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения присоединяемых зданий.

Наименьшее допускаемое давление, как правило, имеют местные системы отопления зданий, на которые и ориентируются при анализе графика для статического режима. Для местных систем отопления с чугунными радиаторами можно допускать давление до 60 *м вод. ст.*

Рекомендуется к этому пределу приводить и местные системы отдельных старых зданий, расположенных в районах нового строительства, проведением соответствующих гидравлических испытаний и в случае необходимости заменять отдельные приборы.

Если давление выше 60 *м вод. ст.* получается только у нескольких отдельных зданий, их местные системы присоединяют по независимой схеме. Если такое завышенное давление отмечается для целого района, тепловую сеть делят на отдельные зоны. В некоторых случаях наиболее высокую отметку местной системы, определяющей уровень статического давления, имеет одно или несколько зданий. Присоединение их по независимой схеме может резко снизить линию статического давления

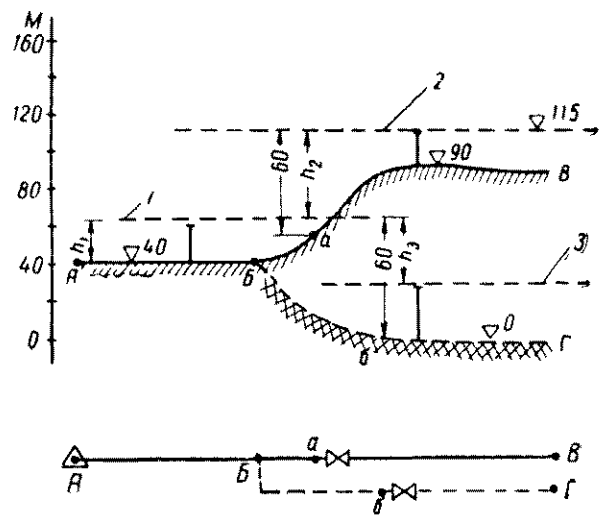


Рис. 9 16. График давлений для статического режима системы

1 — линия статического давления первой зоны; *2* — то же, второй зоны; *3* — то же, третьей зоны; h_1 — напор подпиточных насосов источника тепла в *м*; h_2 — напор подпиточных насосов для второй зоны в *м*; h_3 — регулирование давления подпитки для третьей зоны в *м*; *А* — источник тепла. *Б* — узел ответвления; *В* и *Г* — конечные потребители

На рис. 9.16 показан примерный график давлений для статического режима системы при сложном рельефе местности.

Большая разница в отметках земли привела к необходимости деления системы на три независимые зоны.

Границы зон можно изменять в значительных пределах в зависимости от принятого статического давления в первой зоне.

В каждом конкретном случае границы зон следует принимать, ориентируясь на наибольший охват потребителей тепловой сети первой зоны, примыкающей к ТЭЦ.

Графики давлений для гидродинамического режима разрабатывают для условий установившегося движения воды в трубопроводах тепловой сети при расчетных расходах и наивысшей расчетной температуре воды. Линии графиков давлений представляют собой геометрическое место точек верхних концов отрезков, выражающих пьезометрические высоты отдельных точек тепловой сети.

Пьезометрическая высота является той частью полного гидродинамического напора, которая используется на образование гидродинамического давления. Полный напор отсчитывают от того же условного уровня, от которого отсчитывают и геодезическую высоту. Пьезометрическая высота, или пьезометрический напор, отсчитывается от геодезической высоты положения воды. Пьезометрическая высота определяет избыточное давление воды в данной точке.

При разработке графиков давлений для гидродинамического режима:

определяют необходимость установки на тепловой сети подкачивающих насосов, место их размещения и напоры;

проверяют необходимость установки на тепловой сети регуляторов давления, определяют место их размещения и пределы регулирования;

уточняют напор сетевых насосов с учетом установки на тепловой сети подкачивающих насосов и регуляторов давления;

проверяют напор подпиточных насосов у источника тепла, выбранный при разработке статического режима, и определяют необходимость регулирования давления подпитки;

определяют располагаемые напоры в узлах ответвлений и на вводе тепловой сети в центральные тепловые пункты и пункты отдельных зданий.

Давление в любой точке системы при гидродинамическом режиме должно обеспечивать заполнение системы водой, предотвращать вскипание воды и не превышать допустимого по прочности оборудования подогревательных установок, трубопроводов тепловой сети и местных систем присоединяемых зданий. Эти условия принимают при разработке графиков и давлений как при расчетных расходах и расчетной температуре воды, так и при отклонениях от расчетных, возможных в данной системе.

Давление, предотвращающее вскипание воды, должно быть не менее давления сухого насыщенного пара при температуре насыщения и приближенно с достаточной для практических расчетов точностью может приниматься по данным табл. 9.29.

Для водогрейных котлов дополнительно учитывают возможность локального вскипания воды в трубках поверхности нагрева и наименьшее давление, предотвращающее вскипание воды, принимают при температуре насыщения, превышающей расчетную на 30° С. На входе в котел давление должно быть выше на величину

Таблица 9.29

Расчетная температура воды в °С	Давление в *м вод. ст.*
До 110	5
120	10
130	20
140	30
150	40
160	55
170	72
180	93

гидравлических потерь давления в котле при наибольшем расчетном расходе воды.

Приближенно наименьшее давление воды на входе в котел можно принимать по табл. 9.30.

Таблица 9.30

Расчетная температура воды в °С в тепловой сети	Давление в *м вод. ст.*
110	40
120	50
130	60
140	87
150	108
160	135
170	165
180	210

Наибольшее давление для линейной части тепловой сети принимают в зависимости от типа применяемых труб и арматуры. Для местных систем это давление принимают по соответствующим проектам в зависимости от типов нагревательных приборов.

Для подогревателей сетевой воды и насосов наибольшее давление принимают по техническим условиям на их поставку.

Величина наибольшего давления воды для некоторых типов оборудования источников тепла и местных систем дана в табл. 9.31.

Таблица 9.31

Оборудование	Наибольшее давление воды в *м вод. ст.*
Подогреватели сетевой воды типов БО и БП Саратовского машиностроительного завода	140
Пароводяные подогреватели по МВН Оргэнергостроя	100
Водоводяные подогреватели по МВН Оргэнергостроя	100
Водогрейные стальные котлы Бийского завода производительностью 50, 100 и 180 *Гкал/ч*	250
Водогрейные стальные котлы Дорогобужского завода производительностью 12, 25, 50 *Гкал/ч*	250
Чугунные водогрейные котлы	60

Продолжение табл. 9.31

Оборудование	Наибольшее давление воды в *м вод. ст.*
Местные системы присоединяемых зданий:	
системы отопления и вентиляции с чугунными радиаторами	60
то же, с бетонными панелями со змеевиками из труб	80
то же, с бетонными беструбными панелями	40
то же, с конвекторными приборами	90
системы вентиляции промышленных зданий с калориферами по ГОСТ 7201—62	80
системы горячего водоснабжения при их независимом присоединении через водяные подогреватели	100
то же, из стальных труб при их непосредственном присоединении (открытая система)	80
то же, при применении пластмассовых труб	40

Линия графика давлений в подающем трубопроводе должна при расчетном и других режимах размещаться выше линии, соединяющей верхние концы отрезков, которые выражают избыточные давления, предотвращающие вскипание воды (табл. 9.29 и 9.30) в точках наивысшего положения воды в тепловой сети, в местных системах, в подогревателях сетевой воды или в водогрейных котлах.

Эта условная пограничная линия в отличие от горизонтальной линии статического давления следует за геодезическими отметками положения воды в системе.

В то же время линия графика давлений в подающем трубопроводе и линия графика давлений в обратном трубопроводе не должны создавать давлений в отдельных точках системы, превышающих допускаемые по условиям прочности ее узлов, что определяет высшее положение линий графика.

Уклон линий графика давлений, характеризующий потерю давления в трубопроводах, принимают для каждого участка по гидравлическому расчету трубопроводов тепловой сети.

При незначительной разнице в удельных потерях давления на трение на отдельных участках тепловой сети или при приближенной оценке гидродинамического режима можно при построении графиков давлений уклон линий принимать по полной величине потери давления в расчетной магистрали от источника тепла до конечного потребителя.

Соответствующим подбором напоров сетевых и подпиточных насосов и размещением на тепловой сети в случае необходимости подкачивающих насосов или регуляторов для местного снижения давления определяют оптимальное положение линий давлений графика.

По сравнению с режимом системы при работе только сетевых насосов источника тепла подкачивающие насосы на подающем трубопроводе тепловой сети позволяют снизить давление воды в подогревательной установке источника тепла и в подающем трубопроводе между источником тепла и подкачивающим насосом.

Подкачивающие насосы на обратном трубопроводе тепловой сети позволяют снизить давление в подогревательной установке источника тепла и во всей тепловой сети, за исключением участка обратного трубопровода между источником тепла и подкачивающим насосом.

В обоих случаях напор сетевых насосов снижается на величину напора, принятую для подкачивающих насосов.

Для существующих тепловых сетей подкачивающие насосы, увеличивая располагаемый напор, повышают пропускную способность.

Установка на отдельных участках на подающем или обратном трубопроводах тепловой сети дополнительных сопротивлений — регуляторов давлений, также позволяет снизить давление в тепловой сети за этим регулятором (по ходу воды).

Ниже рассмотрены некоторые характерные примеры графиков давлений (пьезометров) двухтрубной водяной тепловой сети.

Удельные потери давления условно приняты одинаковыми по всей длине расчетной магистрали.

На рис. 9.17 показан график давлений для тепловой сети жилого района при ровном рельефе местности и

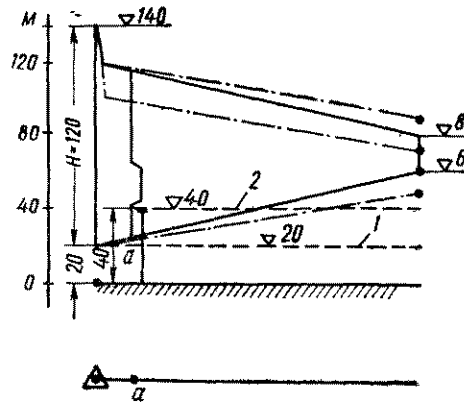


Рис. 9 17. График давлений в тепловой сети при ровном рельефе земли и небольшой протяженности магистрали

1 — линия статического давления при расположении в районе *4—5*-этажных зданий, *2* — линия статического давления при расположении в районе зданий высотой 40 *м*; *а* — место установки на ответвлении клапана подпора, *H* — напор сетевого насоса в *м*

небольшой протяженности сети. Рассмотрены два случая — при высоте присоединяемых зданий до 20 *м* и до 40 *м*.

В первом случае напор подпиточного насоса, выбранный при статическом режиме из условий заполнения системы в холодном состоянии равным 20 *м вод. ст.*, может оставаться без изменения и при гидродинамическом режиме, что обеспечивает наиболее простую схему подпиточного устройства.

Во втором случае напор подпиточного насоса, выбранный при статическом режиме равным 40 *м вод. ст.*, при гидродинамическом режиме должен быть снижен до 20—30 *м вод. ст.*, так как при поддержании его на прежнем уровне давление воды у удаленных потребителей превысит допустимые пределы.

При этом давление в обратном трубопроводе в районе, примыкающем к источнику тепла, получается ниже статического, т. е. ниже высоты местных систем присоединяемых зданий.

Для обеспечения работы местных систем этой группы зданий на обратном трубопроводе ввода тепловой сети в каждое здание или для группы зданий устанавливают автоматические клапаны регуляторы подпора, которые поддерживают постоянное давление до себя, обеспечивающее при всех режимах заполнение водой местных систем присоединяемых зданий.

На рис. 9.18 показан график давлений при ровном рельефе местности, но при большой протяженности расчетной магистрали (порядка 10—12 *км*).

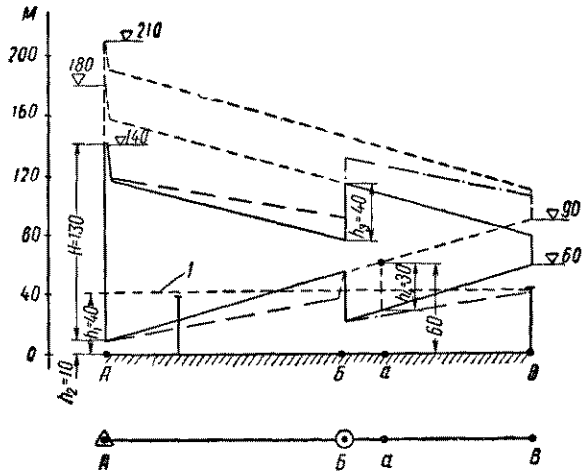


Рис. 9.18. График давлений в тепловой сети большой протяженности

А — источник тепла; *Б* — место размещения подкачивающих насосов; *а* — возможное место размещения подкачивающего насоса на обратном трубопроводе; *В* — конечный потребитель, *1* — линия статического давления, *Н* — напор сетевого насоса в *м*, h_1 — напор подпиточного насоса источника тепла в *м*; h_2 — давление подпитки при циркуляции воды в системе; h_3 — напор подкачивающего насоса на подающей в *м*, h_4 — напор подкачивающего насоса на обратной в *м*

Необходимые условия в системе обеспечивают в этом случае подкачивающие насосы, установленные на обратном и подающем трубопроводах.

На рис. 9.19 показан график давлений для тепловой сети небольшой протяженности с расчетным графиком температур 150—70° С и безэлеваторным непосредственным присоединением местных систем при высоте зданий 20 *м*.

Напор подпиточных насосов при циркуляции воды в системе должен быть выше, чем при статическом режиме, так как иначе не будет обеспечена невскипаемость воды с температурой 150° С в высшей точке местных систем. Однако давление подпитки при этом может оказаться недопустимым по условиям прочности сетевого насоса. В данном случае возможно оставить напор подпиточных насосов равным 20 *м вод. ст.*, увеличить напор сетевых насосов с 35 до 65 *м вод. ст.* и предусмотреть автоматическое снижение давления в обратном трубопроводе специальным регулятором постоянного давления после себя.

На рис. 9.20 показан график давлений при понижающемся от источника тепла рельефе местности.

Напор подпиточных насосов при циркуляции воды в системе в таком случае, как правило, выбирают наименьшим. Место размещения и напор подкачивающих насосов определяют с условием, чтобы у потребителей, расположенных на наиболее низких отметках, поддерживалось давление не более 60 *м вод. ст.*

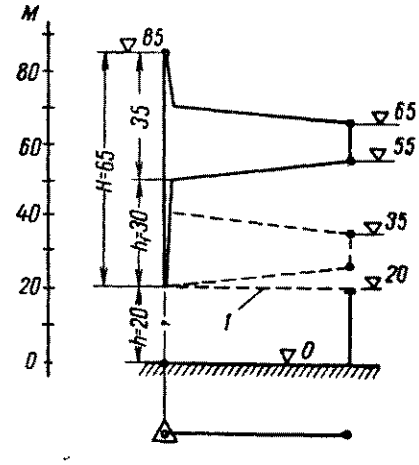


Рис. 9 19. График давлений в тепловой сети небольшой протяженности и при работе местных систем зданий на перегретой воде

1 — линия статического давления; *Н* — напор сетевого насоса в *м*, *h* — напор подпиточного насоса в *м*; h_1 — местное снижение давления на обратном трубопроводе в *м*

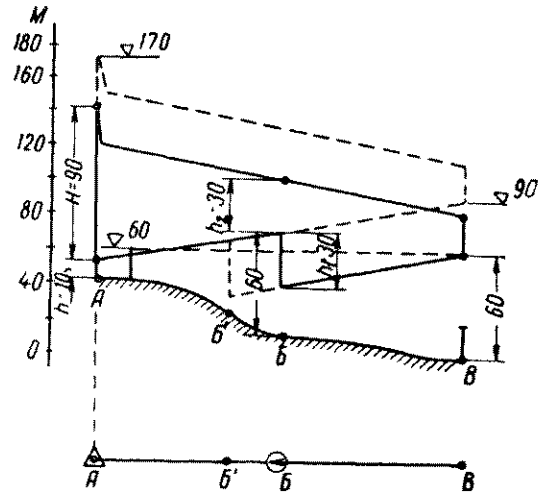


Рис. 9.20. График давлений в тепловой сети при понижающемся от источника тепла рельефе земли

А — источник тепла; *Б—Б'* — зона возможного размещения подстанции подкачки; *Н* — напор сетевого насоса в *м*; *h* — напор подпиточного насоса в *м*; h_1 — напор подкачивающего насоса в *м*, h_2 — располагаемый напор перед подкачивающим насосом в *м*

На рис. 9.21 показан график давлений для тепловой сети при понижающемся рельефе местности и при транзитной магистрали между источником тепла и потребителями. В этой системе функции сетевых и подкачивающих насосов совмещены. Циркуляцию воды обеспечивает одна группа насосов, расположенных не у источника тепла, а на трассе тепловой сети.

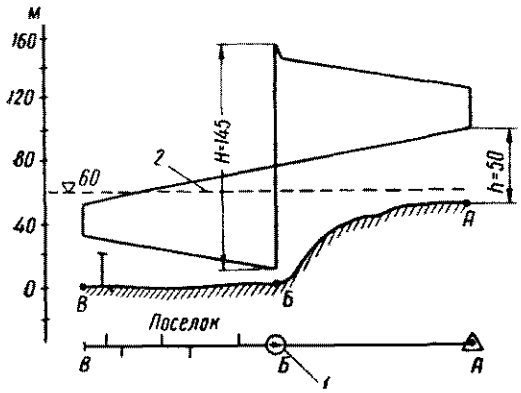


Рис. 9.21. График давлений в тепловой сети при понижающемся от источника тепла рельефе земли и транзитной магистрали на главном участке

А — источник тепла; *Б* — место размещения сетевых насосов; *В* — конечный потребитель; *Н* — напор сетевого насоса; *h* — напор подпиточного насоса источника тепла; *1* — сетевой насос; *2* — линия статического давления

Подпиточные насосы расположены у источника тепла. Напор подпиточных насосов принимают в данном случае такой, чтобы предотвратить вскипание воды при циркуляции воды с расчетной температурой. Давление в обратном трубопроводе на транзитном участке превышает давление в подающем.

Давление в подающем трубопроводе на конечных участках магистрали ниже статического, однако это не приведет к вскипанию воды в трубопроводах при расчетной температуре 150° С.

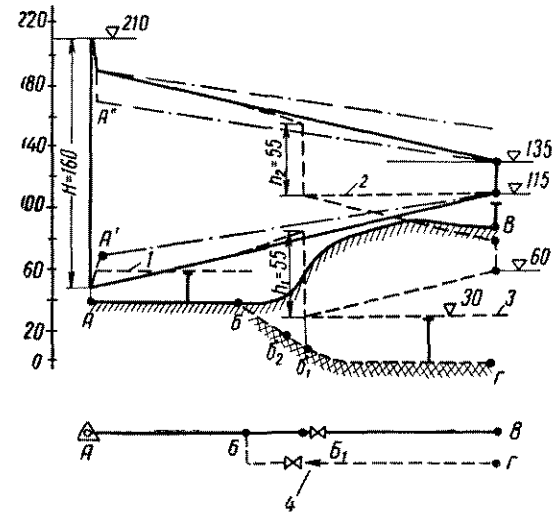


Рис. 9.23. График давлений в тепловой сети при сложном рельефе земли

А — источник тепла, *Б* — узел ответвления, *В* и *Г* — конечные потребители; $Б_1$ и $Б_2$ — зоны возможного размещения подкачивающего насоса: *Н* — напор сетевого насоса в *м*, h_1 — напор подкачивающего насоса в *м*, *h* — величина местного понижения давления в подающем трубопроводе ответвления в *м*, *1*, *2* и *3* — линии статического давления в первой, второй и третьей зонах, *4* — подкачивающие насосы на обратном трубопроводе ответвления

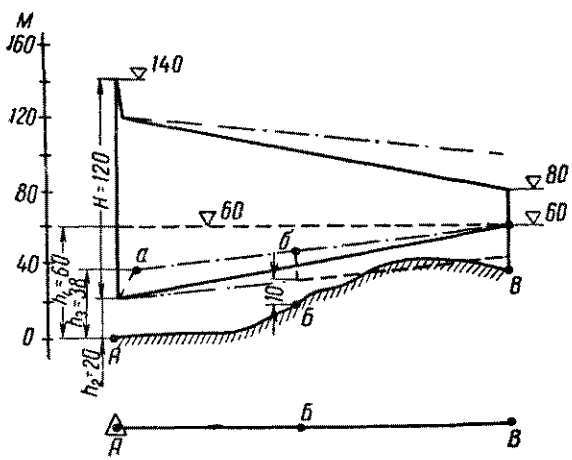


Рис. 9.22. График давлений в тепловой сети при повышающемся от источника тепла рельефе земли

А — источник тепла; *В* — конечный потребитель, *Б* — место установки регулирующего прибора, *Н* — напор сетевого насоса; h_1 — напор подпиточного насоса; h_2 — давление подпитки при циркуляции воды в системе; h_3 — давление подпитки при уменьшении расхода воды в системе (вариант регулирования)

На рис. 9.22 показан график давлений при повышающемся рельефе местности от источника тепла к потребителям. При расчетном расходе воды положение линий графика обеспечивает все необходимые требования. При снижении расхода воды необходимо дополнительно регулировать давление в обратном трубопроводе на коллекторе источника тепла или же в каком-либо из узлов тепловой сети.

В рассматриваемом случае целесообразно регулировать давление в узле *Б* тепловой сети.

На рис. 9.23 показан график давлений при сложном рельефе земли в тепловом районе.

При параллельной работе нескольких источников тепла строят совмещенный график давлений для тепловых сетей всех источников. Строить совмещенный график начинают с графика основного, наиболее крупного источника тепла при работе его на свой тепловой район.

Полученные на этом графике отметки пьезометрических высот и располагаемые напоры в узлах примыкания тепловых сетей других источников принимают в качестве исходных для построения графиков давлений тепловых сетей этих источников при их совместной работе.

Рассмотренные выше примеры позволяют сделать некоторые практические выводы, которые могут облегчить разработку графиков:

1. Графики давлений для гидростатического и гидродинамического режимов рассматривают отдельно, поскольку оба режима характеризуют различное по времени и условиям работы состояние системы и решают различные задачи.

2. Линия давлений, предотвращающая вскипание воды с расчетной температурой при гидродинамическом режиме, следует за отметками положения воды в системе и при сложном рельефе местности может пересекаться с горизонтальной линией статического давления, отражающей заполнение системы холодной водой.

3. Установка на подающем или обратном трубопроводах подкачивающих насосов не предопределяет деления сети на независимые при статике зоны, так же как и не во всех случаях деления сети при статике на зоны возникает необходимость в установке подкачивающих насосов при циркуляции воды в системе.

4. Напор подпиточных насосов, принятый из условий заполнения системы в холодном состоянии, следует обязательно проверять при гидродинамическом режиме, поскольку он может оказаться либо недостаточным, либо излишним для гидродинамического режима.

5. Напор сетевых насосов, принятый на основе гидравлических расчетов, как сумма потерь давления при расчетных расходах воды в подогревательной установке, в трубопроводах тепловой сети (по расчетной магистрали) и в местной системе наиболее удаленного потребителя, надо проверять по графику давлений при гидродинамическом режиме, поскольку его могут уменьшить установленные подкачивающие насосы и увеличить установленные в тепловой сети регуляторы давления.

ГЛАВА 10

РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ И НА КОМПЕНСАЦИЮ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ

10.1. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ

Основной задачей расчета трубопроводов на прочность является определение или проверка толщин стенок труб, пролетов между подвижными опорами и допускаемых компенсационных напряжений.

Расчет на прочность трубопроводов тепловых сетей, как подведомственных Госгортехнадзору по 2, 3 и 4-ой категориям, производится в соответствии с п. 38 «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды», по «Нормам расчета элементов паровых котлов на прочность» ЦКТИ, изд. 1957 г. и «Дополнениям к нормам расчета элементов паровых котлов на прочность» ЦКТИ, принятым Госгортехнадзором в 1958 г.

Для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в настоящее время применяется метод расчета труб на прочность, приведенный в главе СНиП II-Д.10-62, учитывающий специфику условий работы этих трубопроводов.

При расчете трубопроводов на прочность учитывают следующие основные нагрузки: внутреннее давление теплоносителя, собственный вес трубопроводов, ветровую нагрузку (при надземной прокладке) и силы, возникающие при тепловых удлинениях трубопроводов. К последним относятся: силы упругой деформации и изгибающие моменты гибких компенсаторов, в том числе и углов поворотов, используемых для компенсации; силы трения в подвижных опорах при надземной прокладке и прокладке в каналах; силы трения в сальниковых компенсаторах.

При расчете трубопроводов тепловых сетей на прочность предусматривается полное использование допускаемого напряжения от приведенных выше нагрузок за счет перераспределения напряжений от этих нагрузок между собой.

Следствием перераспределения напряжений от различного вида нагрузок является возможность увеличения пролетов между подвижными опорами, уменьшения вылетов гибких компенсаторов или длин компенсирующих плеч (для участков самокомпенсации) при недоиспользовании допускаемого напряжения от внутреннего давления.

Расчет трубопроводов производят на рабочее состояние, при котором принимают:

а) внутреннее давление теплоносителя — равным наибольшему рабочему давлению с учетом возможного повышения его при изменениях в режиме работы оборудования (турбин, насосов), а для водяных сетей (и конденсатопроводов) также с учетом отметки положения трубопроводов. Для подающего и обратного трубопроводов тепловых сетей допускается принимать различную величину рабочего давления в соответствии с действительным гидравлическим режимом системы, но не менее 10 *кгс/см*^{2};

б) температуру стенки трубы — равной максимально возможной температуре теплоносителя; для паропроводов — по температуре пара на коллекторе источника тепла с учетом колебаний в температуре при различных режимах работы оборудования (турбин, котлов); для конденсатопроводов — по температуре конденсата после конденсатоотводчиков или конденсатных насосов; для подающего трубопровода двухтрубной водяной сети — по наивысшей расчетной температуре на коллекторе источника тепла (с учетом повышения температуры на потери тепла в тепловой сети), а для обратного трубопровода — по наивысшей расчетной температуре воды по графику температур с учетом температуры, принимаемой во время тепловых испытаний тепловой сети (но не менее 100° С);

в) расчетный вес — равным весу трубы, теплоизоляционной конструкции и воды при теплоносителе — воде и весу трубы и теплоизоляционной конструкции при паре. Определившиеся при расчете на рабочее состояние пролет между опорами (для паропроводов) и габариты гибких компенсаторов (при учете их предварительной растяжки в холодном состоянии) проверяют на холодное состояние, при котором принимают:

а) внутреннее давление теплоносителя равным рабочему давлению;

б) температуру стенки трубы равной 20° С;

в) расчетный вес равным весу трубы, теплоизоляционной конструкции и воды.

Номинальное допускаемое напряжение и модуль упругости стали принимают соответствующими той температуре стенки, для которой производят расчет.

Расчет трубопроводов на прочность производят для наиболее напряженного сечения т. е. для сечения, в котором сочетание действующих нагрузок создает максимальное суммарное эквивалентное напряжение.

При проверке сечения с поперечным сварным швом напряжения от всех нагрузок, кроме внутреннего давления, определяют с учетом коэффициента прочности поперечного сварного шва.

Толщину стенки трубы, находящуюся под внутренним давлением, определяют при рабочем давлении теплоносителя по формулам:

при гибких компенсаторах и самокомпенсации (неразрезанные трубы)

$$s' = \frac{P_{раб} D_н}{230 \sigma_{доп} \varphi + P_{раб}} + c \text{ мм}; \qquad (10.1)$$

при сальниковых компенсаторах (разрезанные трубы)

$$s' = \frac{P_{раб} D_н}{200 \sigma_{доп} \varphi + P_{раб}} + c \text{ мм}, \qquad (10.2)$$

где $P_{раб}$ — рабочее давление теплоносителя в *кгс/см²*;

$D_н$ — наружный диаметр трубы в *мм*;

c — прибавка к расчетной толщине стенки трубы в *мм*;

$\sigma_{доп}$ — допускаемое напряжение от внутреннего давления в *кгс/мм²* принимают равным номинальному допускаемому напряжению $\sigma^*_{доп}$ и определяют по табл. 10.1;

φ — коэффициент прочности продольного или спирального сварного шва; принимают для сварных труб по табл. 10.2.

Таблица 10.1

Номинальные допускаемые напряжения $\sigma^*_{доп}$ в *кгс/мм²*

(по «Дополнениям к нормам расчета элементов паровых котлов на прочность, принятым в 1958 году» ЦКТИ)

Расчетная температура стенки трубы в °С	Номинальные допускаемые напряжения для марок стали					
	Ст. 2	10	Ст. 3	15	Ст. 4	20
20	11,7	12	13	13,3	14,3	14,7
100	11,15	11,5	12,4	12,75	13,6	14,05
150	10,8	11,2	12,05	12,4	13,2	13,65
200	10,5	10,9	11,7	12,1	12,8	13,3
240	9,7	10	10,7	11,1	11,7	12,2
260	9,3	9,6	10,3	10,6	11,1	11,6
280	8,9	9,2	9,8	10,1	—	11,1
300	8,5	8,8	9,4	9,7	—	10,5
320	—	8,3	—	9,2	—	10
340	—	7,9	—	8,7	—	9,5
360	—	7,5	—	8,2	—	9,0
380	—	7,1	—	7,7	—	8,5
400	—	6,7	—	7,3	—	8
410	—	6,5	—	7,1	—	7,7
420	—	6,3	—	6,9	—	7,5
430	—	5,9	—	6,5	—	7,3

Примечания: 1. Для промежуточных значений расчетной температуры стенки трубы допускаемое напряжение определяют интерполяцией между двумя ближайшими величинами с округлением результата до 0,05 *кгс/мм²* в сторону меньшей величины.

2. Значения $\sigma^*_{доп}$ для температур стенки трубы 100 и 150° С определены интерполяцией.

Толщину стенки трубы s', определенную по формулам (10.1) и (10.2), округляют до ближайшего большего размера s по «Сортаменту труб тепловых сетей» или по ГОСТ.

Округление толщины стенки в меньшую сторону разрешается на величину не более 3% от величины $(s' - c)$.

Таблица 10.2

Коэффициенты прочности сварного шва

Конструкция шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварного шва
Стыковой шов при ручной сварке с подваркой со стороны вершины шва	0,95
Стыковой шов при ручной односторонней сварке при наличии со стороны вершины шва подкладки или кольца, прилегающих к основному металлу по всему периметру	0,9
Стыковой шов при ручной односторонней сварке	0,7
Стыковой шов с двусторонним проваром, выполняемый автоматической сваркой под слоем флюса	1
Стыковой шов, свариваемый только с одной стороны автоматической сваркой под слоем флюса	0 8

Примечание. Коэффициент прочности спирального шва для сварных труб по ГОСТ 8696—58 с учетом допускаемого по ГОСТ непровара шва принимают равным 0,6, а по ГОСТ 8696—62 — 0,8.

Величину прибавки c для бесшовных труб определяют по формуле

$$c = A_1 (s' - c) \text{ мм}, \qquad (10.3)$$

где A_1 — коэффициент, принимаемый в зависимости от величины технологических минусовых допусков на толщину стенки труб, предусмотренных ГОСТ:

при минусовом допуске —15% . . . A_1=0,2
то же . . . . . —10% . . . A_1=0,15
— 5% . . . A_1=0,1.

При минусовых допусках, имеющих промежуточное значение, коэффициент A_1 определяют интерполяцией.

Определенная по формуле (10.3) величина c включает компенсацию утонения стенки в гибах труб при условии, что средний радиус гиба будет не менее $3{,}5\ D_н$.

При применении гнутых труб с радиусами гиба меньшими, чем указанные выше, величина коэффициента A_1 должна быть умножена на величину $\frac{3{,}5 D_н}{R}$, где R — радиус оси гнутой трубы в *мм*.

Величину прибавки c для сварных труб принимают равной величине допускаемых минусовых отклонений по толщине стального листа по соответствующим ГОСТам.

Величину прибавки c во всех случаях принимают не менее 0,5 *мм*.

Для применяемых в тепловых сетях бесшовных труб обычной точности изготовления по ГОСТ 8732—58 * значение коэффициента A_1 принимают равным 0,2, так как отклонение по толщине стенки при изготовлении этих труб по ГОСТу составляет —15%.

Величину прибавки c для сварных труб по ГОСТ 4015—58 и 8696—62, учитывающую минусовое отклонение по толщине стенки трубы, принимают по ГОСТ 8597—57 на сталь рулонную и по ГОСТ 5681—57 на сталь прокатную толстолистовую:

при толщине листа 5—5,5 *мм* c=0,5 *мм*;
то же, 6—7 *мм* c=0,6 *мм*;
8 *мм* и более { c=0,8 *мм*—для труб по ГОСТ 4015—58; c=0,7 *мм*—для труб по ГОСТ 8696—62

Величину прибавки c для сварных труд обычной точности изготовления по ГОСТ 1753—53 принимают равной 10%, а по ГОСТ 3262—62 — 15% от толщины стенки трубы.

В толщине стенки труб при всех видах надземной и подземной прокладки тепловых сетей запас на наружную коррозию не предусматривают.

при сальниковых компенсаторах (разрезанные трубы)

$$\sigma_{пр} = \frac{P_{раб}\,(D_н - s^р)}{200\,s^р\,\varphi}\ кгс/мм^2, \qquad (10.6)$$

где $s^р$ — расчетная толщина стенки трубы в *мм*.

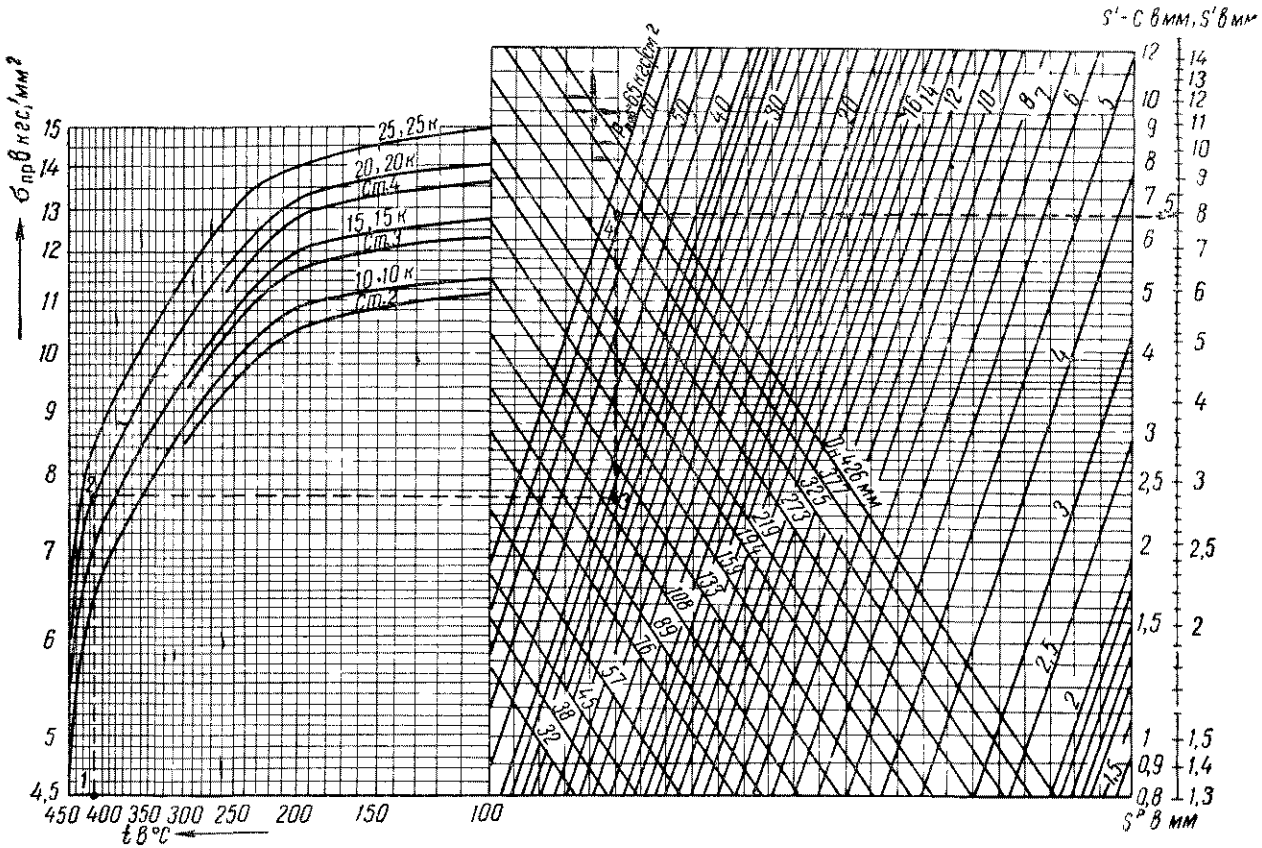


Рис. 10.1. Номограмма для определения толщины стенки трубы s' и приведенного напряжения от внутреннего давления $\sigma_{пр}$ для бесшовных неразрезанных труб

Пример. Определить толщину стенки бесшовной трубы наружным диаметром $D_н = 325$ *мм* при теплоносителе паре с давлением $P_{раб} = 37$ *кгс/см²* и температурой $t = 425°C$; материал стенки трубы — сталь марки 20. Соединяя последовательно точки *1*, *2*, *3*, *4* и *5*, определяем в точке *5* $s' = 7{,}9$ *мм*

При заданной толщине стенки трубы проверку этой толщины по внутреннему давлению производят сравнением приведенного напряжения в стенке трубы от внутреннего давления теплоносителя $\sigma_{пр}$ с допускаемым напряжением от внутреннего давления $\sigma_{доп}$, при этом надо соблюдать условие

$$\sigma_{пр} \leqslant \sigma_{доп}\ кгс/мм^2. \qquad (10.4)$$

Приведенное напряжение от внутреннего давления при известной толщине стенки трубы определяют по формулам:

при гибких компенсаторах и самокомпенсации (неразрезанные трубы)

$$\sigma_{пр} = \frac{P_{раб}\,(D_н - s^р)}{230\,s^р\,\varphi}\ кгс/мм^2; \qquad (10.5)$$

Расчетную толщину стенки трубы определяют по формуле

$$s^р = s - c'\ мм, \qquad (10.7)$$

где s — номинальная толщина стенки трубы в *мм*;

c' — минусовый допуск на толщину стенки трубы по соответствующему ГОСТу в *мм*.

Для бесшовных труб по ГОСТ 8732—58 * обычной точности изготовления при допускаемом минусовом отклонении по толщине стенки трубы 15% величину c' определяют по формуле

$$c' = 0{,}15\,s\ мм. \qquad (10.8)$$

Для сварных труб величину c' принимают равной c

Величину c' во всех случаях принимают не менее 0,5 *мм*.

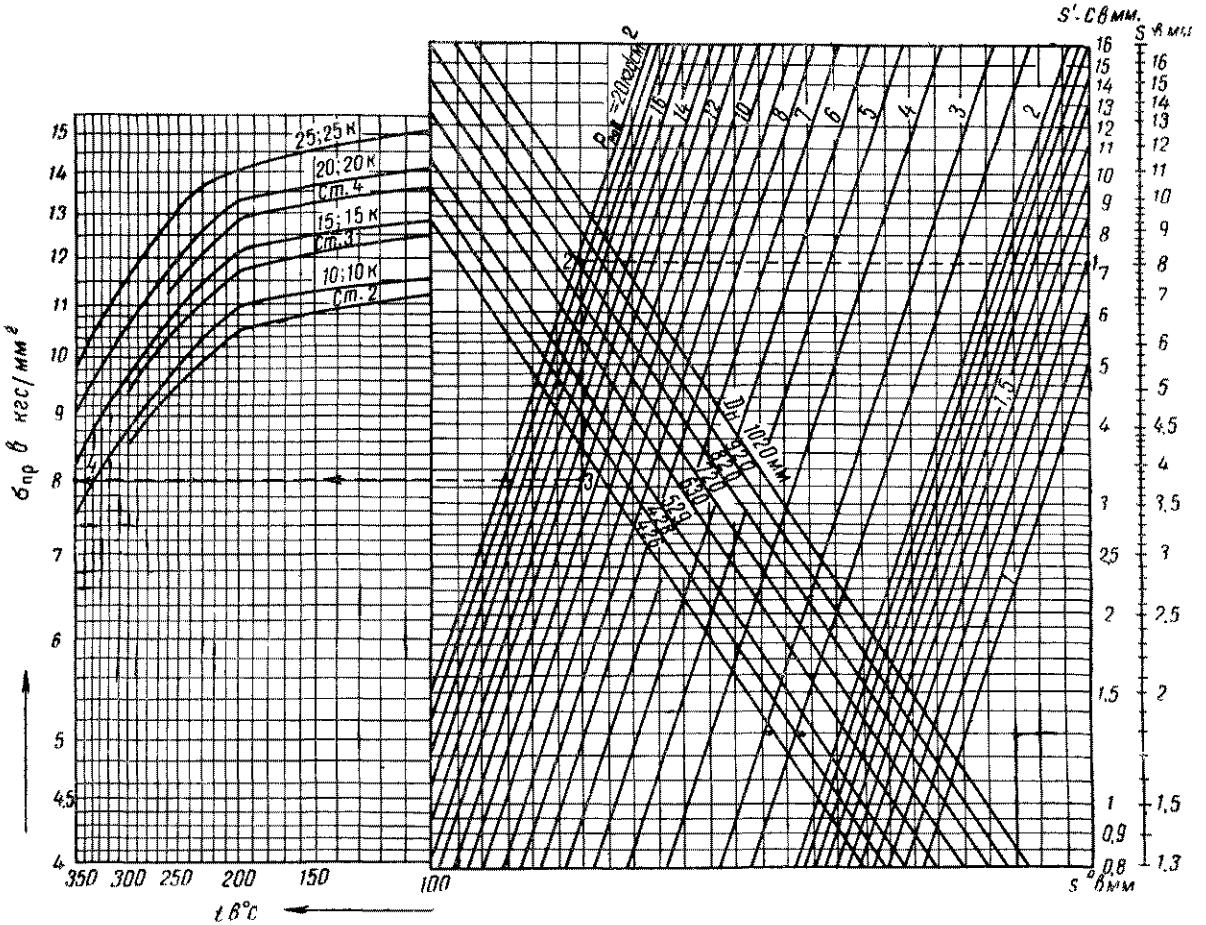


Рис. 10.2. Номограмма для определения толщины стенки трубы s' и приведенного напряжения от внутреннего давления $\sigma_{пр}$ для сварных неразрезанных труб

Пример. Определить приведенное напряжение от внутреннего давления для сварной трубы наружным диаметром $D_н = 820$ *мм*, $s^р = 7{,}2$ *мм*, при давлении теплоносителя $P_{раб} = 13$ *кгс/см²*. Соединяя последовательно точки *1*, *2*, *3* и *4*, определяем в точке $4\sigma_{пр} = 8$ *кгс/мм²*.

Толщину стенки неразрезанных труб и приведенное напряжение от внутреннего давления для этих труб при известной толщине стенки трубы можно определять по номограммам, приведенным на рис. 10.1 и 10.2.

Максимальный пролет между подвижными опорами на прямом участке трубопровода из условия прочности трубы определяют по формуле

$$l_{макс} = \sqrt{\frac{12\sigma^д_э W^р \varphi_1}{0{,}8 q_э}}\ м, \qquad (10.9)$$

где $\sigma^д_э$ — допускаемое эквивалентное напряжение для весовой и ветровой нагрузок в *кгс/мм²*;

$W^р$ — момент сопротивления поперечного сечения трубы при расчетной толщине стенки трубы $s^р$ в *см³*;

φ_1 — коэффициент прочности поперечного сварного шва; принимают по табл. 10.2

$q_э$ — эквивалентная весовая нагрузка в *кгс/м*;

0,8 — коэффициент пластичности.

Допускаемое эквивалентное напряжение для весовой и ветровой нагрузок определяют по формуле

$$\sigma^д_э = \eta_1\ \sigma_{доп}\ кгс/мм^2, \qquad (10.10)$$

где η_1 — коэффициент, зависящий от соотношения $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ и типа компенсаторов, вычисляют по формулам, приведенным в табл. 10.3, или определяют по графику рис. 10.3.

Пролет между подвижными опорами при сальниковых компенсаторах определяют расчетом по растягивающим и по сжимающим напряжениям; при расчете по сжимающим напряжениям коэффициент φ_1 в формуле (10.9) принимают равным единице; за расчетный принимают меньший из полученных пролетов. Для конкретного значения коэффициента φ_1 можно заранее определить, при каких соотношениях $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ следует производить расчет на растяжение и при каких на сжатие. Так, например, при значении коэффициента $\varphi_1 = 0{,}7$ при соотношении $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ от 0 до 0,48

Таблица 10.3

Формулы для определения коэффициента η_1

Способ компенсации	Расчетные формулы
Гибкие компенсаторы или самокомпенсация	$\eta_1 = \sqrt{1{,}2 - \left(\frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{доп}}\right)^2}$ (10.11)
Сальниковые компенсаторы. Расчет труб по растягивающим напряжениям	$\eta_1 = 1{,}095$ (10.12)
Сальниковые компенсаторы. Расчет труб по сжимающим напряжениям	$\eta_1 = \sqrt{1{,}2 - 0{,}75\left(\frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{доп}}\right)^2} - \frac{\sigma_{пр}}{2\,\sigma_{доп}}$ (10.13)

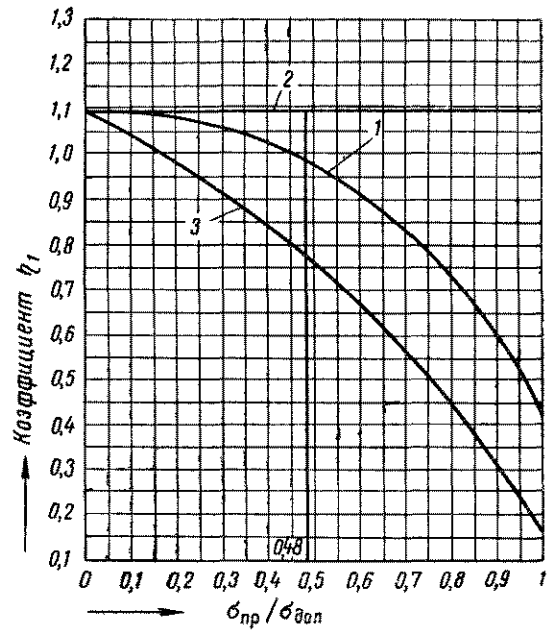


Рис. 10.3. График для определения коэффициента η_1

1 — при гибких компенсаторах или самокомпенсации; *2* — при сальниковых компенсаторах (расчет по растягивающим напряжениям); *3* — при сальниковых компенсаторах (расчет по сжимающим напряжениям); $\sigma_{пр}$ — приведенное напряжение от внутреннего давления в *кгс/мм²*; $\sigma_{доп}$ — допускаемое напряжение от внутреннего давления в *кгс/мм²*

расчет следует производить только по растягивающим напряжениям, а при значении $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ от 0,48 до 1 — по сжимающим напряжениям

Эквивалентную весовую нагрузку при подземной прокладке трубопроводов принимают равной расчетному весу трубопровода в рабочем или холодном состоянии $q_э = q$ *кгс/м*.

Эквивалентную весовую нагрузку при надземной прокладке трубопровода, учитывающую наряду с весом трубопровода ветровую нагрузку, определяют по формуле

$$q_э = m_в q \text{ кгс/м}, \qquad (10.14)$$

где $m_в$ — коэффициент, учитывающий влияние ветровой нагрузки; определяют по графику рис 10.4 в зависимости от нормативного скоростного напора ветра q_0, приведенного в табл. 10 4.

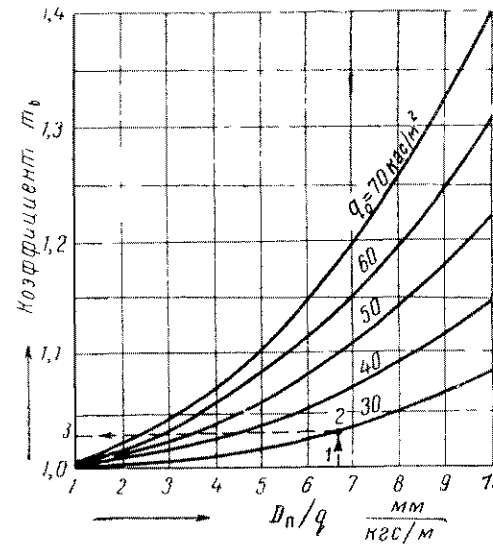


Рис 10 4 График для определения коэффициента влияния ветровой нагрузки $m_в$

q_0 — нормативный скоростной напор ветра в *кгс/м²*; $D_п$ — наружный диаметр покровного слоя изоляционной конструкции; при прокладке «труба на трубе» принимают равным сумме наружных диаметров покровного слоя изоляционной конструкции несущего и несомого трубопроводов в *мм*, q — вес трубопроводов в *кгс/м*

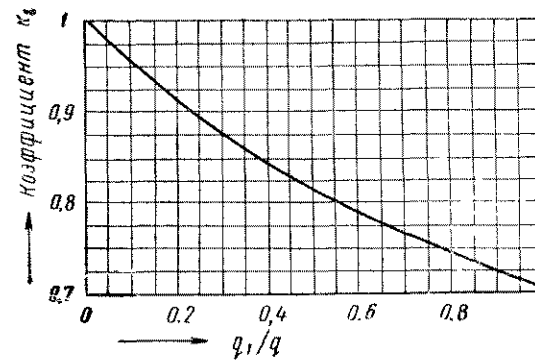


Рис 10 5 График для определения коэффициента изменечия пролета между подвижными опорами несущего трубопровода при прокладке «труба на трубе»

q_1 — вес несомого трубопровода в *кгс/м*; q — вес несущего трубопровода в *кгс/м*

Таблица 10.4

Нормативные скоростные напоры ветра для высоты над поверхностью земли до 10 м (по СНиП II-А.11-62)

Районы СССР по приложению 2 главы СНиП II-А.11-62	I	II	III	IV	V	VI	VII
Нормативный скоростной напор ветра q_0 в кгс/м²	27	35	45	55	70	85	100

Примечание. При надземной прокладке трубопроводов на высоте от 10 до 20 м табличные значения скоростных напоров ветра увеличивают на 3,5% на каждый метр высоты сверх 10 м

При использовании трубопровода в качестве несущей конструкции для прокладки труб меньшего диаметра (прокладка — «труба на трубе») пролет между подвижными опорами несущего трубопровода определяют с учетом коэффициента K_1, приведенного на графике рис. 10.5, который вводят на величину пролета, полученную по формуле (10.9).

Максимальные пролеты между подвижными опорами на прямом участке для трубопроводов из неразрезанных труб при любых толщинах стенки и весе труб можно определять по номограммам, приведенным на рис. 10.6 и 10.7.

Максимальные пролеты между подвижными опорами на прямых участках для труб по «Сортаменту труб тепловых сетей» при надземной прокладке даны в табл. 10.5.

Максимальные пролеты между подвижными опорами для конечных участков трубопроводов, участков, примыкающих к повороту или к сальниковым компенсаторам, определяют с учетом коэффициентов, приведенных в главе 3, которые вводят на величину пролетов, полученных по формуле (10.9).

Максимальный пролет между подвижными опорами по допускаемому прогибу для прямого участка трубопровода определяют по формулам ВНИИСТ из условия максимального провисания трубопровода в пролете $y_{макс} = 0{,}02D_y$ (см. рис. 10.8):

$$l_1 = \frac{\frac{21EJ^p}{q}\left(\frac{D_y}{50} + \frac{ix}{2}\right)}{x^3 \cdot 10^4} + x \text{ м}; \qquad (10.15)$$

$$l_2 = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{24EJ^p}{q \cdot 10^4} \cdot \frac{D_y}{50} \cdot \frac{1}{x^2}} \text{ м}, \qquad (10.16)$$

где D_y — условный проход трубы в м;
x — расстояние от низшей подвижной опоры до сечения с максимальным прогибом в м;
q — расчетный вес трубопровода в рабочем состоянии в кгс/м;

Таблица 10.5

Максимальные пролеты между подвижными опорами $l_{макс}$ в м на прямых участках трубопроводов при надземной прокладке (по расчету на прочность)

Размеры труб $D_н \times s$ в мм	Компенсаторы П-образные или самокомпенсация						Компенсаторы сальниковые			
	Максимальные пролеты при параметрах теплоносителя. $P_{раб}$ в кгс/см², t в °С									
	$P_{раб}$=8, t=100	$P_{раб}$=16, t=150	$P_{раб}$=8, t=250	$P_{раб}$=13, t=300	$P_{раб}$=16, t=325; $P_{раб}$=21, t=350	$P_{раб}$=36, t=425	$P_{раб}$=8, t=100	$P_{раб}$=16, t=150	$P_{раб}$=8, t=250	$P_{раб}$=13, t=300
32×2,5	—	—	3,1	3	2,5	2,1	—	—	—	—
38×2,5	4,6	4,5	3,7	3,2	2,7	2,5	—	—	—	—
45×2,5	5,2	5,1	4,2	3,7	3,2	2,7	—	—	—	—
57×3,5	6,7	6,3	5,2	5,2	4,1	3,8	—	—	—	—
76×3,5	7,5	7,3	6,4	5,8	5	4,4	—	—	—	—
89×3,5	8,7	8	7	6,3	5,4	4,9	—	—	—	—
108×4	9,4	8,7	7,8	7,1	6,2	5,6	9,6	9,1	7,8	7,4
133×4	10,5	9,7	8,7	7,9	7	6,3	10,8	10,8	8,5	8,3
159×4,5	11,8	10,9	10,1	9,2	8	7	12,3	11,7	9,7	9,4
194×5	13	12,3	11,8	10,9	9,5	7,4	13,4	13,1	11,2	10,9
219×6	14,6	13,9	13,1	12,3	10,7	9,2	17,4	14,8	12,8	12,3
273×7	16,8	15,8	15,7	15,1	13,6	10,0	17,4	16,8	15	14,6
325×8	18,9	17,8	17,8	17,3	14,9	13,9	19,6	19,2	17	17
377×9	20,7	19,6	19,3	18,9	17	15	21,5	21,2	18,5	18,3
426×9	—	—	—	—	19	—	—	—	—	—
426×11	—	—	—	—	—	15,4	—	—	—	—
426×6	19,6	17,8	18,4	17,9	—	—	21	17,2	19,5	18,3
478×6	19,9	17,9	19	17,9	—	—	21,7	16,5	20,4	17,3
529×6	19,6	17,9	19,4	18,3	—	—	22	13,5	21,2	16,8
630×7	22,8	19,7	21,7	21,4	—	—	24,6	17	23,6	19,8
720×7	22,5	19,2	22,3	21,9	—	—	24,6	13,4	25	15,2
820×8	25	20,4	24,1	22,5	—	—	26,4	14,7	25,7	15,4
920×9	27	22,1	26,2	24,3	—	—	23,9	16,6	27,7	18,9
1020×10	28,6	23,7	28,2	26,2	—	—	31,1	18,1	30	21,7

Примечания: 1. Жирная линия является границей между трубами по ГОСТ 8732—58* и ГОСТ 4015—58.

2. При определении максимальных пролетов между опорами принято: а) коэффициент прочности поперечного сварного шва – для труб при $P_{раб}$=36 кгс/см² и t=425°С условным проходом от 100 до 400 мм φ_t=0,9, для остальных труб φ_t=0,7; б) коэффициент прочности продольного сварного шва φ=0,8; в) марки стали для бесшовных труб при $P_{раб}$= 36 кгс/см², t=425° С—сталь 20; для бесшовных труб с другими параметрами теплоносителя—сталь 10; для сварных труб— Ст. 3.

3. В настоящей таблице приведены меньшие из максимальных пролетов, полученных по расчету труб на рабочее и холодное состояние (для паропроводов).

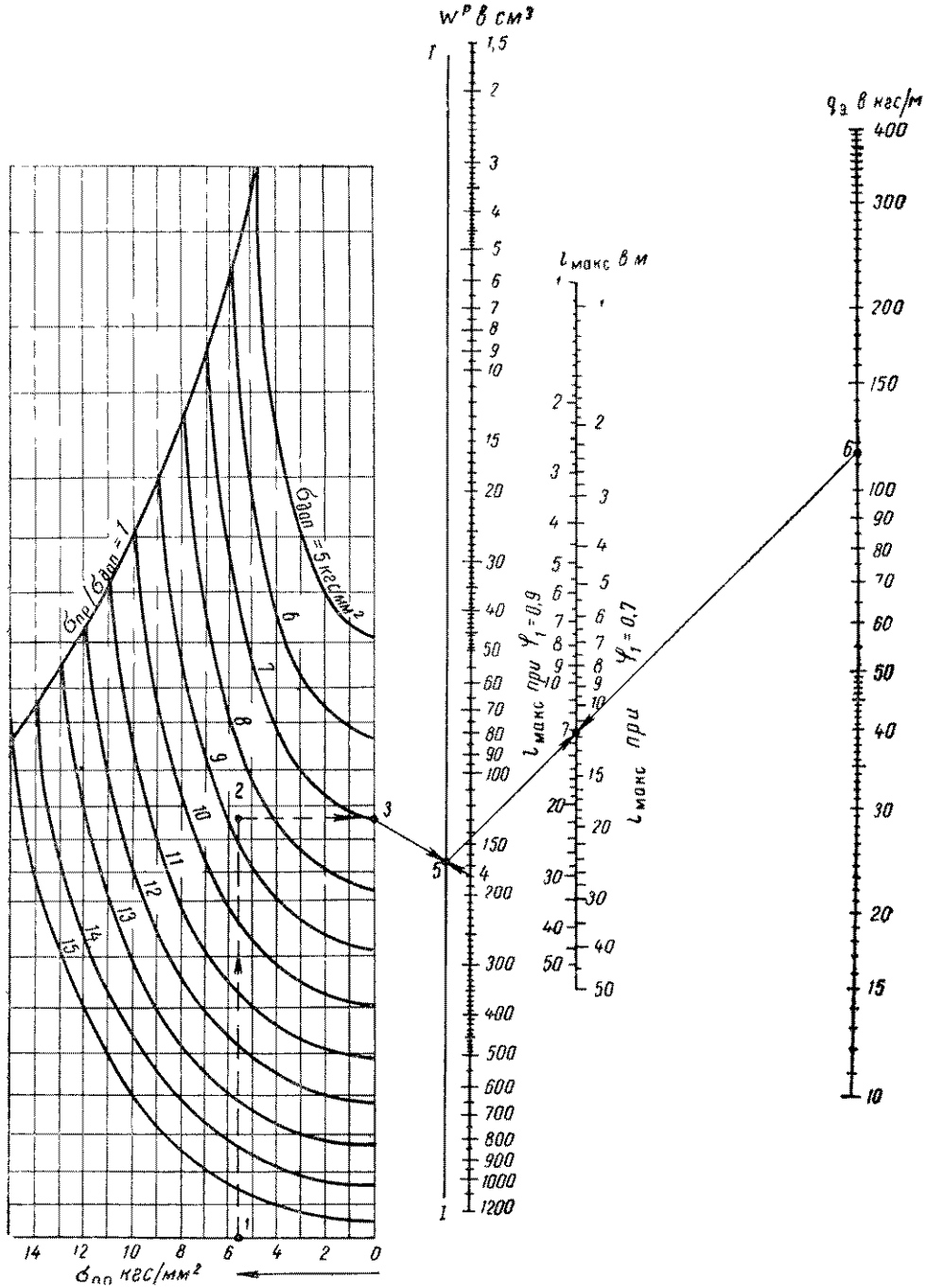


Рис. 10.6. Номограмма для определения максимального пролета между подвижными опорами $l_{макс}$ на прямом участке для трубопроводов из бесшовных неразрезанных труб по расчету на прочность

Пример. Определить величину максимального пролета на прямом участке трубопровода при приведенном напряжении от внутреннего давления $\sigma_{пр} = 5{,}82$ *кгс/мм²*, коэффициенте прочности поперечного сварного шва $\varphi_1 = 0{,}7$; $\sigma_{доп} = 8{,}8$ *кгс/мм²*, моменте сопротивления $W^p = 179$ *см³* и эквивалентной весовой нагрузке $q_э = 113$ *кгс/м*. Соединяя последовательно точки *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, находим в точке 7 $l_{макс} = 11{,}3$ *м*

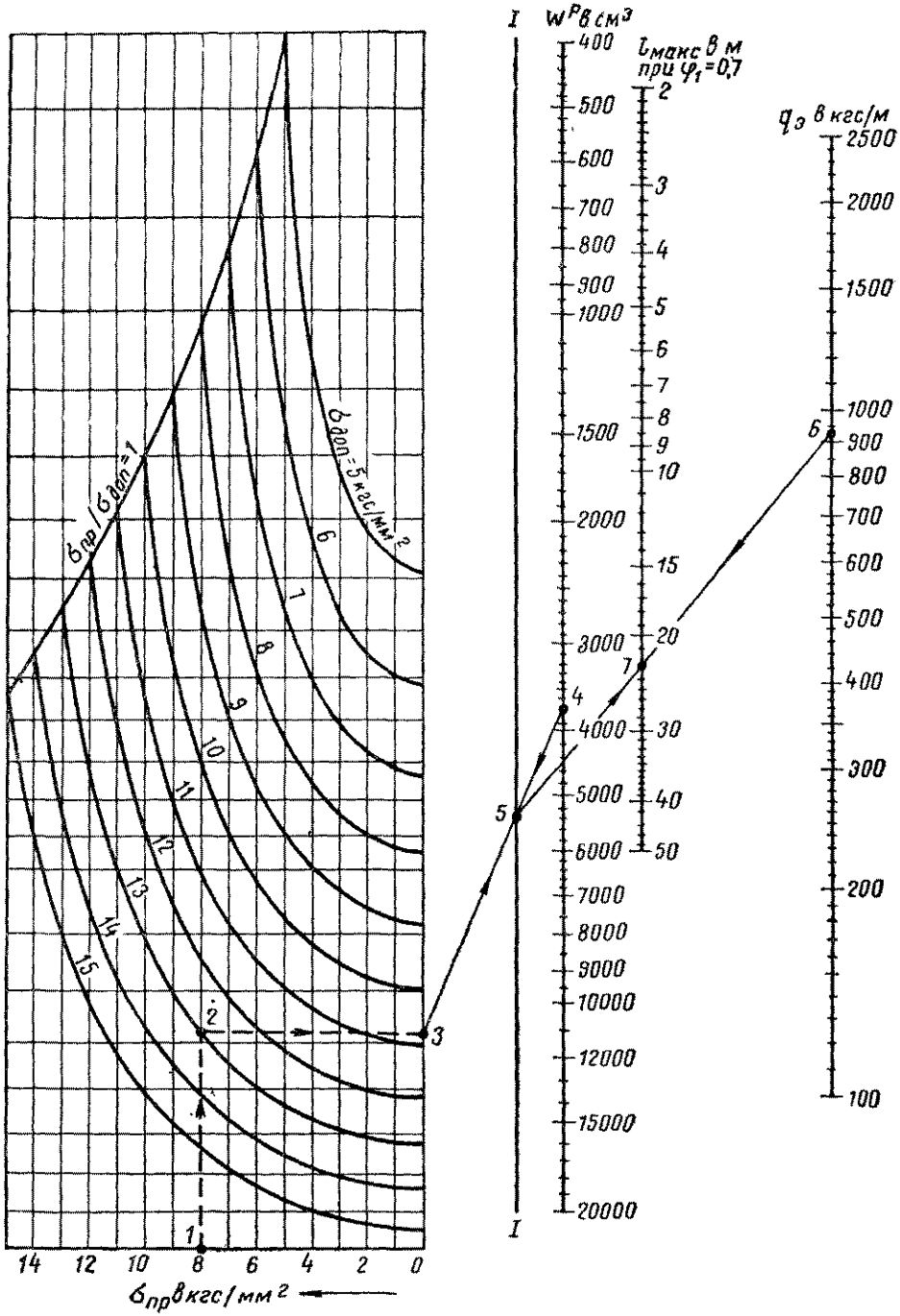


Рис. 10 7. Номограмма для определения максимального пролета между подвижными опорами $l_{макс}$ на прямом участке для трубопроводов из сварных неразрезанных труб по расчету на прочность

$J_р$ — момент инерции поперечного сечения трубы при расчетной толщине стенки трубы в *см*⁴;
E — модуль упругости трубной стали при максимальной температуре теплоносителя в *кгс/см*²;
i — уклон трубопровода.

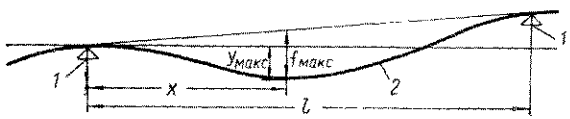


Рис. 10.8. Схема провисания трубопровода
1 — подвижная опора; *2* — трубопровод

При определении пролета между подвижными опорами по формулам следует, задаваясь величиной x, определять l_1 и l_2. Пролет между подвижными опорами по допускаемому прогибу определится при таком значении x, при котором $l_1 \approx l_2$.

Для трубопроводов тепловых сетей при минимальном уклоне $i=0{,}002$, для определения пролета между опорами по допускаемому прогибу, можно пользоваться более простой приближенной формулой

$$l = 3{,}98 \sqrt[3]{\frac{EJ_р}{q \cdot 10^6}} - 1{,}4 \text{ м}. \qquad (10.17)$$

Таблица 10.6

Максимальные пролеты между подвижными опорами на прямых участах трубопроводов при надземной прокладке (по расчету на прогиб)

Размеры труб $D_н \times s$ в *мм*	Максимальные пролеты между подвижными опорами в *м* при параметрах теплоносителя $P_{раб}$ в *кгс/см*², t в °С					
	$P_{раб}=8$; $t=100$	$P_{раб}=16$, $t=150$	$P_{раб}=8$, $t=250$	$P_{раб}=13$, $t=300$	$P_{раб}=16$, $t=325$; $P_{раб}=21$, $t=350$	$P_{раб}=36$, $t=425$
32×2,5	—	—	2,1	2	2	1,8
38×2,5	3	2,7	2,5	2,3	2,3	2,2
45×2,5	3,4	3,2	2,9	2,7	2,6	2,5
57×3,5	4,4	4,3	3,8	3,8	3,6	3,4
76×3,5	5,3	5,2	4,9	4,8	4,6	4,4
89×3,5	6,1	5,9	5,5	5,4	5	5
108×4	6,8	6,3	6,3	6,2	5,9	5,7
133×4	8	7,9	7,5	7,1	6,9	6,8
159×4,5	9,2	9	8,7	8,3	8	7,8
194×5	10,6	10,4	10,5	10,2	9,7	9,4
219×6	11,9	11,7	11,9	11,3	11,1	10,6
273×7	14,4	14,2	14,6	14	13,4	13,3
325×8	16,6	16,2	17,2	16,7	16	15,5
377×9	18,4	18,3	19,4	18,9	18,3	17,8
426×9	—	—	—	—	20	—
426×11	—	—	—	—	—	20
426×6	18,2	18	20,1	19,5	—	—
478×6	19,4	19,3	21,9	21	—	—
526×6	20,7	20,5	23,4	22,7	—	—
630×7	23,5	23,5	27,4	26,7	—	—
720×7	25,5	25,5	30,3	29,6	—	—
820×8	27,8	27,7	34,2	33	—	—
920×9	30,8	30,2	38,2	36,9	—	—
1020×10	33	32,5	42,1	40,8	—	—

Примечания: 1. Жирная линия является границей между трубами по ГОСТ 8732—58* и ГОСТ 4015—58.
2. Таблица составлена при величине уклона трубопровода $i=0{,}002$.

Максимальные пролеты между подвижными опорами, определенные по допускаемому прогибу для труб по «Сортаменту труб тепловых сетей», даны в табл. 10.6.

При прокладке в непроходных каналах труб больших диаметров величину пролета ограничивают предельной нагрузкой на подушку опоры трубопровода. При надземной прокладке труб различных диаметров на эстакадах пролет между опорами ограничивают унифицированным шагом типовых эстакад. При надземной прокладке труб различных диаметров на отдельно стоящих опорах пролет принимают по оптимальным условиям непосредственного опирания на опору наибольшего количества труб без устройства дополнительных промежуточных опор. При прокладке «труба на трубе» (или при подвеске «трубы к трубе») пролет несомой трубы принимают кратным принятому пролету несущей трубы. При прокладке по стенам зданий пролет принимают кратным шагу несущих колонн здания.

Во всех случаях принятый пролет между подвижными опорами не должен превышать максимального пролета по расчету на прочность и на допускаемый прогиб, при этом допускаемое изгибающее компенсационное напряжение, полученное при принятом пролете, должно обеспечивать необходимые габариты компенсаторов и длины участков самокомпенсации.

Допускаемое изгибающее компенсационное напряжение, возникающее при компенсации тепловых удлинений гибкими компенсаторами или самокомпенсацией, определяют по формулам:

для трубопроводов, расположенных в горизонтальной плоскости

$$\sigma^д_{и.к} = \sqrt{\left(\sigma^д_{экв} - \frac{\sigma^{оп}_{тр}}{\varphi_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\varphi_1}{0{,}8}\right)^2 - \sigma_и^2} - \sigma_{и.в} \text{ кгс/мм}^2, \qquad (10.18)$$

для трубопроводов, расположенных в вертикальной плоскости

$$\sigma^д_{и.к} = \left(\sigma^д_{экв} - \frac{\sigma^{оп}_{тр}}{\varphi_1}\right)\frac{\varphi_1}{0{,}8} - \sigma_и - \sigma_{и.в} \text{ кгс/мм}^2, \qquad (10.19)$$

где $\sigma^д_{экв}$ — допускаемое эквивалентное напряжение от всех нагрузок, действующих на трубопровод, кроме внутреннего давления в *кгс/мм*²;
$\sigma^{оп}_{тр}$ — осевое напряжение от сил трения в подвижных опорах в *кгс/мм*²;
$\sigma_и$ — изгибающее напряжение от собственного веса трубопровода в *кгс/мм*²;
$\sigma_{и.в}$ — изгибающее напряжение от ветровой нагрузки в *кгс/мм*² (учитывают при надземной прокладке трубопроводов);
φ_1 — коэффициент прочности поперечного сварного шва, принимают по табл. 10.2;

Допускаемое осевое напряжение, возникающее при компенсации тепловых удлинений сальниковыми компенсаторами, определяют по формуле

$$\sigma^д_{р.к} = \sigma^д_{экв}\varphi_1 - 0{,}8\sqrt{\sigma_и^2 + \sigma_{и.в}^2} \text{ кгс/мм}^2. \qquad (10.20)$$

В формулах (10.18) и (10.19) не учтены осевые напряжения от силы упругой деформации гибких компенсаторов или участков самокомпенсации, так как величина этих напряжений незначительна и не влияет на результат расчета.

Допускаемое эквивалентное напряжение от всех нагрузок, действующих на трубопровод, кроме внутреннего давления, определяют по формуле

$$\sigma^{д}_{экв} = \eta_2 \sigma_{доп} \; кгс/мм^2, \qquad (10.21)$$

где η_2 — коэффициент, зависящий от соотношения $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ и типа компенсаторов; вычисляют по формулам, приведенным в табл. 10.7, или определяют по графику рис. 10.9.

Таблица 10.7

Формулы для определения коэффициента η_2

Способ компенсации	Расчетные формулы
Гибкие компенсаторы или самокомпенсация	$\eta_2 = \sqrt{2{,}1 - \left(\frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{доп}}\right)^2}$ (10.22)
Сальниковые компенсаторы. Расчет труб по растягивающим напряжениям	$\eta_2 = 1{,}45$ (10.23)
Сальниковые компенсаторы. Расчет труб по сжимающим напряжениям	$\eta_2 = \sqrt{2{,}1 - 0{,}75\left(\frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{доп}}\right)^2} - \frac{\sigma_{пр}}{2\sigma_{доп}}$ (10.24)

Допускаемое осевое напряжение, возникающее при сальниковых компенсаторах, определяют по растягивающим или по сжимающим напряжениям; при расчете по сжимающим напряжениям коэффициент φ_1 в фор-

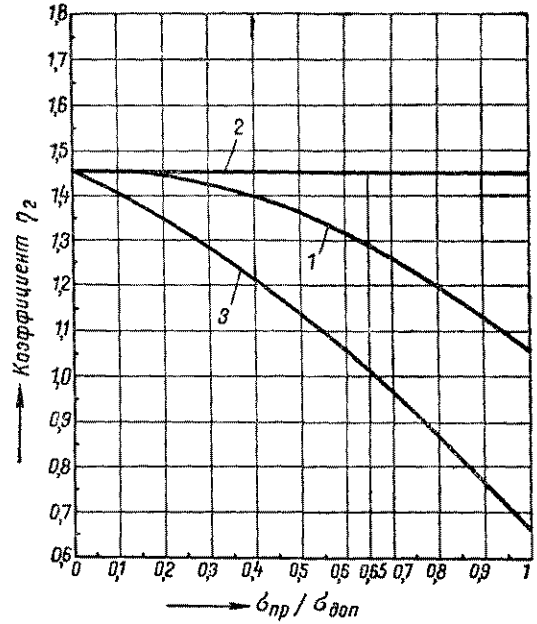


Рис 10 9 График для определения коэффициента η_2

1 — при гибких компенсаторах или самокомпенсации; *2* — при сальниковых компенсаторах (расчет по растягивающим напряжениям); *3* — при сальниковых компенсаторах (расчет по сжимающим напряжениям); $\sigma_{пр}$ — приведенное напряжение от внутреннего давления в $кгс/мм^2$; $\sigma_{доп}$ — допускаемое напряжение от внутреннего давления в $кгс/мм^2$

Таблица 10.8

Допускаемые компенсационные напряжения $\sigma^{д}_{и.к}$ в $кгс/мм^2$ для расчета П-образных компенсаторов при максимальных пролетах между подвижными опорами

Состояние трубопровода	Характеристика труб	Марка стали	Допускаемые компенсационные напряжения при параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в $кгс/см^2$, t в °С						
			$P_{раб}$=8, t=100	$P_{раб}$=16, t=150	$P_{раб}$=8, t=250	$P_{раб}$=13, t=300	$P_{раб}$=16, t=325	$P_{раб}$=21, t=350	$P_{раб}$=36, t=425
Рабочее	Бесшовные	10	9,5	9,3	8,1	7,3	6,8	6,4	—
		20	11,7	11,3	9,8	8,7	8,1	7,7	6,1; 7,9*
	Бесшовные и сварные	Ст. 3	10,3	10	8,7	7,8	—	—	—
Холодное	Бесшовные	10	9,95						—
		20	12,2						12,2, 15,7*
	Бесшовные и сварные	Ст.3	10,8				—	—	—

Примечания: 1. Допускаемые компенсационные напряжения даны для сечения на компенсаторе (без учета сил трения).
2. Допускаемые компенсационные напряжения определены при коэффициенте прочности поперечного сварного шва φ_1=0,7, а для значений, отмеченных звездочкой, при φ_1=0,9.

Таблица 10.9

Допускаемые компенсационные напряжения $\sigma^{д}_{и.к}$ в *кгс/мм²* для усредненных условий расчета трубопроводов

Для расчета компенсаторов на холодное состояние				Для расчета участков самокомпенсации на рабочее состояние				
Допускаемые компенсационные напряжения при параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С								
$P_{раб}$=16, t=150; $P_{раб}$=8, t=250; $P_{раб}$=13, t=300	$P_{раб}$=16, t=325	$P_{раб}$=21, t=350	$P_{раб}$=36, t=425	$P_{раб}$=16, t=150	$P_{раб}$=8, t=250	$P_{раб}$=13, t=300; $P_{раб}$=16; t=325	$P_{раб}$=21, t=350	$P_{раб}$=36, t=425
11	13	11,5	16	8	9		6	6

муле (10.20) принимают равным единице. За допускаемое напряжение принимают меньшее из полученных по расчету на растяжение и сжатие.

Для конкретного значения коэффициента φ_t так же, как при определении пролета между подвижными опорами, можно заранее определить, при каких соотношениях $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ следует производить расчет на сжатие и при каких на растяжение. Так, например, при значении коэффициента φ_t=0,7 по растягивающим напряжениям следует производить расчет при соотношениях $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ от 0 до 0,65, а по сжимающим напряжениям при $\sigma_{пр}/\sigma_{доп}$ от 0,65 до 1.

Допускаемые компенсационные напряжения для расчета П-образных компенсаторов из труб по «Сортаменту труб тепловых сетей» (по ГОСТ 8732—58 * и ГОСТ 4015—58) даны в табл. 10 8 при максимальных пролетах между подвижными опорами, указанных в табл. 10.5, а в табл. 10.9 — для усредненных условий расчета трубопроводов при пролетах между подвижными опорами, приведенных в табл. 3.1.

Осевое напряжение от сил трения в подвижных опорах определяют по формуле

$$\sigma^{оп}_{тр} = \frac{P^{оп}_{тр}}{f^{р}} \text{ кгс/мм}^2, \qquad (10.25)$$

где $P^{оп}_{тр}$ — сила трения в подвижных опорах в *кгс* (см. главу 11);

$f^{р}$ — площадь поперечного сечения стенки трубы при расчетной толщине стенки трубы $s^{р}$ в *мм²*.

Изгибающее напряжение от собственного веса трубопровода определяют по формуле

$$\sigma_{и} = \frac{ql^2}{Б\,W^{р}} \text{ кгс/мм}^2, \qquad (10.26)$$

где q — расчетный вес трубопровода в *кгс/м*;

l — расстояние между подвижными опорами в *м*;

$Б$ — коэффициент, определяющий опорные моменты, в зависимости от расположения расчетного пролета, принимаемый:

Для пролета на прямом участке	12;
То же, между ближайшими к повороту опорами (до и после поворота) . . .	5,33,
То же, между последией и предпоследней опорами (до и после поворота) . . . . (перед заглушкой, перед гибким компенсатором или поворотом)	3;
Для последних двух пролетов с каждой стороны сальникового компенсатора . .	8.

Изгибающее напряжение от ветровой нагрузки при надземной прокладке трубопроводов определяют по формуле

$$\sigma_{и.в} = \frac{q_0 c D_{н} l^2}{Б\,W^{р}} \text{ кгс/мм}^2, \qquad (10.27)$$

где c — аэродинамический коэффициент; принимают равным 1,4;

q_0 — нормативный скоростной напор ветра в *кгс/м²*; принимают по табл. 10 4,

$D_{н}$ — наружный диаметр покровного слоя изоляционной конструкции в *м*.

Расчетные изгибающие компенсационные напряжения, определяемые расчетом на компенсацию тепловых удлинений при гибких компенсаторах и при самокомпенсации трубопроводов, должны быть не более допускаемых напряжений, полученных по формулам (10.18) и (10.19), и должны удовлетворять следующим условиям:

1) при расчете на самокомпенсацию без холодной растяжки (расчет на рабочее состояние)

$$\sigma^{к}_{и(раб)} \leqslant \sigma^{д}_{и\,к\,(раб)} \text{ кгс/мм}^2; \qquad (10.28)$$

2) при гибких компенсаторах или при самокомпенсации с холодной растяжкой (расчет на рабочее или на холодное состояние);

а) при расчете на рабочее состояние (с проверкой напряжений в холодном состоянии):

$$\sigma^{к}_{и\,(раб)} \leqslant \sigma^{д}_{и.к(раб)} \text{ кгс/мм}^2; \qquad (10.29)$$

$$\sigma^{к}_{и(раб)} \leqslant \sigma^{д}_{и.к\,(хол)} \frac{E_{(раб)}\,\varepsilon_{(раб)}}{E_{(хол)}\,\varepsilon_{(хол)}} \text{ кгс/мм}^2. \qquad (10.30)$$

б) при расчете на холодное состояние (с проверкой напряжений в рабочем состоянии):

$$\sigma^{к}_{и\,(хол)} \leqslant \sigma^{д}_{и.к\,(хол)} \text{ кгс/мм}^2; \qquad (10.31)$$

$$\sigma^{к}_{и\,(хол)} \leqslant \sigma^{д}_{и.к\,(раб)} \frac{E_{(хол)}\,\varepsilon_{(хол)}}{E_{(раб)}\,\varepsilon_{(раб)}} \text{ кгс/мм}^2, \qquad (10.32)$$

где $\sigma^{к}_{и(раб)}$ и $\sigma^{к}_{и(хол)}$ — расчетные изгибающие компенсационные напряжения в рабочем и холодном состоянии, полученные по расчету на компенсацию тепловых удлинений в *кгс/мм²*;

Таблица 10 10

Пример расчета трубопровода с П-образными компенсаторами на прочность при надземной прокладе

Элемент расчета	Единица измерения	Расчетные формулы и обозначения	Результаты расчета	
			на рабочее состояние	на холодное состояние
Теплоноситель пар давление	*кгс/см²*	$P_{раб}$	21	
температура	°С	t	350	20
Наружный диаметр трубы	*мм*	$D_н$	219	
Номинальная толщина стенки трубы по ГОСТ 8732—58 *	»	s	6	
Минусовое отклонение по толщине стенки трубы по ГОСТ 8732—58 *	%	—	−15	
Материал стенки трубы	—	—	Сталь 10	
Модуль упругости стали	*кгс/см²*	L	$1{,}695\ 10^6$	$2{,}05\ 10^6$
Коэффициент прочности поперечного сварного шва	—	φ_1	0,7	
Расстояние от неподвижной опоры до оси П образного компенсатора	*м*	L	50	
Пролет между подвижными опорами на компенсаторе	»	l	6	
Вес паропровода	*кгс/м*	q	119	153
Нормативный скоростной напор ветра	*кгс/м²*	q	30	
Аэродинамический коэффициент	—	c	1,4	
Наружный диаметр покровного слоя изоляционной конструкции	*м*	$D_п$	0,51	
Коэффициент трения подвижных (скользящих) опор	—	f	0,3	
Расчетная толщина стенки трубы	*мм*	$s^p = s - 0{,}15s$	5,1	
Внутренний диаметр трубы при s^p	*мм*	$D_в^p = D_н - 2s^p$	208,8	
Момент сопротивления поперечного сечения трубы при s^p	*см³*	$W^p = \frac{\pi}{32} \frac{\left(D_н^4 - D_в^{p4}\right)}{D_н}$	179	

Продолжение табл. 10.10

Элемент расчета	Единица измерения	Расчетные формулы и обозначения	Результаты расчета	
			на рабочее состояние	на холодное состояние
Площадь поперечного сечения стенки трубы при $s^р$	*мм²*	$f^р = 0{,}785\left(D_н^2 - D_в^{р2}\right)$	3420	
Допускаемое напряжение от внутреннего давления по табл. 10 1	*кгс/мм²*	$\sigma_{доп}$	7,7	12
Приведенное напряжение от внутреннего давления	»	$\sigma_{пр} = \frac{P_{раб}\left(D_н - s^р\right)}{230 s^р}$	3,83	
Определение максимального пролета между подвижными опорами				
Отношение приведенного напряжения от внутреннего давления к допускаемому	—	$\sigma_{пр} / \sigma_{доп}$	0,498	0,319
Коэффициент для определения допускаемого эквивалентного напряжения от весовых и ветровых нагрузок	—	$\eta_1 = \sqrt{1{,}2 - \left(\frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{доп}}\right)^2}$	0,975	1,05
Допускаемое эквивалентное напряжение от весовых и ветровых нагрузок	*кгс/мм²*	$\sigma_э^д = \eta_1\ \sigma_{доп}$	7,5	12,6
Соотношение	$\frac{мм}{кгс/м}$	$D_п / q$	4 28	3,33
Коэффициент влияния ветровой нагрузки по графику рис. 10.4	—	$m_в$	1,01	1,01
Максимальный пролет между подвижными опорами на прямом участке	*м*	$l_{макс} = \sqrt{\frac{15\sigma_э^д\ W^р\ \varphi_1}{q m_в}}$	10,7	12,3
Максимальный пролет между ближайшими к повороту опорами (на компенсаторе)	»	$l = 0{,}67\ l_{макс}$	7,15>6	8,25>6
Изгибающее напряжение от весовой нагрузки при $l=6$ *м*	*кгс/мм²*	$\sigma_и = \frac{ql^2}{5{,}33W^р}$	4,53	5,83
Изгибающее напряжение от ветровой нагрузки при $l=6$ *м*	»	$\sigma_{ив} = \frac{q_0 c\ D_п\ l^2}{5{,}33W^р}$	0,815	
Коэффициент для определения эквивалентного напряжения от всех нагрузок, кроме внутреннего давления	—	$\eta_2 = \sqrt{2{,}1 - \left(\frac{\sigma_{пр}}{\sigma_{доп}}\right)^2}$	1,36	1,415
Допускаемое эквивалентное напряжение от всех нагрузок, действующих на трубопровод, кроме внутреннего давления	*кгс/мм²*	$\sigma_{экв}^д = \eta_2\ \sigma_{доп}$	10,5	17

Продолжение табл. 10.10

Элемент расчета	Единица измерения	Расчетные формулы и обозначения	Результаты расчета	
			на рабочее состояние	на холодное состояние
Допускаемое изгибающее компенсационное напряжение для сечения на компенсаторе	*кгс/мм²*	$\sigma^{д}_{и.к} = \sqrt{\sigma^{д^2}_{экв} \frac{q_1^2}{0{,}64} - \sigma^2_{и}} - \sigma_{и.в}$	7	12,8

Примечание.

Приведенное напряжение от внутреннего давления $\sigma_{пр}$ меньше допускаемого напряжения в рабочем состоянии. 3,83 *кгс/мм²*<7,7 *кгс/мм²*, следовательно заданная толщина стенки трубы s=6 *мм* удовлетворяет условиям расчета трубы на прочность.

На основании полученных по расчету допускаемых компенсационных напряжений в рабочем состоянии $\sigma^{д}_{и.к\ (раб)} = 7$ *кгс/мм²* и холодном состоянии $\sigma^{д}_{и.к\ (хол)} = 12{,}8$ *кгс/мм²* выбирают допускаемые напряжения для расчета на компенсацию с учетом предварительной растяжки; для данного параметра теплоносителя коэффициент ε, учитывающий влияние предварительной растяжки компенсатора в размере 50% полного теплового удлинения и релаксацию компенсационных напряжений, принимают по табл. 10.12

$$\varepsilon_{хол}=0{,}7;\quad \varepsilon_{раб}=0{,}5.$$

По формуле (10,32) получим допускаемое компенсационное напряжение для расчета на компенсацию в холодном состоянии

$$\sigma^{д}_{и.к\ (хол)} = \sigma^{д}_{и.к\ (раб)} \frac{E_{хол}\,\varepsilon_{хол}}{E_{раб}\,\varepsilon_{раб}} = 11{,}5\ кгс/мм^2.$$

$\sigma^{д}_{и.к\ (раб)}$ и $\sigma^{д}_{и.к\ (раб)}$ — допускаемые изгибающие компенсационные напряжения в рабочем и холодном состоянии, полученные по расчету на прочность, в *кгс/мм²*;

$E_{(раб)}$ и $E_{(хол)}$ — модули упругости трубной стали в рабочем и холодном состоянии в *кгс/см²*;

$\varepsilon_{(раб)}$ и $\varepsilon_{(хол)}$ — коэффициенты, учитывающие влияние предварительной растяжки компенсаторов, возможную неточность ее выполнения и влияние релаксации компенсационных напряжений в рабочем и холодном состоянии.

Расчетное осевое напряжение, возникающее при компенсации тепловых удлинений сальниковыми компенсаторами, определяют по формуле

$$\sigma_{р.к} = \sigma^{оп}_{тр} + \sigma^{с}_{тр}\ кгс/мм^2, \qquad (10.33)$$

где $\sigma^{оп}_{тр}$ — напряжение от сил трения в подвижных опорах в *кгс/мм²*;

$\sigma^{с}_{тр}$ — напряжение от сил трения в сальниковом компенсаторе в *кгс/мм²*.

Напряжение от сил трения в сальниковом компенсаторе определяют по формуле

$$\sigma^{с}_{тр} = \frac{P_c}{f_р}\ кгс/мм^2, \qquad (10.34)$$

где P_c — сила трения в сальниковом компенсаторе в *кгс* (см. главу 11).

Величина расчетного осевого напряжения должна удовлетворять условию

$$\sigma_{р.к} \leqslant \sigma^{д}_{р.к}\ кгс/мм^2. \qquad (10.35)$$

Пример расчета труб на прочность при надземной прокладке трубопровода с П-образными компенсаторами дан в табл. 10.10.

10.2. СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Тепловые удлинения трубопроводов при температуре теплоносителя от 50° С и выше должны восприниматься специальными компенсирующими устройствами, предохраняющими трубопровод от возникновения недопустимых деформаций и напряжений.

В качестве компенсирующих устройств применяют гибкие (П- или S-образные) или сальниковые и волнистые компенсаторы. Повороты трубопроводов по трассе тепловых сетей, как правило, используют для самокомпенсации. Выбор способа компенсации зависит от параметров теплоносителей, способа прокладки тепловых сетей и других местных условий.

Гибкие компенсаторы П- и S-образные применяют: при надземной прокладке трубопроводов для всех диаметров труб независимо от параметров теплоносителя; при давлении теплоносителя до 16 *кгс/см²* для труб диаметром от 25 до 200 *мм* при прокладке в каналах, тоннелях и общих коллекторах; для труб диаметром от 25 до 100 *мм* при бесканальной прокладке; для труб всех диаметров при давлении теплоносителя выше 16 *кгс/см²* при всех способах прокладки.

Сальниковые компенсаторы в тепловых сетях применяют стальные при давлении теплоносителя до 16 *кгс/см²* при прокладке в каналах, тоннелях и общих коллекторах — для трубопроводов диаметром 250 *мм* и более, а при бесканальной прокладке — для трубопроводов диаметром 125 *мм* и более. При стесненных условиях прокладки в каналах можно применять сальниковые компенсаторы для трубопроводов диаметром от 100 *мм* и более, а при надземной прокладке на низких опорах для трубопроводов диаметром от 250 *мм* и более.

Компенсация тепловых удлинений трубопроводов за счет использования поворотов трассы (самокомпенсация) может применяться при всех способах прокладки тепловых сетей независимо от диаметров трубопроводов и параметров теплоносителя при величине угла до 150°. При величине угла более 150°, а также в том случае, когда по расчету на прочность поворот тру-

бопроводов не может быть использован для самокомпенсации, трубопроводы в точке поворота крепят неподвижными опорами.

Габариты гибких компенсаторов и длины плеч трубопровода при самокомпенсации определяют расчетом на компенсацию. Полученные расчетом на компенсацию длины плеч проверяют на боковое тепловое смещение трубопровода, которое должно быть не более величины зазора (с учетом запаса около 50 *мм*) между наружными поверхностями изоляции или между строительной конструкцией и наружной поверхностью изоляции. Максимальное боковое смещение будет в точке поворота трассы.

10.3. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ НА КОМПЕНСАЦИЮ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ ПРИ ГИБКИХ КОМПЕНСАТОРАХ И САМОКОМПЕНСАЦИИ

При расчете труб на компенсацию тепловых удлинений с гибкими П- и S-образными компенсаторами или участками самокомпенсации определяют такие их

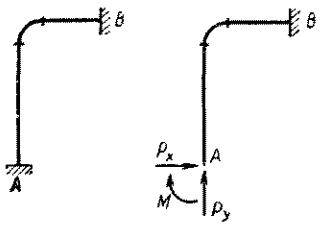


Рис. 10.10. Замена на расчетном участке трубопровода AB неподвижной опоры A силами и моментом

габариты, при которых продольные изгибающие компенсационные напряжения, возникающие при упругой деформации труб, не превышают допускаемых.

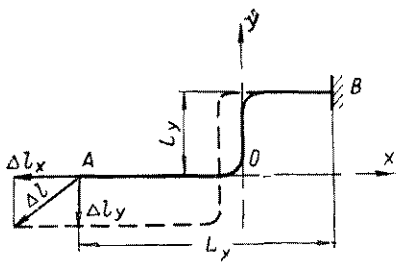


Рис. 10.11. Тепловые удлинения участка трубопровода AB

Расчет труб на компенсацию тепловых удлинений производят «методом сил», при этом одна из неподвижных опор расчетного участка трубопровода, заключенного между двумя неподвижными опорами, считается раскрепленной. К раскрепленному концу трубопровода прикладывают реактивные силы упругой деформации и изгибающие моменты, заменяющие отброшенную опору (рис. 10.10).

При расчете труб на компенсацию тепловых удлинений приняты следующие допущения:

а) неподвижные опоры считаются абсолютно жесткими;

б) сопротивление сил трения подвижных опор при тепловом удлинении трубопровода не учитывается.

Тепловые удлинения участка трубопровода в направлении координатных осей x и y (рис. 10.11) определяют по формулам:

$$\Delta l_x = \alpha \Delta t\,(x_B - x_A)\ мм; \qquad (10.36)$$

$$\Delta l_y = \alpha \Delta t\,(y_B - y_A)\ мм, \qquad (10.37)$$

где α — коэффициент линейного расширения углеродистых трубных сталей в *мм/м град* (табл. 10.11);

Δt — расчетная разность температур в *град* между максимальной температурой теплоносителя t и расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления $t_{н.о}$;

x_B; x_A — координаты концов расчетного участка трубопровода в точках B и A по оси x;

y_B; y_A — тоже, по оси y.

Таблица 10.11

Модуль упругости и коэффициент линейного расширения для трубных сталей марок 10, 15, 20, Ст.2, Ст. 3, Ст.4

Температура стенки трубы в *град*	Модуль упругости E в *кгс/см²*	Коэффициент линейного расширения α в *мм/м град*
20	$2{,}05 \cdot 10^6$	$1{,}18 \cdot 10^{-2}$
75	$1{,}99 \cdot 10^6$	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$
100	$1{,}975 \cdot 10^6$	$1{,}22 \cdot 10^{-2}$
125	$1{,}95 \cdot 10^6$	$1{,}24 \cdot 10^{-2}$
150	$1{,}93 \cdot 10^6$	$1\ 25 \cdot 10^{-2}$
175	$1{,}915 \cdot 10^6$	$1{,}27 \cdot 10^{-2}$
200	$1{,}875 \cdot 10^6$	$1{,}28 \cdot 10^{-2}$
225	$1{,}847{,}10^6$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$
250	$1{,}82 \cdot 10^6$	$1{,}31 \cdot 10^{-2}$
275	$1{,}79 \cdot 10^6$	$1{,}32 \cdot 10^{-2}$
300	$1{,}755 \cdot 10^6$	$1{,}34 \cdot 10^{-2}$
325	$1{,}727 \cdot 10^6$	$1{,}35 \cdot 10^{-2}$
350	$1{,}695 \cdot 10^6$	$1{,}36 \cdot 10^{-2}$
375	$1{,}665 \cdot 10^6$	$1{,}37 \cdot 10^{-2}$
400	$1{,}63 \cdot 10^6$	$1{,}38 \cdot 10^{-2}$
425	$1{,}60 \cdot 10^6$	$1{,}40 \cdot 10^{-2}$

Примечание. В таблице дан средний коэффициент линейного расширения трубных сталей α при нагреве от 0 до t° С.

Полное тепловое удлинение определяют геометрическим сложением тепловых удлинений в направлении координатных осей x и y:

$$\Delta l = \sqrt{\Delta l_x^2 + \Delta l_y^2}\ мм. \qquad (10.38)$$

Для симметричных относительно оси y участков трубопроводов (например, участок трубопровода с П-образным компенсатором) тепловое удлинение в направлении оси y принимают равным нулю: $\Delta l_y = 0$, полное тепловое удлинение в этом случае определяют по формуле

$$\Delta l = \Delta l_x = \alpha \Delta t L\ мм, \qquad (10.39)$$

где L — расстояние между неподвижными опорами в *м*.

Расчетную разность температур определяют по формуле

$$\Delta t = t - t_{н.о}\ °C \qquad (10.40)$$

Полученный по формулам (10.36) и (10.37) знак характеризует направление перемещения раскрепленного конца A рассчитываемого участка трубопровода. Знак «плюс» соответствует положительному направлению теплового удлинения левого раскрепленного конца трубопровода A, которое принимают противоположным положительному направлению координатных осей в исходной системе координат, а знак «минус» соответствует отрицательному направлению теплового

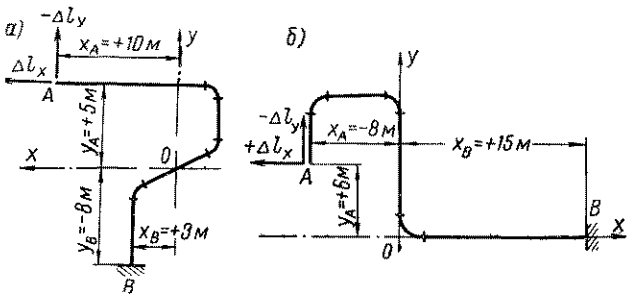


Рис. 10.12. Примеры определения знака теплового удлинения участка трубопровода

а) $\Delta l_x = \alpha \Delta t \left(x_B - x_A \right) = \alpha \Delta t \, (3 - 10) = -7 \alpha \Delta t$;

$\Delta l_y = \alpha \Delta t \left(y_B - y_A \right) = \alpha \Delta t \, [-8 - (+5)] = -13 \alpha \Delta t$;

б) $\Delta l_x = \alpha \Delta t \left(x_B - x_A \right) = \alpha \Delta t \, [15 - (-8)] = 23 \alpha \Delta t$;

$\Delta l_y = \alpha \Delta t \left(y_B - y_A \right) = \alpha \Delta t \, (0 - 6) = -6 \alpha \Delta t$

удлинения раскрепленного конца A, которое принимают противоположным отрицательному направлению координатных осей (рис. 10.12).

Для уменьшения изгибающего компенсационного напряжения в рабочем состоянии трубопровода для участков трубопроводов с гибкими компенсаторами производят предварительную растяжку трубопровода в холодном состоянии при монтаже.

Предварительную растяжку участков самокомпенсации предусматривают по конструктивным соображениям, если нельзя увеличить длину участка самокомпенсации.

Предварительную растяжку производят в размере:

при температуре теплоносителя до 400° С включительно на 50% от полного теплового удлинения компенсируемого участка трубопровода;

при температуре теплоносителя выше 400° С на 100% полного теплового удлинения компенсируемого участка трубопровода.

При расчетах на компенсацию учитывают не полное, а расчетное тепловое удлинение.

Расчетное тепловое удлинение компенсируемого участка трубопровода определяют с учетом коэффициента ε, который вводят на величину полного теплового удлинения. Коэффициент ε учитывает величину предварительной растяжки компенсаторов, возможную неточность расчета и релаксацию компенсационных напряжений.

Расчетные тепловые удлинения участка трубопровода в направлении осей x и y определяют по формулам:

при самокомпенсации

$$\Delta x = \varepsilon \Delta l_x \ мм; \qquad (10.41)$$

$$\Delta y = \varepsilon \Delta l_y \ мм; \qquad (10.42)$$

при гибких компенсаторах

$$\Delta x = \varepsilon \Delta l \ мм. \qquad (10.43)$$

Значения коэффициента ε приведены в табл. 10.12.

При определении расчетного теплового удлинения участка трубопровода без предварительной растяжки коэффициент ε в формулах (10.41)—(10.42) принимают равным единице.

Таблица 10.12

Коэффициент ε

Максимальная температура теплоносителя в *град*	Предварительная растяжка компенсатора в %	Для расчета труб	
		на холодное состояние $\varepsilon_{хол}$	на рабочее состояние $\varepsilon_{раб}$
$t<250$	50	0,5	0,5
$250 \leqslant t \leqslant 300$		0,6	
$300<t<400$		0,7	
$t \geqslant 400$	100	1	0,35

Силы упругой деформации, возникающие в трубопроводе при компенсации теплового удлинения, рассматривают в виде двух составляющих, направленных по осям x и y и определяют по формулам:

$$P_x = \frac{\Delta x I_{y0} + \Delta y I_{xy0}}{I_{x0} I_{y0} - I_{xy0}^2} EI \cdot 10^{-7} \ кгс; \qquad (10.44)$$

$$P_y = \frac{\Delta y I_{x0} + \Delta x I_{xy0}}{I_{x0} I_{y0} - I_{xy0}^2} EI \cdot 10^{-7} \ кгс, \qquad (10.45)$$

где I — момент инерции поперечного сечения стенки трубы при номинальной толщине стенки трубы в $см^4$;

E — модуль упругости трубной стали в $кгс/см^2$ (см. табл. 10.11);

I_{x0}, I_{y0} — центральные моменты инерции приведенной длины осевой линии трубопровода в $м^3$;

I_{xy0} — центральный центробежный момент инерции приведенной длины осевой линии трубопровода в $м^3$.

За положительное направление сил принимают направление, совпадающее с положительным направлением координатных осей, за отрицательное — направление, совпадающее с отрицательным направлением координатных осей.

Равнодействующую сил упругой деформации, определяют по формуле

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \ кгс. \qquad (10.46)$$

Изгибающий момент от сил упругой деформации в любом сечении участка трубопровода определяет по формуле

$$M = (y - y_0) P_x - (x - x_0) P_y \ кгсм, \qquad (10.47)$$

где x, y — координаты рассматриваемого сечения участка трубопровода в исходной системе координат в $м$;

x_0, y_0 — координаты упругого центра тяжести рассчитываемого участка трубопровода в $м$.

Полученный по формуле (10.47) знак момента характеризует его направление. Знак «плюс» соответствует положительному направлению изгибающих моментов, за которое принимают направление вращения от положительной координатной оси x к положительной координатной оси y; знак «минус» соответствует отрицательному направлению изгибающих моментов, за которое принимают направление вращения от положительной оси y к положительной оси x.

Сечение трубы с максимальным изгибающим моментом может быть определено либо аналитически по

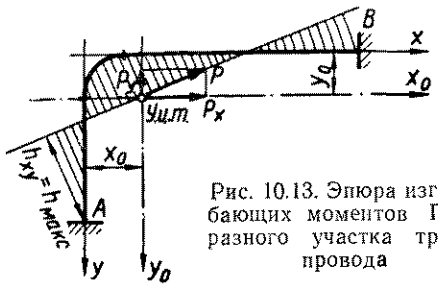


Рис. 10.13. Эпюра изгибающих моментов Г-образного участка трубопровода

формуле (10.47) сопоставлением величин моментов для различных сечений участка трубопровода, либо графически построением эпюры изгибающих моментов (рис. 10.13). Для этого силы упругой деформации P_x и P_y помещают в упругом центре тяжести в масштабе сил с учетом полученных по расчету знаков. Построением параллелограмма сил определяют величину и направление равнодействующей сил упругой деформации P. Линию действия силы P можно рассматривать в качестве эпюры моментов. В этом случае изгибающий момент в любом сечении трубопровода с координатами x, y определяют по формуле

$$M = Ph_{xy} \ кгсм, \qquad (10.48)$$

где h_{xy} — перпендикуляр, опущенный из сечения трубопровода с координатами x, y на линию действия силы P в $м$.

Максимальный изгибающий момент будет в сечении, для которого величина $h=h_{макс}$,

$$M_{макс} = Ph_{макс} \ кгсм. \qquad (10.49)$$

При использовании графического способа после определения сечения с максимальным моментом величину максимального момента для найденного сечения рекомендуется определять по формуле (10.47).

Изгибающие компенсационные напряжения на прямых участках трубопроводов в сварных и крутоизогнутых отводах определяют по формуле

$$\sigma_и^к = \frac{M}{W} \ кгс/мм^2, \qquad (10.50)$$

где W — момент сопротивления поперечного сечения стенки трубы при номинальной толщине стенки трубы в $см^3$.

Изгибающие компенсационные напряжения в гнутых гладких отводах определяют по формуле

$$\sigma_и^к = \frac{Mm}{W} \ кгс/мм^2, \qquad (10.51)$$

где m — коэффициент концентрации продольных изгибающих напряжений в отводах.

Величины изгибающих компенсационных напряжений, полученные по формулам (10.50) и (10.51), не должны превышать допускаемого изгибающего компенсационного напряжения, полученного по расчету на прочность.

Коэффициент гибкости для гнутых гладких отводов определяют по следующим формулам:

при $h \leqslant 1$ — по формуле Кларка и Рейснера

$$k = \frac{1{,}65}{h}, \qquad (10.52)$$

где h — геометрическая характеристика гибкости трубы;

при $h>1$ — по формуле Кармана

$$k = \frac{10 + 12h^2}{1 + 12h^2}. \qquad (10.53)$$

Геометрическую характеристику гибкости трубы определяют по формуле

$$h = \frac{sR}{r_{ср}^2}, \qquad (10.54)$$

где s — номинальная толщина стенки трубы в $мм$;

$r_{ср}$ — средний радиус трубы в $мм$;

R — радиус оси гнутой трубы или условный радиус сварного отвода в $мм$.

Средний радиус трубы определяют по формуле

$$r_{ср} = \frac{D_н - s}{2} \ мм. \qquad (10.55)$$

Величина коэффициента k может быть определена по графику рис. 10.14.

Коэффициент концентрации продольных изгибающих коменсационных напряжений для гнутых гладких отводов определяют по формуле

$$m = \frac{0{,}9}{h^{2/3}} \qquad (10.56)$$

или по графику рис. 10.14 и учитывают только при значениях m больших единицы (при $h<0{,}85$).

Характеристка гнутого гладкого отвода для труб по «Сортаменту труб тепловых сетей» дана в табл. 10.13.

Центральные и центральные центробежные моменты инерции приведенной длины осевой линии трубопровода определяют по методу «упругого центра тяжести» относительно осей, проходящих через упругий центр тяжести рассчитываемого участка трубопровода.

Для расчета вычерчивают в масштабе схему участка трубопровода по осевой линии, участок трубопровода разбивают на отдельные прямые и дуговые отрезки (отводы), наносят центры тяжести отдельных прямых и дуговых отрезков, выбирают и наносят на схему исходную систему координат. Начало координат выбирают таким образом, чтобы оси координат про-

ходили через центры тяжести возможно большего числа отрезков, а для симметричных участков трубопровода одной из координатных осей являлась бы ось симметрии участка. Оси координат следует выбирать параллельными или совпадающими с основными прямыми отрезками фигуры.

Для определения центральных и центральных центробежных моментов инерции участка трубопровода относительно осей, проходящих через упругий центр тяжести, прежде всего вычисляют моменты инерции и центробежные моменты инерции участка трубопровода относительно исходной системы координат, а затем

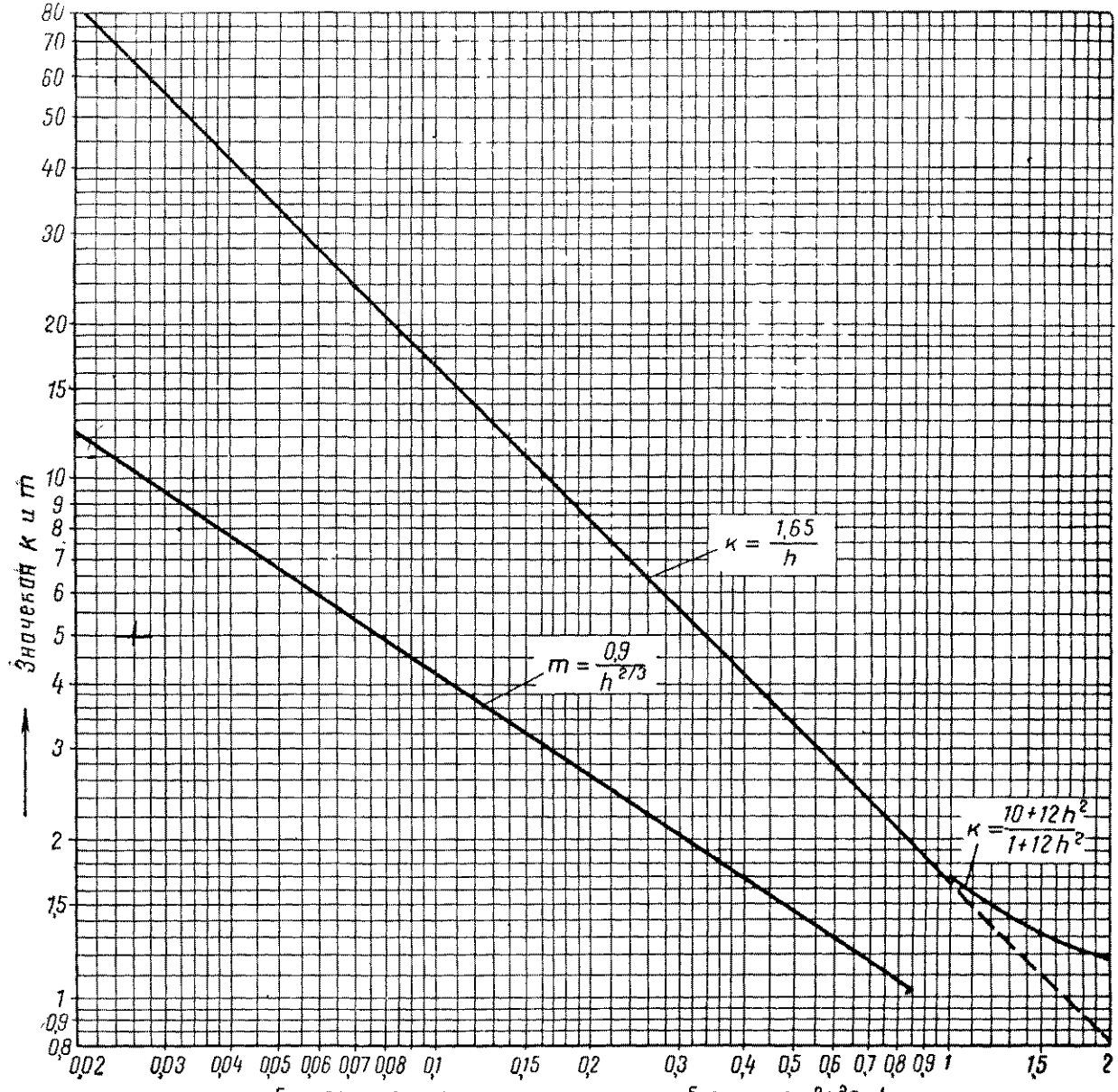


Рис. 10.14. График для определения коэффициента гибкости отвода k и коэффициента концентрации продольных изгибающих напряжений в отводах m

Положительное направление координатных осей выбирают так, чтобы большая часть участка трубопровода располагалась в положительной четверти. Примеры выбора координатных осей даны на рис. 10.15.

вводят поправку на перенос осей в упругий центр тяжести

Моменты инерции участка трубопровода относительно исходной системы координат определяют по формулам:

$$I_x = \Sigma I'_x + \Sigma S_x y_c = \Sigma I'_x + \Sigma l_{пр} y_c^2 \; м^3; \quad (10.57)$$

$$I_y = \Sigma I'_y + \Sigma S_y x_c = \Sigma I'_y + \Sigma l_{пр} x_c^2 \; м^3, \quad (10.58)$$

где $\Sigma I'_x$ и $\Sigma I'_y$ — сумма собственных моментов инерции отрезков в $м^3$;

S_x и S_y — статические моменты инерции в $м^2$;

$l_{пр}$ — приведенная длина осевой линии отрезка трубопровода в $м$;

x_c, y_c — координаты центров тяжести отрезков трубопроводов в исходной системе координат в $м$.

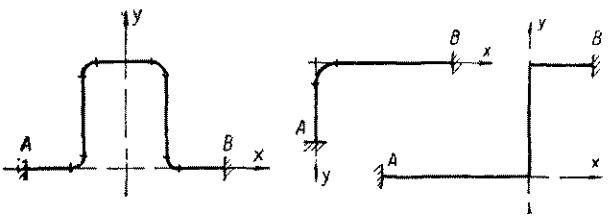


Рис. 10.15. Примеры выбора координатных осей для различных расчетных участков трубопроводов

Центробежный момент инерции участка трубопровода относительно исходной системы координат определяют по формуле

$$I_{xy} = \Sigma I'_{xy} \pm \Sigma S_y y_c = \Sigma I'_{xy} \pm \Sigma l_{пр} x_c y_c \; м^3, \quad (10.59)$$

где $\Sigma I'_{xy}$ — сумма собственных центробежных моментов инерции отрезков в $м^3$.

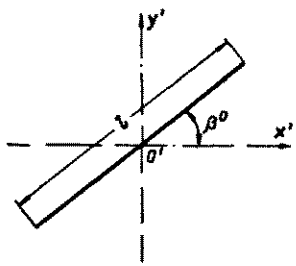


Рис. 10.16. Положение прямого отрезка относительно осей, проходящих через собственный центр тяжести

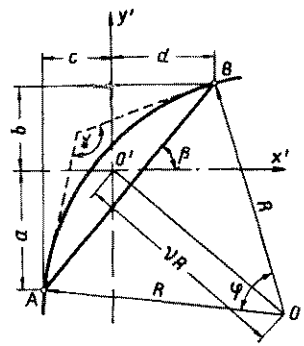


Рис. 10.17. Положение дугового отрезка относительно осей, проходящих через собственный центр тяжести

Собственные и собственные центробежные моменты инерции отрезков относительно осей x' и y', проходящих через собственные центры тяжести отрезков (рис. 10.16 и 10.17), параллельных и одинаково направленных принятым исходным осям координат, определяют по формулам:

Таблица 10.13

Характеристика гнутого гладкого отвода

Условный проход D_y в $мм$	Наружный диаметр $D_н$ в $мм$	Толщина стенки (номинальная) $s_{от}$ в $мм$	Радиус оси R в $мм$	Средний радиус $r_{ср}$ в $мм$	Геометрическая характеристика гибкости h	Коэффициент гибкости k	Коэффициент концентрации продольных изгибающих компенсационных напряжений m
25	32	2,5	150	14,75	1,72	1,245	—
32	38	2,5	150	17,75	1,19	1,5	—
40	45	2,5	200	21,25	1,11	1,56	—
50	57	3,5	200	26,75	0,978	1,69	—
70	76	3,5	350	36,25	0,933	1,77	—
80	89	3,5	350	42,75	0,671	2,46	1,172
100	108	4	500	52	0,74	2,23	1,1
125	133	4	500	64,5	0,482	3,42	1,465
150	159	4,5	600	77,25	0,451	3,66	2,38
175	194	5	700	94,5	0,392	4,23	1,68
		7		93,5	0,56	2,947	1,32
200	219	6	850	106,5	0,45	3,67	1,53
		7		106	0,53	3,11	1,37
250	273	7	1000	133	0,396	4,17	1,67
		8		132,5	0,457	3,61	1,51
300	325	8	1200	158,5	0,383	4,3	1,71
		9		158	0,433	3,81	1,57
350	377	9	1500	184	0,4	4,13	1,66
		10		183,5	0,445	3,7	1,55
400	426	9	1700	208,5	0,353	4,67	1,81
		11		207,5	0,435	3,8	1,57

Таблица 10.14

Коэффициенты для расчета прямых отрезков

Угол наклона прямого отрезка к оси x' β°	Коэффициенты для вычисления		
	собственных моментов инерции		собственных центробежных моментов инерции c_{xy}
	c_x	c_y	
0; 180	0	0,0333	0
15; 165	0,00558	0,0777	0,0208
30; 150	0,0208	0,0625	0,036
45; 135	0,0417	0,0417	0,0417
60; 120	0,0625	0,0208	0,036
75; 105	0,0777	0,00558	0,0208
90	0,0833	0	0

для прямых отрезков:

$$I'_x = \frac{\sin^2\beta}{12} l^3 = c_x l^3 \ м^3; \qquad (10.60)$$

$$I'_y = \frac{\cos^2\beta}{12} l^3 = c_y l^3 \ м^3; \qquad (10.61)$$

$$I'_{xy} = \pm \frac{\sin\beta\cos\beta}{12} l^3 = \pm c_{xy} l^3 \ м^3; \qquad (10.62)$$

для дуговых отрезков:

$$I'_x = c_{x1} kR^3 \ м^3; \qquad (10.63)$$

$$I'_y = c_{y1} kR^3 \ м^3; \qquad (10.64)$$

$$I'_{xy} = \pm c_{xy1} kR^3 \ м^3, \qquad (10.65)$$

где β — угол наклона прямого отрезка к оси x' в *град*.

Коэффициенты для вычисления собственных и собственных центробежных моментов инерции отрезков относительно осей x' и y', c_x, c_y, c_{x1}, c_{y1}, c_{xy} и c_{xy1} приведены в табл. 10.14 и 10.15.

Таблица 10.15

Коэффициенты для расчета дуговых отрезков

Угол			Коэффициенты для вычисления								
поворота трассы γ°	дугового отрезка $\varphi^\circ = 180 - \gamma^\circ$	наклона хорды дугового отрезка к оси x' β°	расстояния от центра тяжести до центра кривизны	приведенной длины	расстояний от концов дугового отрезка A и B до центра тяжести дугового отрезка $0'$				собственных моментов инерции		собственных центробежных моментов инерции
			ν	$c_{пр}$	c_a	c_b	c_c	c_d	c_{x1}	c_{y1}	c_{xy1}
150	30	0; 180	0,989	0,524	0,023	0,023	0,259	0,259	0,012	0	0
		15; 165			0,089	0,045	0,244	0,256	0,011	0,001	0,003
		30; 150			0,149	0,109	0,1	0,227	0,009	0,003	0,005
		45; 135			0,198	0,166	0,166	0,198	0,006	0,006	0,006
135	45	0; 180	0,974	0,785	0,05	0,05	0,383	0,383	0,019	0	0
		15; 165			0,147	0,051	0,357	0,383	0,037	0,003	0,01
		30; 150			0,225	0,148	0,307	0,357	0,029	0,010	0,017
		45; 135			0,305	0,235	0,235	0,305	0,02	0,020	0,019
120	60	0; 180	0,955	1,047	0,089	0,089	0,5	0,5	0,091	0,002	0
		15; 165			0,215	0,043	0,459	0,507	0,085	0,008	0,022
		30; 150			0,327	0,173	0,339	0,448	0,068	0,024	0,038
		45; 135			0,417	0,291	0,291	0,417	0,046	0,046	0,044
105	75	0; 180	0,93	1,309	0,137	0,137	0,609	0,609	0,172	0,005	0
		15; 165			0,289	0,028	0,563	0,613	0,16	0,016	0,042
		30; 150			0,422	0,186	0,459	0,583	0,13	0,047	0,072
		45; 135			0,528	0,334	0,334	0,528	0,088	0,038	0,083
90	90	0; 180	0,9	1,571	0,193	0,193	0,707	0,707	0,285	0,012	0
		15; 165			0,261	0,011	0,632	0,732	0,267	0,031	0,068
		30; 150			0,521	0,187	0,53	0,684	0,217	0,080	0,118
		45; 135			0,636	0,364	0,364	0,636	0,149	0,149	0,137

Собственные оси дуговых и прямых отрезков x' и y' должны быть одинаково направлены и параллельны координатным осям. Собственные моменты инерции I'_x и I'_y — всегда положительны.

Для определения знака собственного центробежного момента инерции прямого или дугового отрезка (рис. 10 18) следует через начало координат «0» провести воображаемую линию, параллельную прямому отрезку или хорде дугового отрезка

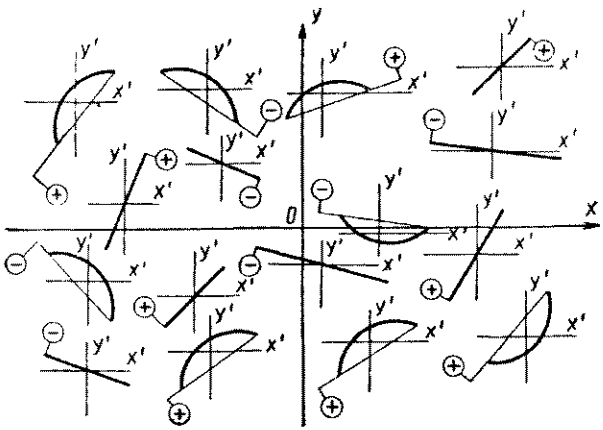


Рис 10 18 Примеры определения знака собственных центробежных моментов инерции прямых и дуговых отрезков

Если воображаемая линия пройдет через четверти с одинаковыми знаками — собственный центробежный момент инерции будет положительным, если через четверти с разными знаками — отрицательным.

Собственный момент инерции прямого отрезка относительно собственной оси, параллельной исходной координатной оси, равен нулю.

Собственный центробежный момент инерции прямого отрезка, параллельного одной из координатных осей, или дугового отрезка, хорда которого параллельна одной из координатных осей, равен нулю.

Статические моменты инерции отрезков определяют по формулам:

$$S_x = \pm l_{\text{пр}}\, y_c \ м^2; \qquad (10.66)$$

$$S_y = \pm l_{\text{пр}}\, x_c \ м^2. \qquad (10.67)$$

Знак статического момента инерции определяют знаком координат центра тяжести отрезка.

Приведенную длину осевой линии отрезка трубопровода определяют по формулам:

для прямых отрезков

$$l_{\text{пр}} = l \ м; \qquad (10.68)$$

для дуговых отрезков

$$l_{\text{пр}} = \frac{\varphi}{57{,}3} kR = c_{\text{пр}}\, kR \ м, \qquad (10.69)$$

где l — геометрическая длина отрезка в $м$;

φ — угол дугового отрезка в *град*;

$c_{\text{пр}}$ — коэффициент для вычисления длины дугового отрезка (табл. 10 15);

R — радиус оси гнутой трубы или условный радиус сварного отвода в $м$.

В том случае, если расчетный участок трубопровода состоит из отрезков с разной жесткостью трубы (разные диаметры, толщины стенок, качество материала), одинаковую жесткость большего числа отрезков принимают за расчетную EI, а приведенную длину остальных отрезков, имеющих другую жесткость $E'I'$, определяют по формулам:

для прямых отрезков

$$l_{\text{пр}} = l \frac{EI}{E'I'} \ м; \qquad (10.70)$$

для дуговых отрезков

$$l_{\text{пр}} = \frac{\varphi}{57{,}3} kR \frac{EI}{E'I'} \ м. \qquad (10.71)$$

При определении координат центров тяжести отрезков следует учитывать, что центр тяжести прямого отрезка находится в середине прямого отрезка, а центр тяжести дугового отрезка — на биссектрисе угла, стягиваемого дугой, на расстоянии от центра дуги 0, равном νR (см рис 10 17).

Расстояние от центра тяжести дуги 0′ до центра кривизны 0 по биссектрисе определяют по формуле

$$\nu R = \frac{2 \sin \varphi/2}{\varphi} R \ м. \qquad (10.72)$$

Расстояния до центра тяжести дуги 0′ определяют по формулам:

$$a = \left[\sin\frac{\varphi}{2} \sin\beta + \right.$$

$$\left. + \left(\nu - \cos\frac{\varphi}{2}\right)\cos\beta\right] R = c_a R \ м; \qquad (10.73)$$

$$b = \left[\sin\frac{\varphi}{2} \sin\beta - \right.$$

$$\left. - \left(\nu - \cos\frac{\varphi}{2}\right)\cos\beta\right] R = c_b R \ м; \qquad (10.74)$$

$$c = \left[\sin\frac{\varphi}{2} \cos\beta - \right.$$

$$\left. - \left(\nu - \cos\frac{\varphi}{2}\right)\sin\beta\right] R = c_c R \ м; \qquad (10.75)$$

$$d = \left[\sin\frac{\varphi}{2} \cos\beta + \right.$$

$$\left. + \left(\nu - \cos\frac{\varphi}{2}\right)\sin\beta\right] R = c_d R \ м. \qquad (10.76)$$

Значения коэффициентов ν, c_a, c_b, c_c, c_d даны в табл 10 15

Центральные и центральный центробежный моменты инерции участка относительно осей, проходящих через упругий центр тяжести осевой линии участка с координатами x_0 и y_0, определяют по формулам:

$$I_{x0} = I_x - L_{\text{пр}}\, y_0^2 \ м^3; \qquad (10.77)$$

$$I_{y0} = I_y - L_{\text{пр}}\, x_0^2 \ м^3, \qquad (10.78)$$

$$I_{xy0} = I_{xy} - L_{\text{пр}}\, x_0 y_0 \ м^3, \qquad (10.79)$$

Таблица 10 16

Пример расчета участка трубопровода на компенсацию тепловых удлинений

Элемент расчета	Единица измерения	Расчетные формулы и обозначения	Результаты расчета
1	2	3	4
Максимальная температура теплоносителя	*град*	t	300
Условный проход	*мм*	$D_у$	300
Наружный диаметр трубы	„	$D_н$	325
Номинальная толщина стенки трубы		s	8
Материал стенки трубы	—	Сталь марки	10
Расстояние между неподвижными опорами	*м*	L	27 3
Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления	*град*	$t_{н\,о}$	—30
Вылеты компенсатора	*м*	H_1	7,4
		H_2	4,4
Спинка компенсатора	„	B	16,9
Прочие геометрические размеры компенсатора		l_1	5
		l_3	5
		l_5	14,5
		l_7	2
		l_9	3
Внутренний диаметр трубы	*мм*	$D_в = D_н - 2s$	309
Момент инерции поперечного сечения стенки трубы	*см*^{4}	$I = \frac{\pi}{64}\left(D_н^4 - D_в^4\right)$	10010
Момент сопротивления поперечного сечения стенки трубы	*см*^{3}	$W = \frac{\pi}{32}\frac{\left(D_н^4 - D_в^4\right)}{D_н} = \frac{2I}{D_н}$	616
Радиус оси гнутой трубы	*мм*	R	1200
Средний радиус трубы	-	$r_{ср} = \frac{D_н - s}{2}$	158,5
Геометрическая характеристика гибкости гнутого гладкого отвода	—	$h = \frac{sR}{r_{ср}^2}$	0,383
Коэффициент гибкости гнутого гладкого отвода	—	$k = \frac{1,65}{h}$	4,3
Коэффициент концентрации продольных изгибающих компенсационных напряжений в гнутом гладком отводе	—	$m = \frac{0,9}{h^{2/3}}$	1,71

Продолжение табл 10 16

Элемент расчета	Единица измерения	Расчетные формулы и обозначения	Результаты расчета
1	2	3	4
Угол дугового отрезка	—	φ^0	90°
Угол наклона хорды дугового отрезка к оси x' для l_2 и l_4	—	β^0	45°
То же, для l_6 и l_8			135°
Коэффициенты для вычисления расстояний от концов дугового отрезка до центра тяжести дугового отрезка	—	$c_b = c_c = \left[\sin\frac{\varphi}{2}\cos\beta - \left(\nu - \cos\frac{\varphi}{2}\right)\sin\beta\right]$	0,364
		$c_a = c_d = \left[\sin\frac{\varphi}{2}\cos\beta + \left(\nu - \cos\frac{\varphi}{2}\right)\sin\beta\right]$	0,636
Расстояния от концов дугового отрезка до центра тяжести дугового отрезка	*м*	$b = c = c_b R = c_c R$	0,437
		$a = d = c_a R = c_d R$	0,763
Коэффициент для вычисления приведенной длины дугового отрезка	—	$c_{\text{пр}} = 0{,}0174\varphi$	1,571
Приведенная длина дугового отрезка $l_2 = l_4 = l_6 = l_8$	*м*	$l_{\text{пр}} = c_{\text{пр}} kR$	8,1
Центральные моменты инерции участка относительно осей x_0, y_0	*м*⁴	I_{x0} (по табл 10 18)	490,4
		I_{y0} (по табл 10.18)	4156,7
Центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0, y_0	"	I_{xy0} (по табл 10 18)	—490,7
Модуль упругости трубной стали 10 при температуре t=300 С	*кгс/см*²	E	$1{,}755\ 10^6$
Коэффициент линейного расширения трубной стали при температуре t=300° С	*мм/м град*	α	$1{,}34\ 10^{-2}$
Расчетное тепловое удлинение конца A трубопровода по оси x	*мм*	$\Delta x = \alpha L (t - t_{\text{н.о}})$	121
То же, по оси y		$\Delta y = -\alpha (H_1 - H_2)(t - t_{\text{н.о}})$	—13,3
Сила упругой деформации по оси x	*кгс*	$P_x = \frac{\Delta x' I_{y0} + \Delta y I_{xy0}}{I_{x0} I_{y0} - I_{xy0}^2} \cdot \frac{EI}{10^7}$	497
То же, по оси y	"	$P_y = \frac{\Delta y I_{x0} + \Delta x I_{xy0}}{I_{x0} I_{y0} - I_{xy0}^2} \cdot \frac{EI}{10^7}$	64,5
Равнодействующая сил упругой деформации	"	$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$	501,2
Изгибающий момент в точке C	*кгсм*	$M_C = -P_x y_0 + P_y (x_0 - R)$ или $M_C = -P h_c$	—1762

Продолжение табл 10.16

Элемент расчета	Единица измерения	Расчетные формулы и обозначения	Результаты расчета
1	2	3	4
Изгибающий момент в точке D	*кгсм*	$M_D = P_x (H_1 - y_0) + F_y (x_0 + R)$ или $M_D = Ph_D$	1763
Максимальное продольное изгибающее компенсационное напряжение в точке D	*кгс/мм²*	$\sigma^{к}_{и(D)} = \frac{M_D\, m}{W}$	4,9

Примечания. 1 Расчет произведен в предположении, что конец трубопровода A раскреплен.
2. Знак „минус" у изгибающего момента в точке C показывает только направление этого момента и при определении напряжений не учитывается.
3. Полученное по расчету на компенсацию максимальное компенсационное напряжение не должно быть больше допускаемого компенсационного напряжения, определяемого расчетом на прочность.

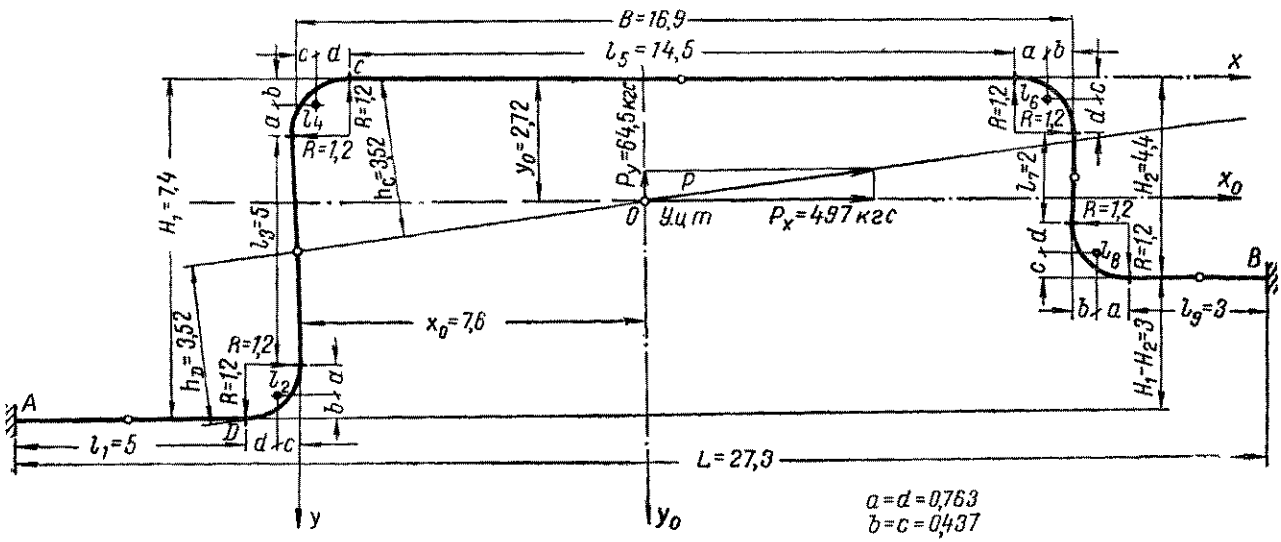


Рис 10 19 Схема расчетного участка трубопровода по осевой линии

где $L_{пр}\, y_0^2$, $L_{пр}\, x_0^2$, $L_{пр}\, x_0\, y_0$ — поправки на перенос координатных осей из исходного начала координат в упругий центр тяжести в $м^3$;

$L_{пр}$ — приведенная длина осевой линии участка трубопровода в $м$;

x_0, y_0 — координаты упругого центра тяжести относительно выбранной системы координат в $м$.

Приведенную длину осевой линии участка трубопровода определяют по формуле

$$L_{пр} = \Sigma\, l_{пр}\ м. \qquad (10.80)$$

Координаты упругого центра тяжести относительно выбранной системы координат определяют по формулам:

$$x_0 = \frac{\Sigma\, S_y}{L_{пр}}\ м, \qquad (10.81)$$

$$y_0 = \frac{\Sigma\, S_x}{L_{пр}}\ м. \qquad (10.82)$$

Центральный центробежный момент инерции для фигур симметричных относительно одной из координатных осей равен нулю.

По приведенной выше методике сделан пример расчета на компенсацию тепловых удлинений табл 10.16—10 18 для участка трубопровода, схема которого дана на рис. 10.19.

Таблица 10.17

Определение собственных и собственных центробежных моментов инерции

Отрезки	Геометрическая длина отрезков l или радиус оси отвода R в $м$	Коэффициент для вычисления собственных моментов инерции			Коэффициент гибкости гнутого гладкого отвода k	l^3 или kR^3 в $м^3$	Собственные и собственные центробежные моменты инерции в $м^3$		
		c_x c_{x1}	c_y c_{y1}	c_{xy} c_{xy1}			$I'_x = c_x l^3$ или $I'_x = c_{x1} kR^3$	$I'_y = c_y l^3$ или $I'_y = c_{y1} kR^3$	$I'_{xy} = c_{xy} l^3$ или $I'_{xy} = c_{xy1} kR^3$
l_1	5	0	0,0833	0	1	125	0	10,41	0
l_2	1,2	0,149	0,149	0,137	4,3	7,43	1,11	1,1	—1,02
l_3	5	0,0833	0	0	1	125	10,41	0	0
l_4	1,2	0,149	0,149	0,137	4,3	7,43	1,11	1,11	—1,02
l_5	14,5	0	0,0833	0	1	3049	0	254	0
l_6	1,2	0,149	0,149	0,137	4,3	7,43	1,11	1,11	1,02
l_7	2	0,0833	0	0	1	8	0,67	0	0
l_8	1,2	0,149	0,149	0,137	4,3	7,43	1,11	1,11	1,02
l_9	3	0	0,0833	0	1	27	0	2,25	0
Сумма собственных моментов инерции							$\Sigma I'_x = 15,52$	$\Sigma I'_y = 271,1$	$\Sigma I'_{xy} = 0$

Таблица 10.18

Определение центральных моментов инерции

Отрезки	Приведенная длина отрезков $l_{пр}$ в $м$	Координаты центра тяжести отрезков в $м$		Статические моменты отрезков в $м^2$		$S_x\, y_c$	$S_y\, x_c$	$S_x\, x_c = S_y\, y_c$
		y_c	x_c	$S_x = l_{пр}\, y_c$	$S_y = l_{пр}\, x_c$			
l_1	5	7,4	—3,7	37	—18,5	273,8	68,5	—136,9
l_2	8,1	6,96	—0,44	56,4	—3,6	392,5	1,6	— 24,8
l_3	5	3,7	0	18,5	0	68,5	0	0
l_4	8,1	0,44	0,44	3,6	3,6	1,6	1,6	1,6
l_5	14,5	0	8,45	0	122,5	0	1035,1	0
l_6	8,1	0,44	16,46	3,6	133,3	1,6	2194,1	59,3
l_7	2	2,2	16,9	4,4	33,8	9,7	571,2	74,4
l_8	8,1	3,96	17,34	32,1	140,5	127,1	2436,3	556,6
l_9	3	4,4	19,6	13,2	58,8	58,1	1152,5	258,7
	$L_{пр} = \Sigma l_{пр} = 61,9$	$y_0 = \frac{S_x}{L_{пр}} = 2,72$	$x_0 = \frac{S_y}{L_{пр}} = 7,6$	$\Sigma S_x = 168,8$	$\Sigma S_y = 470,4$	$\Sigma S_x\, y_c = 932,9$	$\Sigma S_y\, x_c = 7460,9$	$\Sigma S_x\, x_c = \Sigma S_y\, y_c = 788,9$
Сумма собственных моментов инерции (по табл. 10.17)						$\Sigma I'_x = 15,52$	$\Sigma I'_y = 271,1$	$\Sigma I'_{xy} = 0$
Моменты инерции участка относительно осей x, y						$I_x = 948,4$	$I_y = 7732$	$I_{xy} = 788,9$
Поправка на перенос осей в упругий центр тяжести						$-L_{пр}\, y_0^2 = -458$	$-L_{пр}\, x_0^2 = -3575,3$	$-L_{пр}\, x_0\, y_0 = -1279,6$
Центральные моменты инерции участка относительно осей x_0, y_0						$I_{x0} = 490,4$	$I_{y0} = 4156,7$	$I_{xy0} = -490,7$

10.4. РАСЧЕТ НА КОМПЕНСАЦИЮ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ ПЛОСКИХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Для упрощения расчетов на компенсацию тепловых удлинений трубопроводов ниже приводятся расчетные формулы для определения сил упругой деформации и изгибающих продольных компенсационных напряжений для некоторых схем участков трубопроводов с естественной компенсацией (самокомпенсацией), встречающихся при проектировании тепловых сетей. Формулы выведены по приведенной выше методике расчета труб на компенсацию тепловых удлинений.

Расчетные формулы даны для условий расчета участков трубопровода с учетом и без учета гибкости отводов. Гибкость отвода учитывают для участков трубопроводов с гнутыми гладкими отводами при коротких прилегающих к отводу плечах. Коэффициенты k и m в этом случае определяют по формулам (10.52)—(10.56).

При расчете участков трубопроводов со сварными и крутоизогнутыми отводами, а также при расчете участков трубопроводов с гнутыми гладкими отводами при длинных прилегающих к отводу плечах гибкость отводов не учитывают. Коэффициенты k и m в этом случае принимают равными единице.

В приведенных ниже формулах приняты следующие обозначения:

α — коэффициент линейного расширения трубной стали в *мм/м град*;
E — модуль упругости трубной стали в *кгс/см²*;
I — момент инерции поперечного сечения стенки трубы в *см³*,
Δt — расчетная разность температур между максимальной температурой теплоносителя t и расчетной для проектирования отопления температурой наружного воздуха $t_{но}$ в *град*;
l (с индексами) — длины прямых отрезков трубопроводов в *м*,
R — радиус оси отвода в *м*;
$D_н$ — наружный диаметр трубы в *см*.

Г-образный участок трубопровода с углом поворота 90° (с учетом гибкости отвода)

Схема расчетного участка дана на рис. 10.20.

Расчет производят по формулам:

приведенная длина осевой линии участка трубопровода

$$L_{пр} = l_1 + l_2 + 1{,}57Rk \ м, \qquad (10.83)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{l_2(0{,}5l_2 + R) + 0{,}57R^2k}{L_{пр}} \ м, \qquad (10.84)$$

$$y_0 = \frac{l_1(0{,}5l_1 + R) + 0{,}57R^2k}{L_{пр}} \ м; \qquad (10.85)$$

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x_0} = l_1\left(\frac{l_1^2}{3} + l_1R + R^2\right) + 0{,}355R^3k - L_{пр}y_0^2 \ м^3; \qquad (10.86)$$

$$I_{y_0} = l_2\left(\frac{l_2^2}{3} + l_2R + R^2\right) + 0{,}355R^3k - L_{пр}x_0^2 \ м^3; \qquad (10.87)$$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0

$$I_{xy_0} = 0{,}072R^3k - L_{пр}x_0y_0 \ м^3; \qquad (10.88)$$

расчетные тепловые удлинения вдоль осей x и y:

$$\Delta x = \alpha\Delta t(l_2 + R) \ мм; \qquad (10.89)$$

$$\Delta y = -\alpha\Delta t(l_1 + R) \ мм. \qquad (10.90)$$

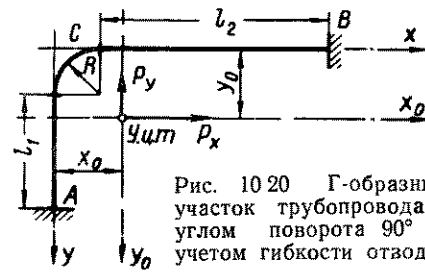


Рис. 10.20. Г-образный участок трубопровода с углом поворота 90° (с учетом гибкости отвода)

Силы упругой деформации определяют по формулам (10.44) и (10.45).

Максимальный изгибающий момент на прямом отрезке

при $l_1 \leqslant l_2$ в точке A

$$M_{макс} = (l_1 + R - y_0)P_x + x_0P_y \ кгсм; \qquad (10.91)$$

при $l_1 \geqslant l_2$ в точке B

$$M_{макс} = -(l_2 + R - x_0)P_y - y_0P_x \ кгсм; \qquad (10.92)$$

максимальный изгибающий момент на гнутом отрезке в точке C (середина дуги)

$$M = -(y_0 - 0{,}293R)P_x + (x_0 - 0{,}293R)P_y \ кгсм. \qquad (10.93)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формулам (10.50) и (10.51).

Z-образный участок трубопровода (с учетом гибкости отводов)

Схема расчетного участка дана на рис. 10.21.

Расчет производят по формулам:

приведенная длина осевой линии участка трубопровода

$$L_{пр} = l_1 + l_2 + l_3 + 3{,}14Rk \ м; \qquad (10.94)$$

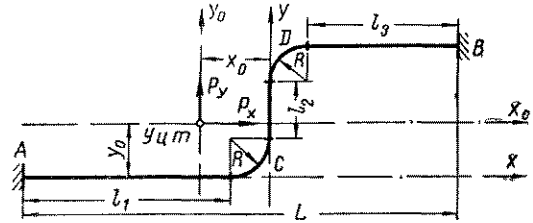


Рис. 10.21. Z-образный участок трубопровода (с учетом гибкости отводов)

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{l_3(0{,}5l_3 + R) - l_1(0{,}5l_1 + R)}{L_{пр}} \text{ м}; \quad (10.95)$$

$$y_0 = \frac{(l_2 + 2R)(l_3 + 0{,}5l_2 + 1{,}57Rk)}{L_{пр}} \text{ м}; \quad (10.96)$$

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = \frac{l_2^3}{12} + \left(l_3 + \frac{l_2}{4}\right)(l_2 + 2R)^2 + 1{,}57Rk\left(l_2^2 + 3{,}272l_2R + 3R^2\right) - L_{пр}y_0^2 \text{ м}^3; \quad (10.97)$$

$$I_{y0} = \frac{l_3^3 + l_1^3}{12} + l_1(0{,}5l_1 + R)^2 + l_3(0{,}5l_3 + R)^2 + 0{,}713R^3k - L_{пр}x_0^2 \text{ м}^3; \quad (10.98)$$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{xy0} = l_3 + 0{,}5(l_3 + R)(l_2 + 2R) + R^3k + 0{,}57R^2l_2k - L_{пр}x_0y_0 \text{ м}^3; \quad (10.99)$$

расчетные тепловые удлинения вдоль осей x и y:

$$\Delta x = \alpha\Delta tL \text{ мм}. \quad (10.100)$$

$$\Delta y = \alpha\Delta t(l_2 + 2R) \text{ мм} \quad (10.101)$$

Силы упругой деформации определяют по формулам (10.44) и (10.45).

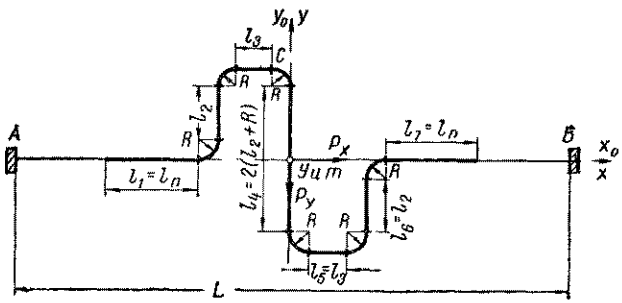


Рис. 10.22. Участок трубопровода с S-образным компенсатором (с учетом гибкости отводов)

Максимальным изгибающим моментом является наибольший из моментов, определенных на прямых отрезках для точек A и B и на гнутых отрезках для точек C и D (середина дуги):

$$M_A = (l_1 + R + x_0)P_y - y_0P_x \text{ кгсм}; \quad (10.102)$$

$$M_B = (l_2 + 2R - y_0)P_x - (l_3 + R - x_0)P_y \text{ кгсм}; \quad (10.103)$$

$$M_C = (x_0 + 0{,}293R)P_y - (y_0 - 0{,}293R)P_x \text{ кгсм}; \quad (10.104)$$

$$M_D = (x_0 - 0{,}293R)P_y + (l_2 + 1{,}707R - y_0)P_x \text{ кгсм}. \quad (10.105)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формулам (10.50) и (10.51).

Участок трубопровода с S-образным компенсатором (с учетом гибкости отводов)

Схема расчетного участка дана на рис. 10.22.

Расчет производят по формулам:

координаты упругого центра тяжести: $x_0=0$; $y_0=0$;

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = \frac{l_2^3}{6} + \frac{2}{3}(l_2 + R)^3 + 2\left(l_3 + \frac{l_2}{4}\right)(l_2 + 2R)^2 + 6{,}28Rk\left(l_2^2 + 3{,}27l_2R + 2{,}9R^2\right) \text{ м}^3; \quad (10.106)$$

$$I_{y0} = \frac{l_1^3 + l_3^3}{6} + 2l_1\left(\frac{l_1}{2} + l_3 + 3R\right)^2 + \left(2l_2 + \frac{l_3}{2}\right)(l_3 + 2R)^2 + 6{,}28Rk\left(l_3^2 + 4l_3R + 4{,}34R^2\right) \text{ м}^3; \quad (10.107)$$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{xy0} = -(0{,}5l_2l_3 + l_2R + l_3R + 2R^2) \times (2l_2 + 2l_3 + 6{,}28Rk) - 0{,}142R^3k \text{ м}^3; \quad (10.108)$$

расчетные тепловые удлинения вдоль осей x и y:

$$\Delta y = 0;$$

$$\Delta x = \varepsilon\alpha\Delta tL \text{ мм}; \quad (10.109)$$

силы упругой деформации:

$$P_x = \frac{\Delta xI_{y0}}{I_{x0}I_{y0} - I_{xy0}^2} \cdot \frac{EI}{10^7} \text{ кгс}; \quad (10.110)$$

$$P_y = \frac{\Delta xI_{xy0}}{I_{x0}I_{y0} - I_{xy0}^2} \cdot \frac{EI}{10^7} \text{ кгс}; \quad (10.111)$$

максимальный изгибающий момент в точке C

$$M_{макс} = (l_2 + 2R)P_x + P_yR \text{ кгсм}. \quad (10.112)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формулам (10.50) и (10.51).

При отсутствии прямых вставок на спинке S-образного компенсатора ($l_3=l_5=0$) формулы упрощаются и принимают вид (при $l_1=nR$ и $l_2=mR$):

координаты упругого центра тяжести:

$x_0=0$; $y_0=0$;

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = 0{,}67R^3 + 18{,}1kR^3 + 4mR^3 + 20{,}5mR^3k + 6{,}28m^2R^3k + 4m^2R^3 + 1{,}3m^3R^3 \text{ м}^3; \quad (10.113)$$

$$I_{y0} = 27{,}2kR^3 + 8mR^3 + 6n^2R^3 + 0{,}66n^3R^3 \text{ м}^3; \quad (10.114)$$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0, y_0

$$I_{xy0} = -6{,}28mR^3k - 12{,}7R^3k - 4mR^3 - 2m^2R^3 \text{ м}^3. \quad (10.115)$$

Расчетные тепловые удлинения, силы упругой деформации, максимальный изгибающий момент и компенсационное напряжение в точке C определяют по формулам (10.109)—(10.112), (10.50) и (10.51).

При отсутствии прямых вставок на спинке ($l_3=l_5=0$) и в вылете ($l_2=l_6=0$) S-образного компенсатора расчет можно производить непосредственно по формулам:

силы упругой деформации:

$$P_x = \frac{\Delta\, xEI}{0{,}67R^3(1+27k)\,10^7}\ кгс; \qquad (10.116)$$

$$P_y = \frac{-\Delta\, xEI}{26{,}8R^3\left(76+k+\dfrac{2{,}8}{k}\right)10^7}\ кгс; \qquad (10.117)$$

максимальное изгибающее компенсационное напряжение

$$\sigma^{к}_{и} = \frac{(2P_xR - P_yR)\,m}{W}\ кгс/мм^2. \qquad (10.118)$$

Участок трубопровода с S-образным компенсатором (без учета гибкости отводов)

Схема расчетного участка дана на рис. 10.23.

Расчет производят по формулам:

координаты упругого центра тяжести: $x_0=0$; $y_0=0$;

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = \frac{5}{6}\,l_2^3 + 2l_2^2\left(l_3+\frac{l_2}{4}\right)м^3; \qquad (10.119)$$

$$I_{y0} = \frac{l_1^3+l_3^3}{6} + 2l_1\left(\frac{l_1}{2}+l_3\right)^2 + l_3^2\left(2l_2+\frac{l_3}{2}\right)м^3; \qquad (10.120)$$

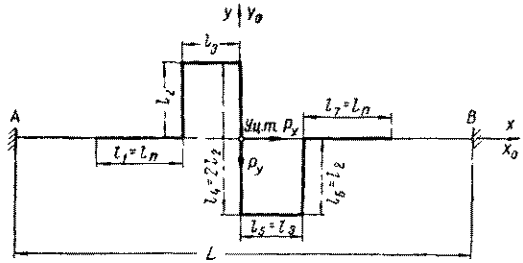


Рис. 10.23. Участок трубопровода с S-образным компенсатором (без учета гибкости отводов)

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{xy0} = -l_2l_3(l_2+l_3)\ м^3. \qquad (10.121)$$

Расчетные тепловые удлинения и силы упругой деформации определяют по формулам (10.109)—(10.111).

Максимальный изгибающий момент на спинке компенсатора определяют по формуле

$$M_{макс} = l_2P_x\ кгсм. \qquad (10.122)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формуле (10.50).

-образный участок трубопровода (с учетом гибкости отводов)

Схема расчетного участка дана на рис. 10.24

Расчет производят по формулам:

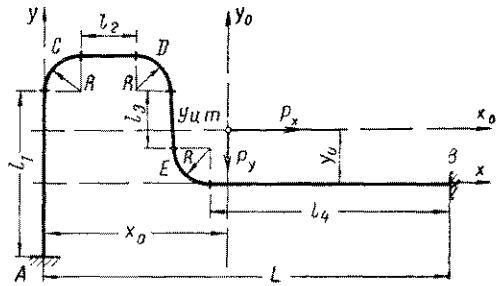


Рис. 10.24. -участок трубопровода (с учетом гибкости отводов)

приведенная длина осевой линии участка трубопровода

$$L_{пр} = l_1+l_2+l_3+l_4+4{,}71Rk\ м; \qquad (10.123)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{(l_2+2R)(l_3+0{,}5l_2)+l_4(0{,}5l_4+l_2+3R)+}{L_{пр}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+3{,}14Rk(l_2+2{,}18R)}{L_{пр}}\ м; \qquad (10.124)$$

$$y_0 = \frac{(l_3+2R)(l_2+0{,}5l_3)+(l_3+R-0{,}5l_1)l_1+}{L_{пр}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+3{,}14Rk(l_3+1{,}81R)}{L_{пр}}\ м; \qquad (10.125)$$

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = \frac{l_1^3+l_3^3}{12} + \left(l_2+\frac{l_3}{4}\right)(l_3+2R)^2 + \left(l_3+R-\frac{l_1}{2}\right)^2 l_1 + 3{,}14Rk\left(l_3^2+3{,}27Rl_3+2{,}89R^2\right) - L_{пр}\,y_0^2\ м^3; \qquad (10.126)$$

$$I_{y0} = \frac{l_2^3+l_4^3}{12} + \left(l_3+\frac{l_2}{4}\right)(l_2+2R^2)^2 + l_4\left(l_2+3R+\frac{l_4}{2}\right)^2 + 3{,}14Rk\left(l_2^2+4Rl_2+4{,}33R^2\right) - L_{пр}\,x_0^2\ м^3; \qquad (10.127)$$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{xy0} = 0,5\,(l_3 + 2R)\,(l_2 + 2R)\,(l_2 + l_3) + \\ + 3,14Rk\,(0,5l_2l_3 + Rl_2 + Rl_3 + 2,02R^2) - \\ - L_{пр}\,x_0y_0 \ м^3; \quad (10.128)$$

расчетные тепловые удлинения вдоль осей x и y: Δx — по формуле (10.100).

$$\Delta y = \alpha\Delta t\,(l_1 - R - l_3) \ мм. \quad (10.129)$$

Силы упругой деформации определяют по формулам (10.44) и (10.45).

Максимальным изгибающим моментом является наибольший из моментов, определенных на прямых отрезках для точек A и B и на гнутых отрезках для точек C, D и E (середина дуги):

$$M_A = (l_3 + R - y_0 - l_1)\,P_x + x_0\,P_y \ кгсм; \quad (10.130)$$

$$M_B = -y_0\,P_x - (l_4 + l_2 + 3R - x_0)\,P_y \ кгсм; \quad (10.131)$$

$$M_C = (l_3 + 1,707R - y_0)\,P_x - \\ - (0,293R - x_0)\,P_y \ кгсм; \quad (10.132)$$

$$M_D = (l_3 + 1,707R - y_0)\,P_x - \\ - (l_2 + 1,707R - x_0)\,P_y \ кгсм; \quad (10.133)$$

$$M_E = (0,293R - y_0)\,P_x - \\ - (l_2 + 2,293R - x_0)\,P_y \ кгсм. \quad (10.134)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формулам (10.50) и (10.51).

Г-образный участок трубопровода (без учета гибкости отводов)

Схема расчетного участка дана на рис. 10.25 Расчет производят по формулам:

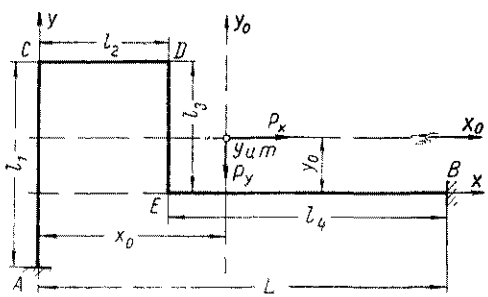


Рис 10. Участок трубопровода (без учета гибкости отводов)

приведенная длина осевой линии участка

$$L_{пр} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \ м; \quad (10.135)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{0,5\,(l_2 + l_4)^2 + l_2l_3}{L_{пр}} \ м; \quad (10.136)$$

$$y_0 = \frac{0,5l_3^2 + l_2\,l_3 + l_1\,l_3 - 0,5l_1^2}{L_{пр}} \ м; \quad (10.137)$$

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = \frac{l_1^3 + l_3^3}{3} + l_3^2\,(l_1 + l_2) - \\ - l_1^2\,l_3 - L_{пр}\,y_0^2 \ м^3; \quad (10.138)$$

$$I_{y0} = \frac{l_2^3 + l_4^3}{3} + l_2^2\,(l_3 + l_4) + \\ + l_2\,l_4^2 - L_{пр}\,x_0^2 \ м^3; \quad (10.139)$$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0 и y_0

$$I_{xy0} = 0,5l_2l_3\,(l_2 + l_3) - L_{пр}\,x_0\,y_0 \ м^3; \quad (10.140)$$

Расчетные тепловые удлинения вдоль осей x и y: Δx по формуле (10.100).

$$\Delta y = \alpha\Delta t\,(l_1 - l_3) \ мм. \quad (10.141)$$

Силы упругой деформации определяют по формулам (10.44) и (10.45).

Максимальным изгибающим моментом будет максимальный из полученных по формулам:

$$M_A = (l_3 - y_0 - l_1)\,P_x + x_0\,P_y \ кгсм; \quad (10.142)$$

$$M_B = -y_0P_x - (l_4 + l_2 - x_0)\,P_y \ кгсм; \quad (10.143)$$

$$M_C = (l_3 - y_0)\,P_x + x_0\,P_y \ кгсм; \quad (10.144)$$

$$M_D = (l_3 - y_0)\,P_x - (l_2 - x_0)\,P_y \ кгсм; \quad (10.145)$$

$$M_E = -y_0\,P_x - (l_2 - x_0)\,P_y \ кгсм. \quad (10.146)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формуле (10.50).

При $l_1 = l_3$ формулы принимают вид:

приведенная длина осевой линии участка

$$L_{пр} = l_2 + 2l_3 \ м; \quad (10.147)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{0,5\,(l_2 + l_4)^2\,l_2l_3}{L_{пр}} \ м; \quad (10.148)$$

$$y_0 = \frac{l_3\,(l_2 + l_3)}{L_{пр}} \ м; \quad (10.149)$$

центральные моменты инерции относительно осей x_0, y_0:

$$I_{x_0} = l_3^2\left(l_2 + \frac{2}{3}\,l_3\right) - L_{пр}\,y_0^2 \ м^3; \quad (10.150)$$

I_{y_0} — по формуле (10.139).

Центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0, y_0 определяют по формуле (10.140).

Расчетные тепловые удлинения вдоль осей x, y:

$$\Delta x = \alpha\Delta t\,(l_2 + l_4) \ мм; \quad (10.151)$$

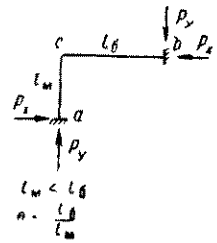
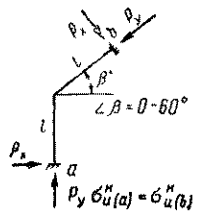
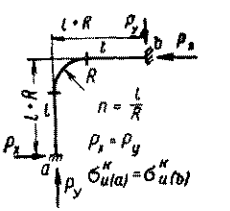
$$\Delta y = 0.$$

Силы упругой деформации, максимальный изгибающий момент и изгибающие компенсационные напряжения определяют по формулам (10.44), (10.45), (10.142)—(10.146) и (10.50).

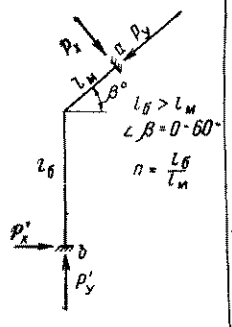
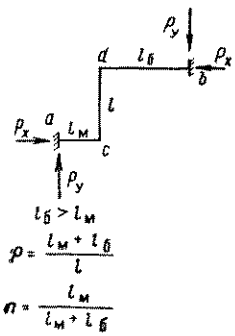
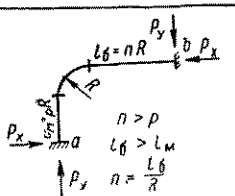
Для наиболее часто встречающихся в практике проектирования тепловых сетей конфигураций участков трубопроводов (Г-и Z-образные участки трубопроводов) уп-

Таблица 10.19

Расчетные формулы для определения P_x, P_y, $\sigma^к_и$ и безразмерных коэффициентов A, B и C для участков трубопроводов различной конфигурации

№ схем	Схема расчетного участка	Формулы для определения P_x, P_y и $\sigma^к_и$	Формулы для определения коэффициентов A, B и C	№ рисунков номограмм для определения коэффициентов A, B, C
1		$P_x = A\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l_м^2}$ кгс	$A = \dfrac{3(n^3+4n^2+3)}{n(n+1)}$	10.26
		$P_y = B\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l_м^2}$ кгс	$B = \dfrac{3(3n^3+4n+1)}{n^3(n+1)}$	
		$\sigma^к_{и(a)} = C_{(a)}\dfrac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 l_м}\ \dfrac{кгс}{мм^2}$ $\sigma^к_{и(b)} = C_{(b)}\dfrac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 l_м}\ \dfrac{кгс}{мм^2}$ $\sigma^к_{и(c)} = C_{(c)}\dfrac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 l_м}\ \dfrac{кгс}{мм^2}$	$C_{(a)} = \dfrac{1{,}5(n^3+2n^2+1)}{n(n+1)}$ $C_{(b)} = \dfrac{1{,}5(n^3+2n+1)}{n^2(n+1)}$ $C_{(c)} = \dfrac{3(n^2+1)}{n(n+1)}$	10.26
2		$P_x = A\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l^2}$ кгс	$A = \dfrac{12(1+\sin\beta)}{\cos\beta}$	10.27
		$P_y = B\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l^2}$ кгс	$B = \dfrac{12(1+\sin\beta)^2}{\cos^2\beta}$	
		$\sigma^к_{и(a)} = C\dfrac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 l}\ \dfrac{кгс}{мм^2}$	$C = \dfrac{3(1+\sin\beta)}{\cos\beta}$	10.28
3		$P_x = A\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 R^2}$ кгс	$A = \dfrac{6(n+1)(1{,}57k+2n)}{n^4+k(3{,}14n^3+2{,}58n^2+0{,}84n)+0{,}1k^2}$	10.29
		$\sigma^к_{и(a)} = C\dfrac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 R}\ \dfrac{кгс}{мм^2}$	$C = \dfrac{3(n+1)[n^2+k(1{,}57n+0{,}43)]}{n^4+k(3{,}14n^3+2{,}58n^2+0{,}84n)+0{,}1k^2}$	
4	См. схему 4 на стр. 199	$P'_x = A'\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l_м^2}$ кгс	$A' = \dfrac{3[(3n^3+4n+1)+\sin\beta(7n^2+n)]}{n^3(1+n)\cos\beta}$	10.30
		$P'_y = B'\dfrac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l_м^2}$ кгс	$B' = \dfrac{3[n^2(n^3+4n^2+3)+\sin^2\beta(7n^2+n)+\sin\beta(n^4+10n^3+4n+1)]}{n^3(1+n)\cos^2\beta}$	

Продолжение табл. 10.19

№ схем	Схема расчетного участка	Формулы для определения P_x, P_y и $\sigma^{к}_{и}$	Формулы для определения коэффициентов A, B и C	№ рисунков номограмм для определения коэффициентов A, B, C
4		$P_x = A\frac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l_м^2}$ кгс	$A = \frac{3[(n^3+4n^2+3)+\sin\beta\,(n^2+7n)]}{n(1+n)\cos\beta}$	10.31
		$P_y = B\frac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l_м^2}$ кгс	$B = \frac{3[(3n^3+4n+1)+n^2\sin^2\beta\,(n^2+7n)+ n^3\cos^2\beta\,(1+n) + n\sin\beta\,(n^4+4n^3+10n+1)]}{n^3\cos^2\beta\,(1+n)}$	
		$\sigma^{к}_{и(a)} = C\frac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 l_м}$ кгс/мм²	$C = \frac{1{,}5(n^3+2n^2+1)}{n(n+1)\cos\beta} + \frac{1{,}5(n+3)}{(n+1)}\operatorname{tg}\beta$	10.32
5		$P_x = A\frac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l^2}$ кгс	$A = \frac{3[p^3+4p^2+3-6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	10.33
		$P_y = B\frac{\alpha EI\Delta t}{10^7 l^2}$ кгс	$B = \frac{3[3p^3+4p+1+6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	
		$\sigma^{к}_{и(a)} = C_{(a)}\frac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 2l}$ кгс/мм²	$C_{(a)} = \frac{2pn+p^2}{2(1+p)}B - \frac{1+2p-2pn}{2(1+p)}A$	$C_{макс}$ по рис. 10.34
		$\sigma^{к}_{и(c)} = C_{(c)}\frac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 2l}$ кгс/мм²	$C_{(c)} = \frac{p^2-2p^2n}{2(1+p)}B - \frac{1+2p-2pn}{2(1+p)}A$	
		$\sigma^{к}_{и(d)} = C_{(d)}\frac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 2l}$ кгс/мм²	$C_{(d)} = \frac{1+2pn}{2(1+p)}A + \frac{p^2-2p^2n}{2(1+p)}B$	
		$\sigma_{и(b)} = C(b)\frac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 2l}$ кгс/мм²	$C_{(b)} = \frac{1+2pn}{2(1+p)}A - \frac{p^2+2p-2pn}{2(1+p)}B$	
6		$P_x = A\frac{\alpha EI\Delta t}{10^7 R^2}$ кгс	A^* и B^{**}	10.35
		$P_y = B\frac{\alpha EI\Delta t}{10^7 R^2}$ кгс		
		$\sigma^{к}_{и(a)} = C\frac{\alpha ED_н\Delta t}{10^7 R}$ кгс/мм²	C^{***}	10.36

$$
* A = \frac{(n+1)\left[\frac{n^3}{3}+n^2+n+0{,}355k-\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)^2}{n+p+1{,}57k}\right]+(p+1)\left[\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)(0{,}5p^2+p+0{,}57k)}{n+p+1{,}57k}-0{,}07k\right]}{\left[\frac{n^3}{3}+n^2+n+0{,}355k-\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)^2}{n+p+1{,}57k}\right]\left[\frac{p^3}{3}+p^2+p+0{,}355k\frac{(0{,}5p^2+p+0{,}57k)^2}{n+p+1{,}57k}\right]-\left[0{,}07k-\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)(0{,}5p^2+p+0{,}57k)}{n+p+1{,}57k}\right]^2}
$$

$$
** B = \frac{(p+1)\left[\frac{p^3}{3}+p^2+p+0{,}355k-\frac{(0{,}5p^2+p+0{,}57k)^2}{n+p+1{,}57k}\right]+(n+1)\left[\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)(0{,}5p^2+p+0{,}57k)}{n+p+1{,}57k}-0{,}07k\right]}{\left[\frac{n^3}{3}+n^2+n+0{,}355-\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)^2}{n+p+1{,}57k}\right]\left[\frac{p^3}{3}+p^2+p+0{,}355k-\frac{(0{,}5p^2+p+0{,}57k)}{n+p+1{,}57k}\right]-\left[0{,}07k-\frac{(0{,}5n^2+n+0{,}57k)(0{,}5p^2+p+0{,}57k)}{n+p+1{,}57k}\right]^2}
$$

$$
*** C = \left[A\left(p+1-\frac{0{,}5p^2+p+0{,}57k}{n+p+1{,}57k}\right)-B\frac{0{,}5n^2+n+0{,}57k}{n+p+1{,}57k}\right]0{,}5.
$$

Примечания. 1. Коэффициенты $C_{(a)}$, $C_{(b)}$, $C_{(c)}$, $C_{(d)}$ при подсчете их по формулам для схемы 5 могут получаться со знаками „плюс" или „минус". При определении $\sigma^{к}_{и}$ знак коэффициентов не учитывается.

2. Формулы для схем 1, 2, 4, 5 даны без учета гибкости отводов, а для схем 3 и 6 — с учетом гибкости отводов.

рощенные формулы для определения сил упругой деформации (P_x и P_y) и изгибающих продольных компенсационных напряжений $\sigma_и^к$, выраженные через безразмерные коэффициенты A, B, C, даны в табл. 10.19. Для определения безразмерных коэффициентов построены номограммы (рис. 10.26—10.36).

В таблицах 10.20 и 10.21 даны вспомогательные величины: $\frac{\alpha EI}{10^7}$; $\frac{\alpha ED_н}{10^7}$, $\frac{\alpha EI}{R^2 \cdot 10^7}$; $\frac{\alpha ED_н}{R \cdot 10^7}$, входящие в расчетные формулы табл. 10.19.

При составлении табл. 10.20 и 10.21 произведение αE принято равным $2{,}4 \cdot 10^4 \frac{кгс\ мм}{см^2\ м\ град}$.

Таблица 10.20

Вспомогательные величины для вычисления P_x, P_y и $\sigma_и^к$ при расчете труб с учетом гибкости отводов

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *см*	Толщина стенки трубы s в *мм*	Радиус оси гнутой трубы R в *м*	$\frac{\alpha EI}{10^7 R^2}$ в *кгс/град*	$\frac{\alpha ED_н}{10^7 R}$ в *кгс/мм² град*
3,2	2,5	0,15	0,271	0,0512
3,8	2,5	0,15	0,47	0,0608
4,5	2,5	0,2	0,454	0,054
5,7	3,5	0,2	1,27	0,0685
7,6	3,5	0,35	1,03	0,0521
8,9	3,5	0,35	1,69	0,0611
10,8	4	0,5	1,7	0,0518
13,3	4	0,5	3,24	0,0638
15,9	4,5	0,6	4,35	0,0636
19,4	5	0,7	6,5	0,0665
21,9	6	0,85	7,57	0,0618
27,3	7	1	12,4	0,0655
32,5	8	1,2	16,7	0,065
	9		18,6	
37,7	9	1,5	18,8	0,0604
	10		20,8	
42,6	9	1,7	21,3	0,0601
	11		25,7	

В практике проектирования тепловых сетей часто возникает необходимость определения длин взаимокомпенсирующих плеч Г-образных участков трубопроводов (см. схему 4 в табл. 10.20), которые определяют (без учета гибкости отвода) по формулам:

меньшего компенсирующего плеча

$$l_м = l_{мн} \Delta t\ м, \qquad (10.152)$$

Таблица 10.21

Вспомогательные величины для вычисления P_x, P_y и $\sigma_и^к$ при расчете труб без учета гибкости отводов

Наружный диаметр трубы $D_н$ в *см*	Толщина стенки трубы s в *мм*	$\frac{\alpha ED_н}{10^7}$ в *кгс/мм², град*	$\frac{\alpha EI}{10^7}$ в *кгс м², град*	Наружный диаметр трубы $D_н$ в *см*	Толщина стенки трубы s в *мм*	$\frac{\alpha ED_н}{10^7}$ в *кгс/мм², град*	$\frac{\alpha EI}{10^7}$ в *кгс м², град*
3,2	2,5	0,00768	0,0061	52,9	8	0,127	106,7
3,8	2,5	0,00912	0,0106		9		119,3
4,5	2,5	0,0108	0,0181		10		131,8
5,7	3,5	0,0137	0,0506	63	6	0,151	137,4
7,6	3,5	0,0182	0,126		7		159,5
8,9	3,5	0,0214	0,206		8		181,5
10,8	4	0,0259	0,425		9		203,2
13,3	4	0,0319	0,809		10		224,7
15,9	4,5	0,0382	1,56	72	7	0,173	239
19,4	5	0,0466	3,18		8		272,2
21,9	6	0,0526	5,47		9		305
27,3	7	0,0655	12,4		10		337,4
32,5	8	0,078	24,0		11		369,6
	9		26,8		12		401,5
37,7	9	0,0905	42,3	82	7	0,197	354,5
	10		46,6		8		403,7
42,6	5	0,102	35,2		9		452,6
	6		41,9		10		501,1
	7		48,5		11		532,3
	8		55,1		12		596,9
	9		61,6	92	7	0,221	502,1
	10		67,9		8		572
	11		74,2		9		641,5
	12		80,3		10		710,4
	13		86,4		11		779
					12		847
47,8	5	0,115	49,9	102	8	0,245	781,5
	6		59,5		9		877
	7		68,9				
	8		78,3		10		971,4
52,9	6	0,127	80,9		11		1065,4
	7		93,9		12		1158,7

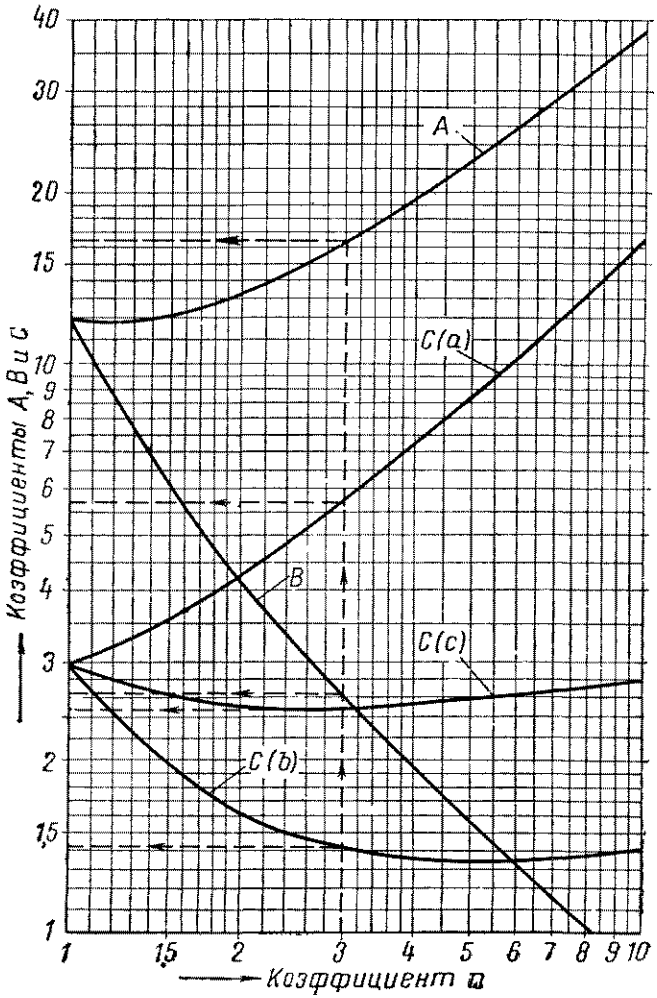


Рис. 10.26. Номограмма для определения безразмерных коэффициентов A, B, $C_{(a)}$,$C_{(b)}$,$C_{(c)}$для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота 90° без учета гибкости отвода

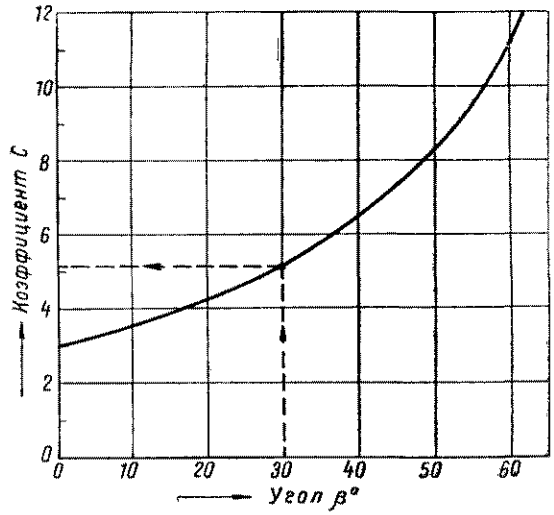


Рис. 10.27. Номограмма для определения безразмерных коэффициентов A и B для расчета равноплечего Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше 90° без учета гибкости отвода

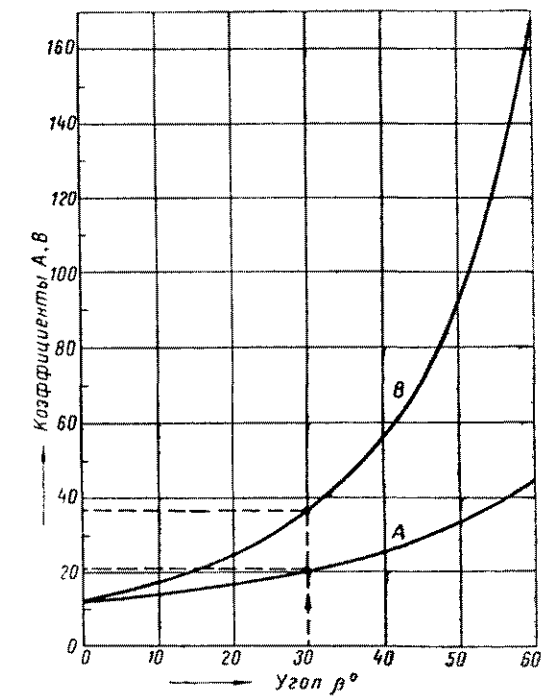


Рис. 10 28. Номограмма для определения безразмерного коэффициента C для расчета равноплечего Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше 90° без учета гибкости отвода

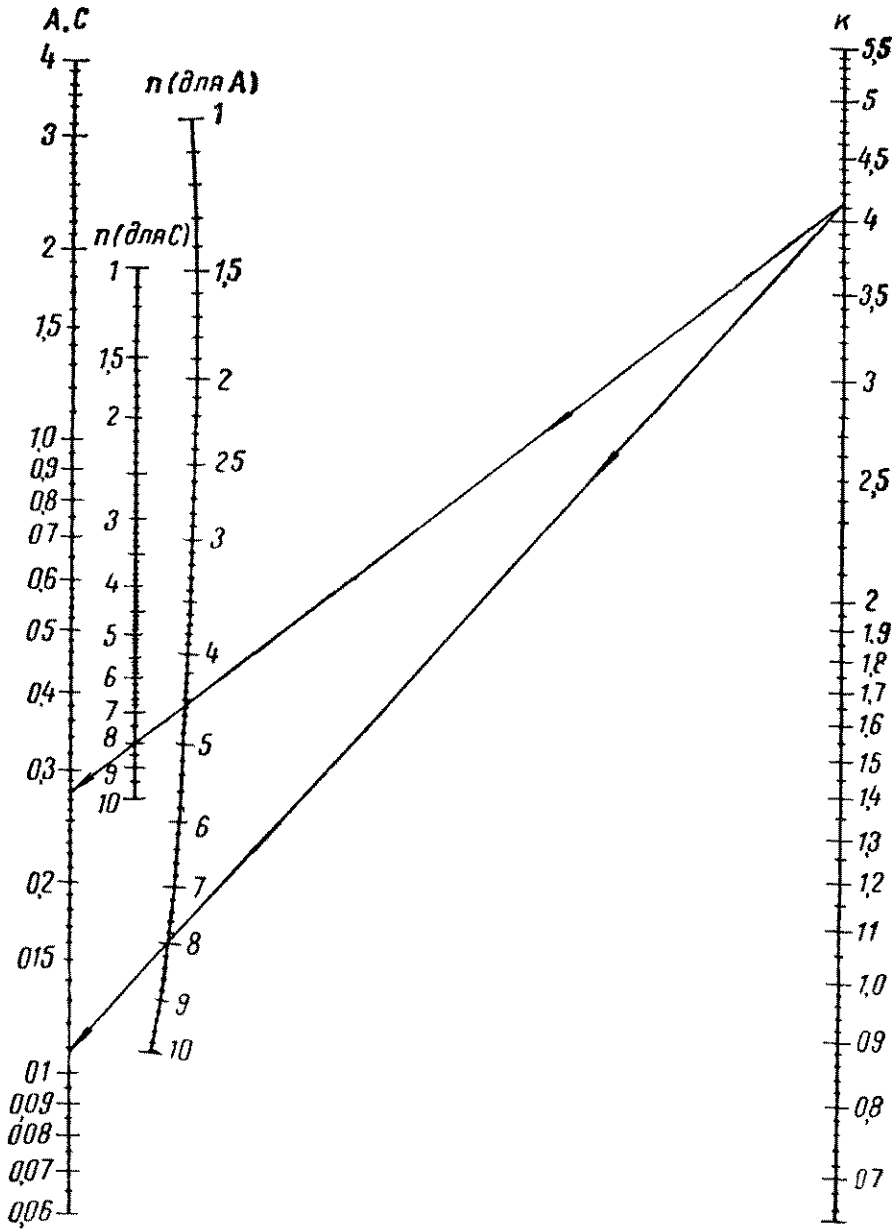


Рис 10 29 Номограмма для определения безразмерных коэффициентов *A* и *C* для расчета равноплечего Г-образного участка трубопровода с углом поворота 90° с учетом гибкости отвода

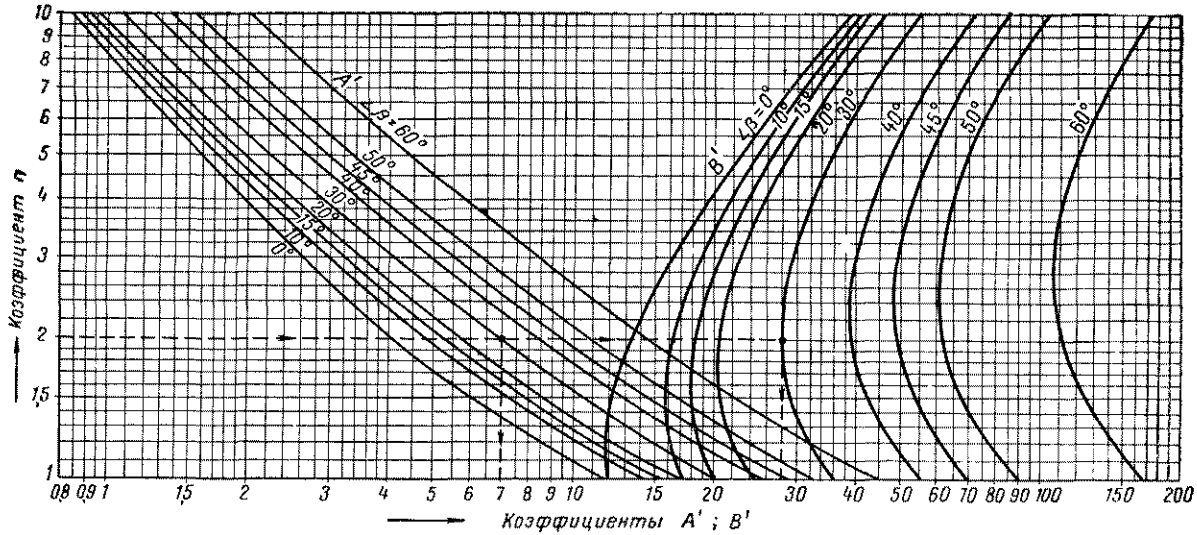


Рис. 10.30. Номограмма для определения безразмерных коэффициентов A' и B' для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше 90° без учета гибкости отвода

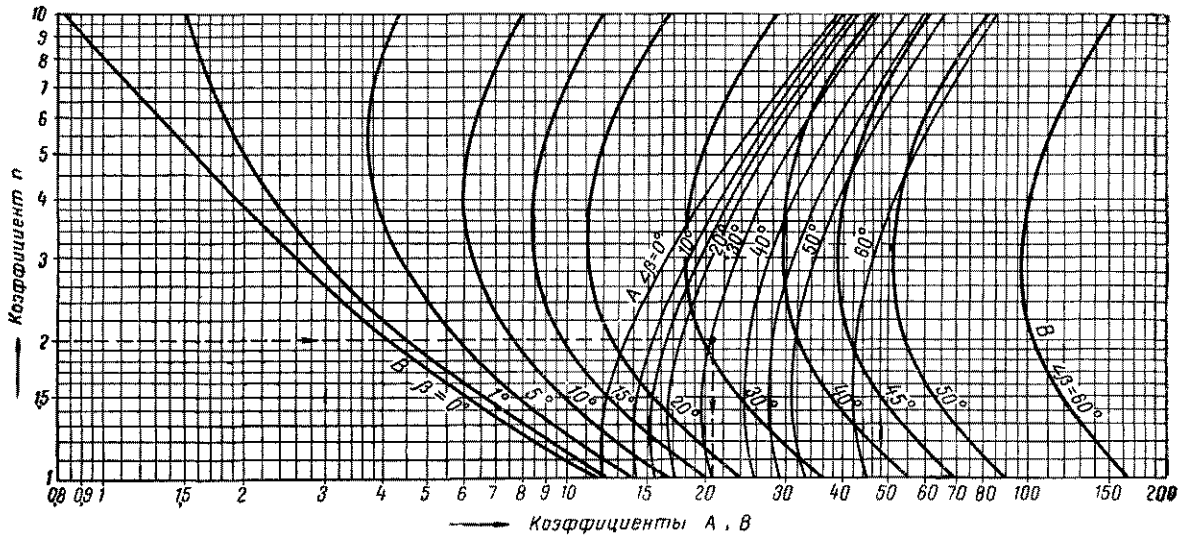


Рис. 10.31. Номограмма для определения безразмерных коэффициентов A и B для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше 90° без учета гибкости отвода

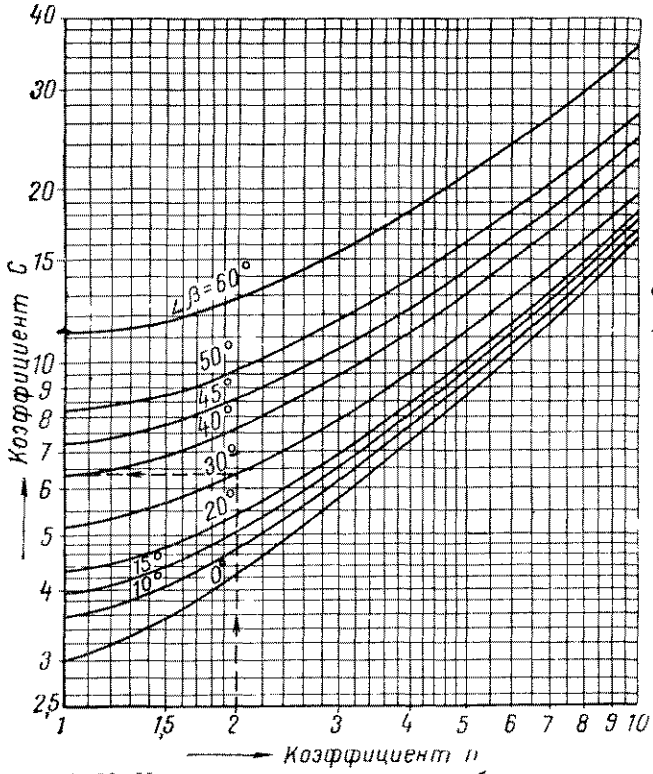


Рис. 10.32 Номограмма для определения безразмерного коэффициента C для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше 90° без учета гибкости отвода

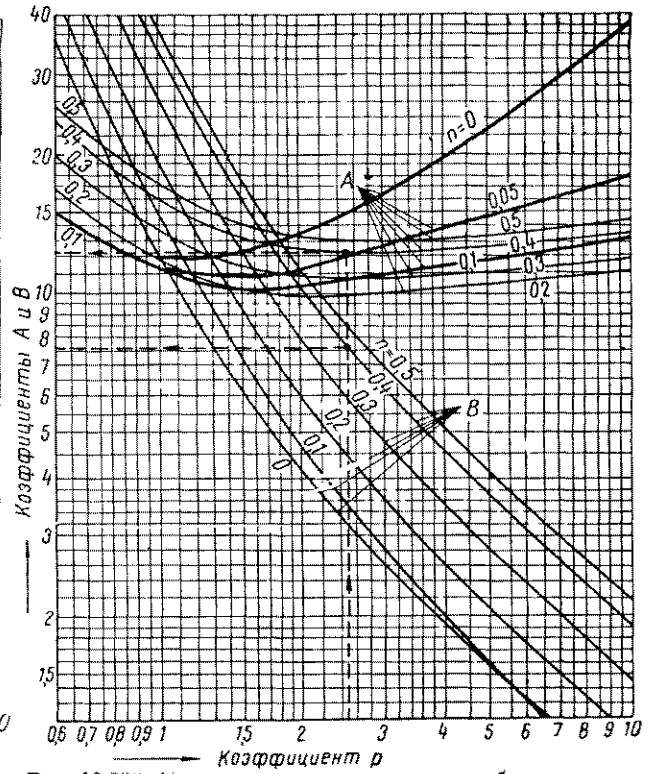


Рис. 10.33*. Номограмма для определения безразмерных коэффициентов A и B для расчета Z-образного участка трубопровода без учета гибкости отвода

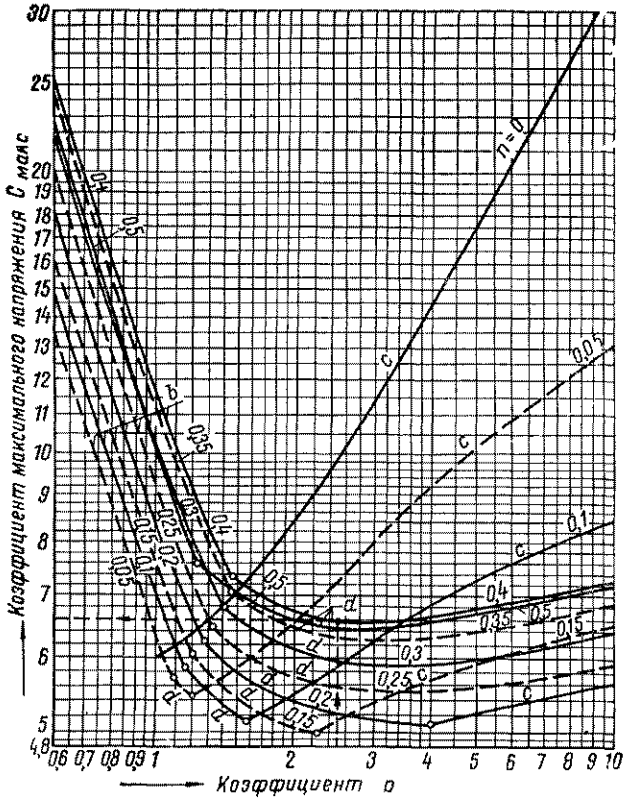


Рис. 10.34*. Номограмма для определения максимального безразмерного коэффициента $C_{макс}$ для расчета Z-образного участка трубопровода без учета гибкости отвода

Максимальное напряжение в зависимости от значения коэффициентов p и n может находиться в точках c, b или d, в связи с чем кривые $C_{макс}$ разбиты на участки, обозначенные буквами c, b и d, указывающими, в какой точке будет максимальное напряжение

* Номограммы построены инж Рудомино Б В

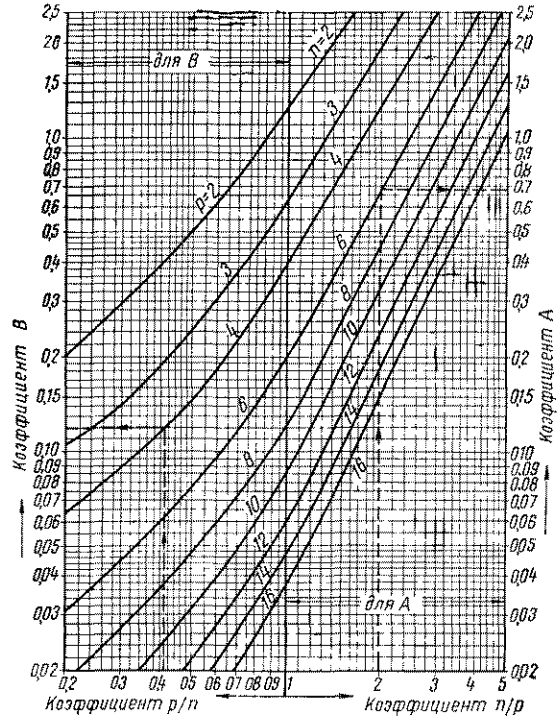


Рис. 10.35 Номограмма для определения безразмерных коэффициентов A и B для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота 90° с учетом гибкости отвода при $k=2{,}8$

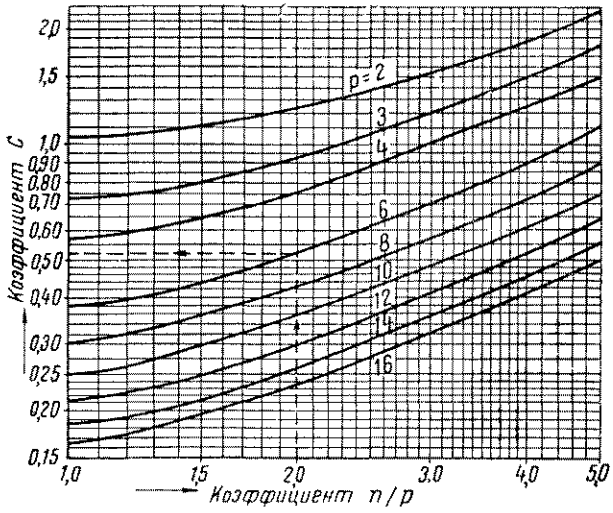


Рис 10.36 Номограмма для определения безразмерного коэффициента C для расчета Г-образного участка трубопровода с углом поворота 90° с учетом гибкости отвода при $k=2{,}8$

большего компенсирующего плеча

$$l_б = n l_м \; м, \qquad (10.153)$$

где $l_{мн}$ — длина меньшего компенсирующего плеча в $м$, отнесенная к 1° С расчетной разности температур, определяют по номограммам рис. 10.37 и 10 38;

Δt — расчетная разность температур между температурой теплоносителя t и расчетной температурой наружного воздуха на отопление $t_{н.о}$ в *град*;

n — соотношение плеч.

При построении номограмм произведение αE принято равным 2,4 *кгс мм/см² м град*, а изгибающее компенсационное напряжение — $\sigma^к_и = 6$ *кгс/мм²*.

В том случае, когда допускаемое изгибающее компенсационное напряжение, полученное по расчету на прочность $\sigma^д_{и.к}$, меньше или больше 6 *кгс/мм²*, длину меньшего компенсирующего плеча, полученную по формуле (10 152), пересчитывают по следующей формуле

$$l_м = l_м \frac{6}{\sigma^д_{и\,к}} \; м. \qquad (10.154)$$

В этом случае длину большего плеча определяют по формуле

$$l'_б = l'_м \, n \; м. \qquad (10.155)$$

Таблица 10 22

Минимальная длина компенсирующих плеч Г-образных участков трубопроводов с равными плечами с учетом гибкости отвода в $м$

Условный проход трубы $D_у$ в *мм*	Минимальные длины компенсирующих плеч при параметрах теплоносителя; $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С				
	$P_{раб}=16$, $t=150$	$P_{раб}=8$, $t=250$	$P_{раб}=13$, $t=300$	$P_{раб}=16$, $t=325$, $P_{раб}=21$, $t=350$	$P_{раб}=36$, $t=425$
25	—	0,9	1,3	1,6	2
32	0,7	1	1,5	1,7	2,5
40	0,8	1,2	1,8	2,1	2,5
50	1	1,4	2,2	2,5	3
70	1,5	2	3	3,5	4
80	1,5	2,1	3,5	4	4,5
100	2	2,6	4	4,7	5,5
125	2	3	5	5,5	6,5
150	2,5	3,5	5,5	6,5	7,5
175	3	4,2	6,5	7,5	9,5
200	3,5	4,9	7,5	8,5	10
250	4	5,8	9	10,5	12
300	5	7	11	12,5	15
350	6	8	12	14,5	17
400	—	—	—	16	19

Примечания. 1. Расчетная температура наружного воздуха принята $t_{н.о} = -30°$ С.

2. Продольное изгибающее компенсационное напряжение принято: для воды и пара $t \leqslant 250°$ С $\sigma^к_{и(раб)} = 8$ *кгс/мм²*; для пара $t > 250°$ С $\sigma^к_{и(раб)} = 6$ *кгс/мм²*.

3 Длина плеча дана с учетом радиуса оси гнутой трубы R.

Таблица 10 23

Минимальные длины компенсирующих плеч Г-образных участков трубопроводов с равными плечами без учета гибкости отвода в *м*

Условный проход трубы D_y в *мм*	Минимальные длины компенсирующих плеч при параметрах теплоносителя $P_{раб}$ в *кгс/см²*, t в °С														
	$P_{раб}$=16, t=150			$P_{раб}$=8, t=250			$P_{раб}$=13, t=300			$P_{раб}$=16, t=325, $P_{раб}$=21, t=350			$P_{раб}$=36, t=425		
	Угол β в *град*														
	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
100	1,7	3	6,5	3,5	6,2	13,5	4,2	7,3	15,7	4,8	8,2	17,8	5,5	9,5	
125	2,2	3,7	8	4,4	7,7	16,5	5,2	9	19,3	5,8	10,2		6,8	11,7	
150	2,6	4,5	9,6	5,3	9,2	20	6,5	10,7	23	7	12,2		8	14	
175	3	5,5	12	6,5	11	24	7,5	13		8,5	15		10	17	
200	3,5	6	13	7,5	13	27,5	8,5	15		9,5	17		11	19,5	—
250	4,5	7,5	16,5	9	16	34	10,5	18,5		12	21	—	14	24	
300	5,5	9	20	11	19		12,5	22		14,5	25		16,5	26,5	
350	6	10,5	22 5	12,5	21,5		14,5	25		16,5	28,5		19	33	
400	7	12	25,5	14	24,5		16,5	28,5		19	32,5		21,5	37	
400	9	16	34	14	24,5		16,5	28,5	—						
450	10	18	39	16	27,5		18,5	32							
500	11,5	20	42,5	17,5	30,5		20,5	35,5							
600	13,5	23 5	51	21	36		24,5	42,5							
700	15,5	26,5		24	41,5		28	48,5							
800	18	31	—	27,5	47,5	—	32								
900	20	34		31	—		35,5								
1000	22	38		34			39,5								

Примечания 1. Жирными линиями подчеркнуты максимальные рекомендуемые длины компенсирующих плеч при самокомпенсации.

2. См. примечания 1 и 2 к табл. 10.22.

Минимальные длины компенсирующих плеч Г-образных участков трубопроводов с равными плечами с учетом гибкости гнутых гладких отводов и без учета гибкости отводов для труб по «Сортаменту труб тепловых сетей» даны в табл 10 22 и 10 23

10.5. РАСЧЕТ НА КОМПЕНСАЦИЮ ТЕПЛОВЫХ УДЛИНЕНИЙ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДА С П-ОБРАЗНЫМИ КОМПЕНСАТОРАМИ

Длина прилегающих к П-образному компенсатору плеч имеет, как правило, большую протяженность, в связи с этим реакции сил трения опор вызывают дополнительные силы упругой деформации и напряжения в трубопроводах, которые учитывают в расчете на компенсацию тепловых удлинений сокращением длин прилегающих свободных плеч по сравнению с фактическими до 40 D_y

Если расстояние от неподвижной опоры до компенсатора меньше 40 D_y, в расчете учитывают полную длину компенсирующего участка При установке направляющих опор длину плеч, учитываемых в расчете, принимают равной расстоянию от направляющей опоры до компенсатора

Во всех случаях расчетное тепловое удлинение определяют для фактической величины компенсируемого участка, т е. по расстоянию между неподвижными опорами

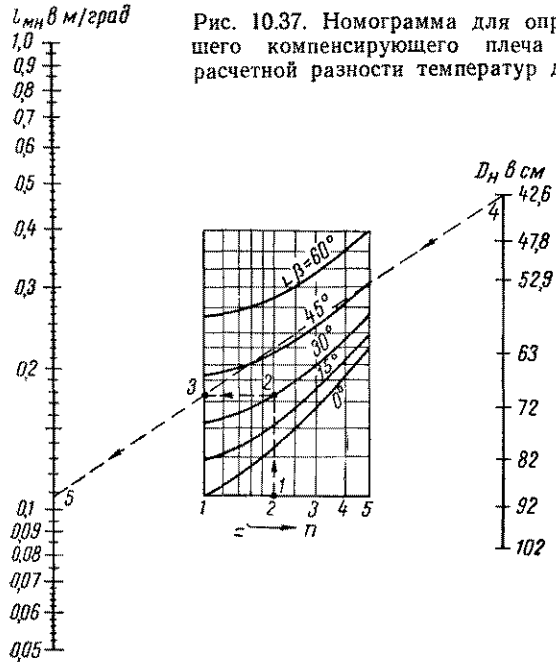
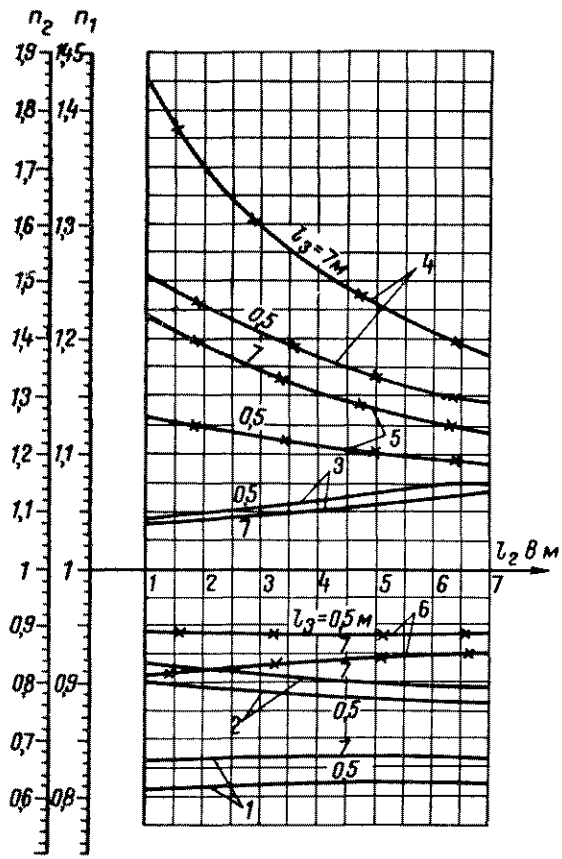


Рис. 10.37. Номограмма для определения длины меньшего компенсирующего плеча $l_{мн}$, отнесенной к 1° С расчетной разности температур для $D_н = 42{,}6 \div 102$ *см*



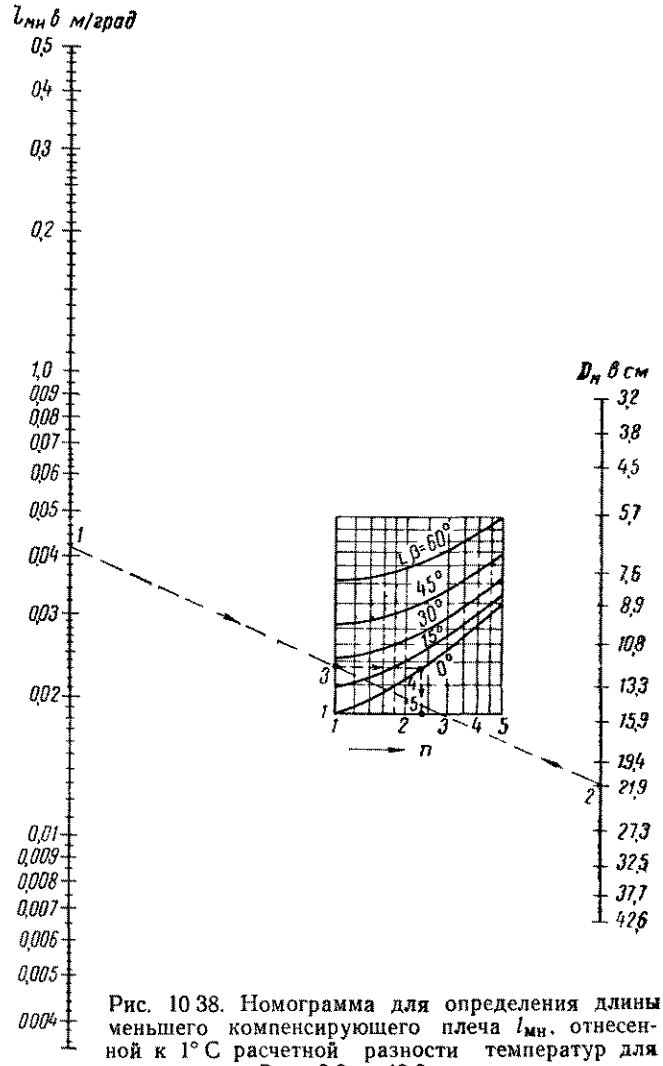


Рис. 10.38. Номограмма для определения длины меньшего компенсирующего плеча $l_{мн}$, отнесенной к 1° С расчетной разности температур для $D_н = 3{,}2 \div 42{,}6$ *см*

Рис. 10.39. График поправочных коэффициентов, характеризующих влияние длин прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете для $D_н \times s = 108 \times 4$ *мм* и $R = 500$ *мм*

1 — n_1 — к компенсирующей способности при $l_п = 0$; *2* — то же, при $l_п = 10\ D_у$; *3* — то же, при $l_п = 80\ D_у$; *4* — n_2 — к силе упругой деформации при $l_п = 0$; *5* — то же, при $l_п = 10\ D_у$; *6* — то же, при $l_п = 80\ D_у$

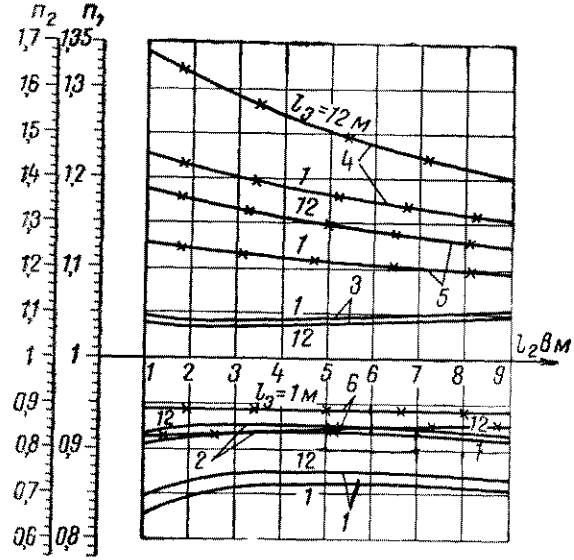


Рис. 10 40. График поправочных коэффициентов, характеризующих влияние длин прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете для $D_н \times s = 219 \times 6$ *мм* и $R = 850$ *мм*

1 — n_1 — к компенсирующей способности при $l_п = 0$; *2* — то же, при $l_п = 10\ D_y$, *3* — то же, при $l_п = 80\ D_y$, *4* — n_2 — к силе упругой деформации при $l_п = 0$; *5* — то же, при $l_п = 10\ D_y$; *6* — то же, при $l_п = 80\ D_y$

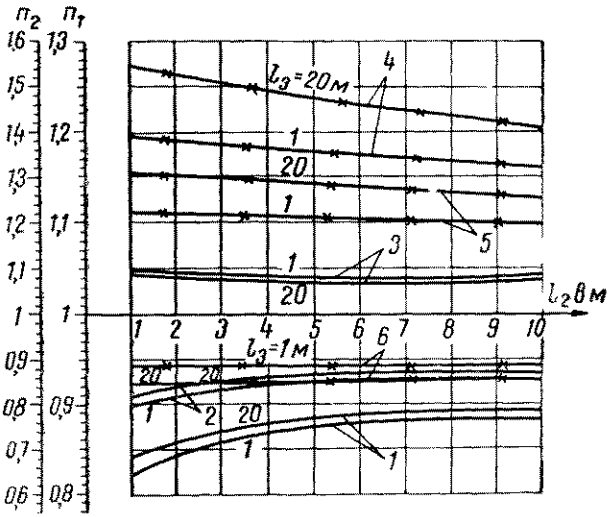


Рис. 10.41. График поправочных коэффициентов, характеризующих влияние длин прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете для $D_н \times s = 426 \times 9$ *мм*, $R = 1700$ *мм*

1 — n_1 — к компенсирующей способности при $l_п = 0$; *2* — то же, при $l_п = 10\ D_y$; *3* — то же, при $l_п = 80\ D_y$, *4* — n_2 — к силе упругой деформации при $l_п = 0$; *5* — то же, при $l_п = 10\ D_y$, *6* — то же, при $l_п = 80\ D_y$

Влияние длины прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете, на компенсирующую способность и силу упругой деформации видно из графиков, приведенных на рис. 10.39—10 41, построенных для П-образных компенсаторов с гладкими гнутыми отводами. При построении графиков значения силы упругой деформации и компенсирующей способности компенсатора, определенные при длине прилегающих свободных плеч, равной $l_п = 40\ D_y$, приняты за единицу, а для значений этих величин при $l_п = 10\ D_y$, $80\ D_y$; OD_y даны поправочные коэффициенты n_1 — к компенсирующей способности и n_2 — к силе упругой деформации компенсатора. Данные этих и других графиков обобщены и даны в виде усредненных коэффициентов в табл. 10 24.

Если П-образный компенсатор располагают не по середине участка, а смещают в сторону одной из неподвижных опор, то силы упругой деформации и напряжения увеличиваются примерно на 20—40% по отношению к силам упругой деформации и напряжениям, полученным для компенсатора, расположенного посередине.

Таблица 10.24

Значения поправочных коэффициентов n_1 и n_2

Длина прилегающих плеч, учитываемых в расчете, $l_п$	Поправочный коэффициент	
	к компенсирующей способности n_1	к силе упругой деформации n_2
40 D_y	1	1
10 D_y	0,9	1,3
0 D_y	0,8	1,7

Участок трубопровода с несимметричным П-образным компенсатором с гнутыми гладкими отводами

Схема расчетного участка дана на рис. 10.42
Расчет производят по формулам:
приведенная длина осевой линии участка

$$L_{пр} = l_1 + 2l_2 + l_3 + l_5 + 6{,}28Rk\ м; \quad (10.156)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{(l_1 + l_3 + l_5 + 4R)(l_5 - l_1)}{2L_{пр}}\ м; \quad (10\ 157)$$

$$y_0 = \frac{(l_2 + 2R)(l_2 + l_3 + 3{,}14Rk)}{L_{пр}}\ м; \quad (10.158)$$

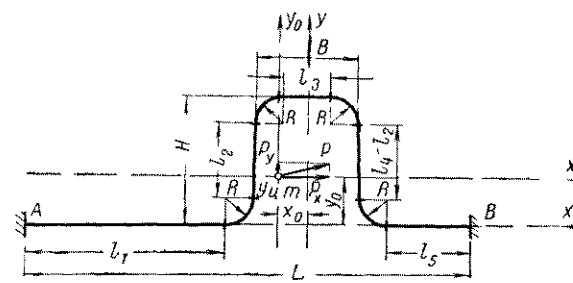


Рис. 10 42. Участок трубопровода с несимметричным П-образным компенсатором с гладкими гнутыми отводами при $l_1 > l_5$

центральные моменты инерции относительно осей x_0 и y_0:

$$I_{x0} = \frac{l_2^3}{6} + (2l_2 + 4l_3)\left(\frac{l_2}{2} + R\right)^2 + + 6{,}28Rk\left(\frac{l_2^2}{2} + 1{,}635l_2R + 1{,}5R^2\right) - - L_{пр}\, y_0^2 \ м^3; \quad (10.159)$$

$$I_{y0} = \frac{l_1^3 + l_3^3 + l_5^3}{12} + \frac{l_1}{4}(l_1 + l_3 + 4R)^2 + + \frac{l_5}{4}(l_3 + l_5 + 4R)^2 + l_2\left(\frac{l_3}{2} + R\right)^2 + + 1{,}57Rk\left(l_3^2 + 4l_3R + 4{,}9R^2\right) - L_{пр}\, x_0^2 \ м^3; \quad (10.160)$$

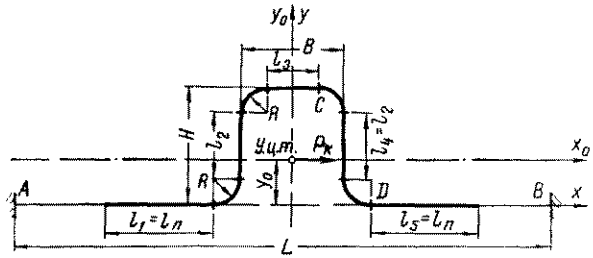


Рис. 10.43. Участок трубопровода с симметричным П-образным компенсатором с гнутыми гладкими отводами при $l_1 = l_5 = l_п$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0, y_0

$$I_{xy0} = - L_{пр} x_0 y_0 \ м^3. \quad (10.161)$$

Расчетное тепловое удлинение вдоль оси x определяют по формуле (10.43).

Силу упругой деформации определяют по формулам (10.110) и (10.111).

За максимальный изгибающий момент принимают наибольший из изгибающих моментов:

$$M = P_x(H - y_0) + P_y\left(-x_0 + \frac{l_3}{2}\right) кгсм; \quad (10.162)$$

$$M = P_x y_0 + P_y\left(l_5 + 2R + \frac{l_3}{2} + x_0\right) кгсм. \quad (10.163)$$

Изгибающие компенсационные напряжения определяют по формулам (10.50) и (10.51).

В том случае, когда длины прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете по обе стороны компенсатора, равны между собой (рис. 10.43), формулы упрощаются и принимают вид:

приведенная длина осевой линии участка трубопровода:

при $l_п > 0$

$$L_{пр} = 2l_п + 2l_2 + l_3 + 6{,}28Rk \ м; \quad (10.164)$$

при $l_п = 0$

$$L_{пр} = 2l_2 + l_3 + 6{,}28Rk \ м; \quad (10.165)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$y_0 = \frac{(l_2 + 2R)(l_2 + l_3 + 3{,}14Rk)}{L_{пр}} м; \quad (10.166)$$

$$x_0 = 0;$$

центральный момент инерции относительно оси x_0:

$$I_{x0} = \frac{l_2^3}{6} + (2l_2 + 4l_3)\left(\frac{l_2}{2} + R\right)^2 + + 6{,}28Rk\left(\frac{l_2^2}{2} + 1{,}635l_2R + 1{,}5R^2\right) - - L_{пр}\, y_0^2 \ м^3. \quad (10.167)$$

Расчетное тепловое удлинение вдоль оси x определяют по формуле (10.43).

Силы упругой деформации:

$$P_x = P_к = \frac{\Delta x EI}{I_{x0} 10^7} кгс. \quad (10.168)$$

$$P_y = 0.$$

Максимальный изгибающий момент:

при $y_0 \leqslant 0{,}5H$ в точке C

$$M_{макс} = (H - y_0) P_к \ кгсм; \quad (10.169)$$

при $y_0 \geqslant 0{,}5H$ в точке D

$$M_{макс} = - y_0 P_к \ кгсм. \quad (10.170)$$

Изгибающее компенсационное напряжение определяют по формулам:

на спинке компенсатора на отводе

$$\sigma_и^к = \frac{P_к (H - y_0) m}{W} кгс/мм^2; \quad (10.171)$$

на участках, прилегающих к компенсатору, на отводе

$$\sigma_{и(пр)}^к = \frac{\sigma_и^к y_0}{(H - y_0)} кгс/мм^2; \quad (10.172)$$

на прямых участках, прилегающих к компенсатору,

$$\sigma_{и(пр)}^к = \frac{\sigma_и^к y_0}{(H - y_0) m} кгс/мм^2. \quad (10.173)$$

Участок трубопровода с несимметричным П-образным компенсатором со сварными отводами

Схема расчетного участка дана на рис. 10.44

Расчет производят по формулам:

приведенная длина осевой линии участка, при $H = l_2$ и $B = l_3$

$$L_{пр} = l_1 + 2l_2 + l_3 + l_5 \ м; \quad (10.174)$$

координаты упругого центра тяжести:

$$x_0 = \frac{(l_1 + l_3 + l_5)(l_5 - l_1)}{2L_{пр}} м; \quad (10.175)$$

$$y_0 = \frac{l_2(l_2 + l_3)}{L_{пр}} м; \quad (10.176)$$

центральные моменты инерции относительно осей x_0, y_0:

$$I_{x0} = \frac{l_2^3}{6} + (2l_2 + 4l_3)\frac{l_2^2}{4} - L_{\text{пр}}\, y_0^2 \; м^3; \quad (10.177)$$

$$I_{y0} = \frac{l_1^3 + l_3^3 + l_5^3}{12} + \frac{l_1}{4}(l_1 + l_3)^2 + \frac{l_5}{4}(l_3 + l_5)^3 + l_2\frac{l_3^2}{4} - L_{\text{пр}}\, x_0^2 \; м^3; \quad (10.178)$$

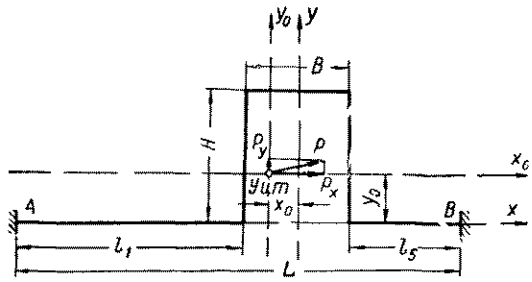


Рис. 10.44. Участок трубопровода с несимметричным П-образным компенсатором со сварными отводами при $l_1 > l_5$

центральный центробежный момент инерции относительно осей x_0, y_0

$$I_{xy0} = -L_{\text{пр}} x_0 y_0 \quad м^3. \quad (10.179)$$

Расчетное тепловое удлинение вдоль оси x определяют по формуле (10.43).

Силы упругой деформации определяют по формулам (10.110) и (10.111).

За максимальный изгибающий момент принимают больший из моментов:

$$M = P_x (H - y_0) + P_y\left(-x_0 + \frac{l_3}{2}\right) кгсм; \quad (10.180)$$

$$M = P_x y_0 + P_y\left(l_5 + \frac{l_3}{2} + x_0\right) кгсм. \quad (10.181)$$

Изгибающее компенсационное напряжение определяют по формуле (10.50).

При равенстве учитываемых в расчете прилегающих свободных плеч по обе стороны компенсатора (рис. 10.45) расчет производят по упрощенным формулам:

приведенная длина осевой линии участка трубопровода

$$L_{\text{пр}} = 2l_{\text{п}} + 2H + B \; м; \quad (10.182)$$

координаты упругого центра тяжести

$$y_0 = \frac{H(H + B)}{L_{\text{пр}}} \; м; \quad (10.183)$$

$$x_0 = 0;$$

центральный момент инерции относительно оси x_0

$$I_{x0} = \left(\frac{2}{3}H + B\right)H^2 - L_{\text{пр}}\, y_0^2 \; м^3. \quad (10.184)$$

Расчетное тепловое удлинение вдоль оси x определяют по формуле (10.43), а силы упругой деформации — по формуле (10.168).

Максимальный изгибающий момент при $y_0 \leqslant 0{,}5H$ и $y_0 \geqslant 0{,}5H$ определяют по формулам (10.169) и (10.170)

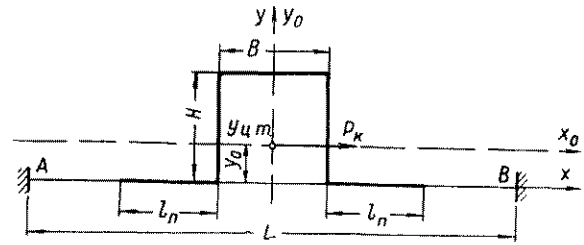


Рис. 10.45. Участок трубопровода с симметричным П-образным компенсатором со сварными отводами при $l_1 = l_5 = l_{\text{п}}$

Изгибающее компенсационное напряжение:
на спинке компенсатора

$$\sigma_{\text{и}}^{\text{к}} = \frac{(H - y_0) P_{\text{к}}}{W} кгс/мм^2; \quad (10.185)$$

на прямых участках, прилегающих к компенсатору,

$$\sigma_{\text{и(пр)}}^{\text{к}} = \frac{y_0 P_{\text{к}}}{W} = \sigma_{\text{и}}^{\text{к}} \frac{H + B}{2l_{\text{п}} + H} кгс/мм^2. \quad (10.186)$$

П-образные компенсаторы с крутоизогнутыми отводами можно рассчитывать по формулам для компенсаторов со сварными отводами.

П-образный участок трубопровода с гнутыми гладкими отводами без прилегающих плеч

Схема расчетного участка дана на рис. 10.46.

Расчет производят по формулам:

приведенная длина осевой линии участка трубопровода

$$L_{\text{пр}} = 2l_{\text{п}} + l_3 + 3{,}14Rk \quad м; \quad (10.187)$$

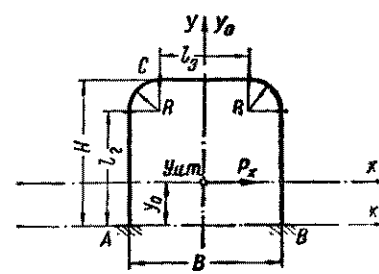


Рис. 10.46. П-образный участок трубопровода с гнутыми гладкими отводами без прилегающих плеч

координаты упругого центра тяжести:

$$y_0 = \frac{l_2^2 + l_3(l_2 + R) + 3{,}14Rk(l_2 + 0{,}64R)}{L_{\text{пр}}} \; м; \quad (10.188)$$

$$x_0 = 0;$$

центральный момент инерции относительно оси x_0

$$I_{x0} = 0{,}67l_2^3 + 0{,}298kR^3 + l_3\left(l_2^2 + 2l_2R + R\right)^2 + \\ + 3{,}14kR\left(l_2 + 0{,}64R\right)^2 - y_0^2 L_{\text{пр}}\ м^3; \quad (10.189)$$

расчетное тепловое удлинение вдоль оси x

$$\Delta x = \alpha \Delta t B\ мм. \quad (10.190)$$

Силы упругой деформации и максимальный изгибающий момент определяют по формулам (10.168)—(10.170).

Изгибающие компенсационные напряжения определяют на спинке компенсатора на отводе по формуле (10.171), а в точках A и B — по формуле (10.172).

П-образный участок трубопровода со сварными отводами без прилегающих плеч

Схема расчетного участка дана на рис. 10.47. Расчет производят по формулам:

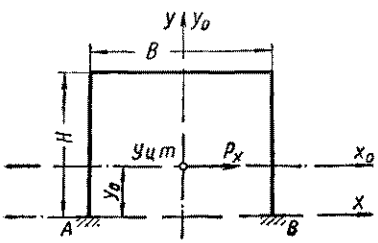


Рис. 10.47. П-образный участок трубопровода со сварными отводами без прилегающих плеч

координаты упругого центра тяжести

$$y_0 = \frac{H(H+B)}{2H+B}\ м; \quad (10.191)$$

$$x_0 = 0.$$

силы упругой деформации

$$P_x = \frac{\alpha \Delta t B E I}{H^2\left[\frac{2}{3}H + B - \frac{(H+B)^2}{2H+B}\right]10^7}\ кгс; \quad (10.192)$$

$$P_y = 0.$$

Максимальный изгибающий момент при $y_0 \leqslant 0{,}5H$ и $y_0 \geqslant 0{,}5H$ определяют по формулам (10.169) и (10.170), изгибающее компенсационное напряжение определяют на спинке компенсатора по формуле (10.185), а в точках A и B — по формуле (10.186).

Для облегчения трудоемких расчетов на компенсацию тепловых удлинений участков трубопроводов с П-образными компенсаторами построены номограммы, в которых вылет компенсатора и сила упругой деформации определяются в зависимости от величины расчетного теплового удлинения Δx и размера спинки компенсатора B. Номограммы для расчета компенсаторов с гнутыми гладкими отводами (см. рис. 10.43) даны на рис. 10.48—10.68 и со сварными отводами (см. рис. 10.45) даны на рис. 10.69—10.81. Последними можно пользоваться и для расчета компенсаторов с крутоизогнутыми отводами.

Номограммы построены без учета предварительной растяжки компенсаторов (при значении $\varepsilon = 1$) и при условии равенства прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете по обе стороны компенсатора.

При составлении номограмм принято:

а) допускаемое изгибающее компенсационное напряжение на спинке компенсатора в холодном состоянии $\sigma^{д}_{и.к\,(хол)} = 11\ кгс/мм^2$;

б) модуль упругости трубной стали при температуре стенки трубы 20° С $E = 2{,}05 \cdot 10^6$ в $кгс/см^2$;

в) длина прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете с каждой стороны компенсатора, $l_п = 40\ D_у$ в $м$;

г) для номограмм со сварными отводами коэффициент гибкости отводов и коэффициент концентрации напряжений, равными единице ($k = 1$, $m = 1$), а радиус оси отвода условно равным нулю ($R = 0$);

д) для номограмм с гнутыми гладкими отводами коэффициент гибкости отводов k и коэффициент концентрации напряжений m по табл. 10.13, а радиус оси отвода — указанный на номограммах;

е) толщины стенок труб s и моменты сопротивления поперечного сечения стенок труб W, указанные на номограммах.

В связи с тем что номограммы построены без учета предварительной растяжки компенсаторов, для пользования номограммами определяют расчетное тепловое удлинение рассчитываемого участка трубопровода:

при величине предварительной растяжки, равной 50% полного теплового удлинения участка (Δl):

при $t < 250°$ С

$$\Delta x_н = 0{,}5\Delta l\ мм; \quad (10.193)$$

при t от 250 до 300° С

$$\Delta x_н = 0{,}6\Delta l\ мм; \quad (10.194)$$

при t от 300 до 400° С

$$\Delta x_н = 0{,}7\Delta l\ мм, \quad (10.195)$$

где Δl — полное тепловое удлинение расчетного участка трубопровода в $мм$ [см. формулу (10.39)];

при величине предварительной растяжки, равной 100% полного теплового удлинения (Δl) при $t \geqslant 400°$ С

$$\Delta x_н = \Delta l\ мм. \quad (10.196)$$

Если допускаемое изгибающее компенсационное напряжение на спинке компенсатора $\sigma^{д}_{и.к\,(хол)}$ меньше или больше 11 $кгс/мм^2$, габариты компенсатора определяют по номограммам при расчетном тепловом удлинении, определенном по формуле

$$\Delta x'_н = \Delta x_н \frac{11}{\sigma^{д'}_{и.к}}\ мм, \quad (10.197)$$

где $\Delta x_н$ — расчетное тепловое удлинение, полученное по формулам (10.193)—(10.196) в $мм$,

а силу упругой деформации, полученную по номограммам, пересчитывают по формуле

$$P'_к = P_к \frac{\sigma^{д'}_{и.к}}{11}\ тс, \quad (10.198)$$

где $P_к$ — сила упругой деформации, полученная по номограммам, в $тс$.

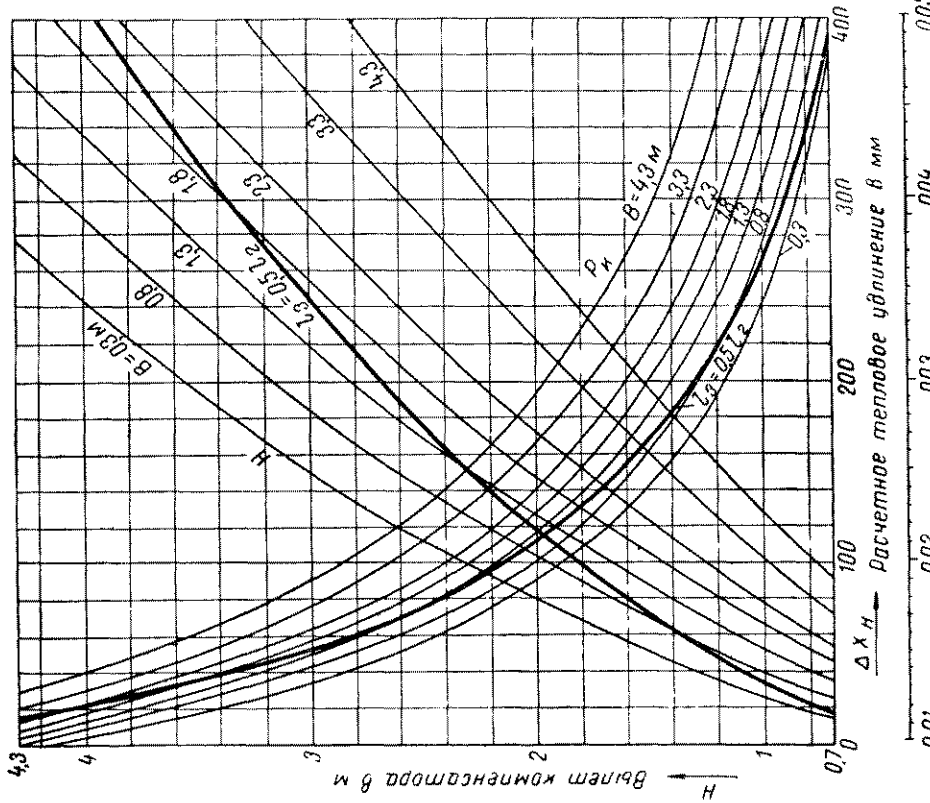


Рис 10.49 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 38$ мм; $s = 2{,}5$ мм; $R = 150$ мм; $W = 2{,}32$ см³

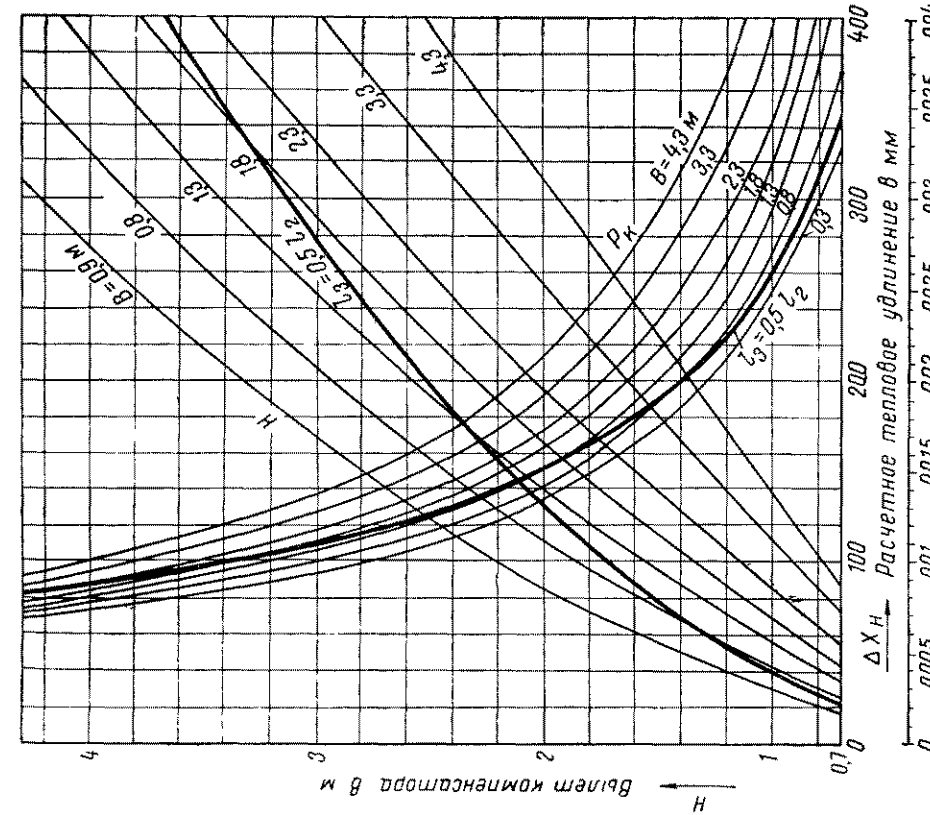


Рис 10.48. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 32$ мм; $s = ,5$ мм; $R = 150$ мм; $W = 1{,}59$ см³

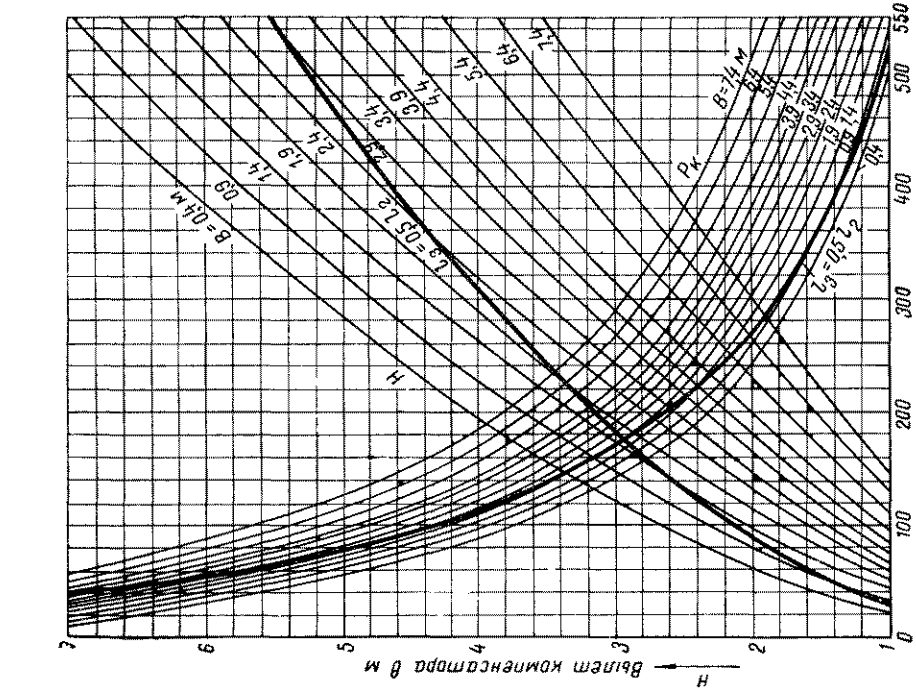


Рис 10.50. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_в = 45$ мм; $s = 2{,}5$ мм; $R = 200$ мм; $W = 3{,}36$ см³

Рис. 10.51. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_в = 57$ мм; $s = 3{,}5$ мм; $R = 200$ мм; $W = 7{,}42$ см³

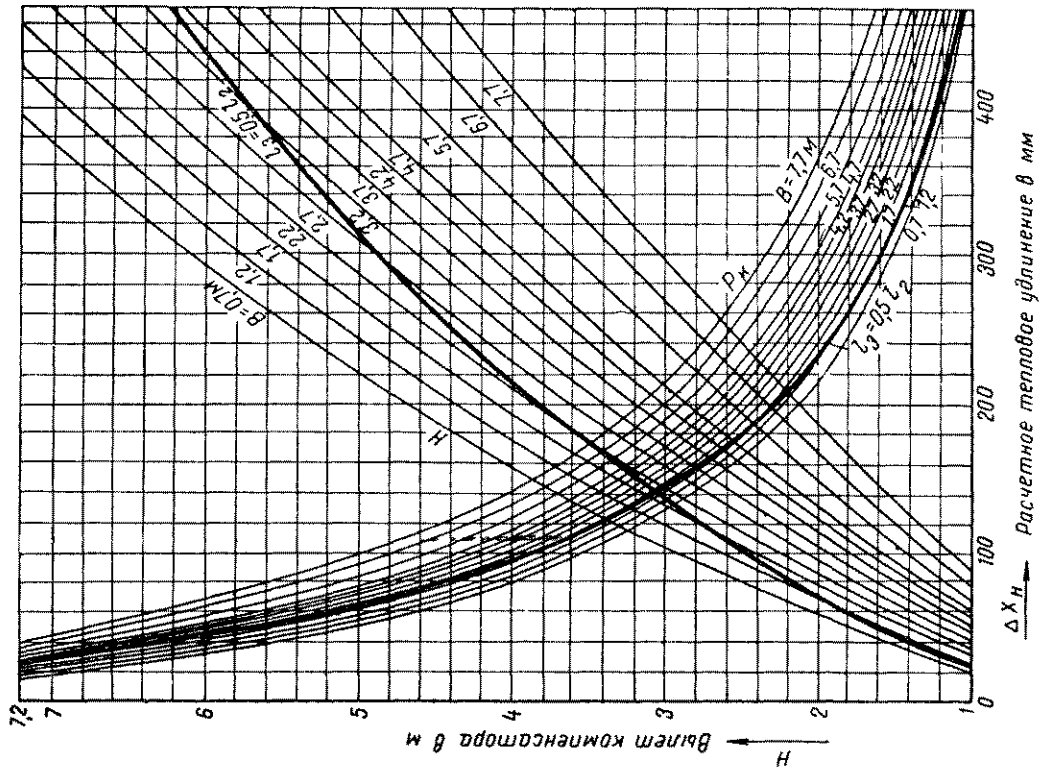


Рис. 10.53. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н$ = 89 мм; s = 3,5 мм; R = 350 мм; W = 19,3 см³

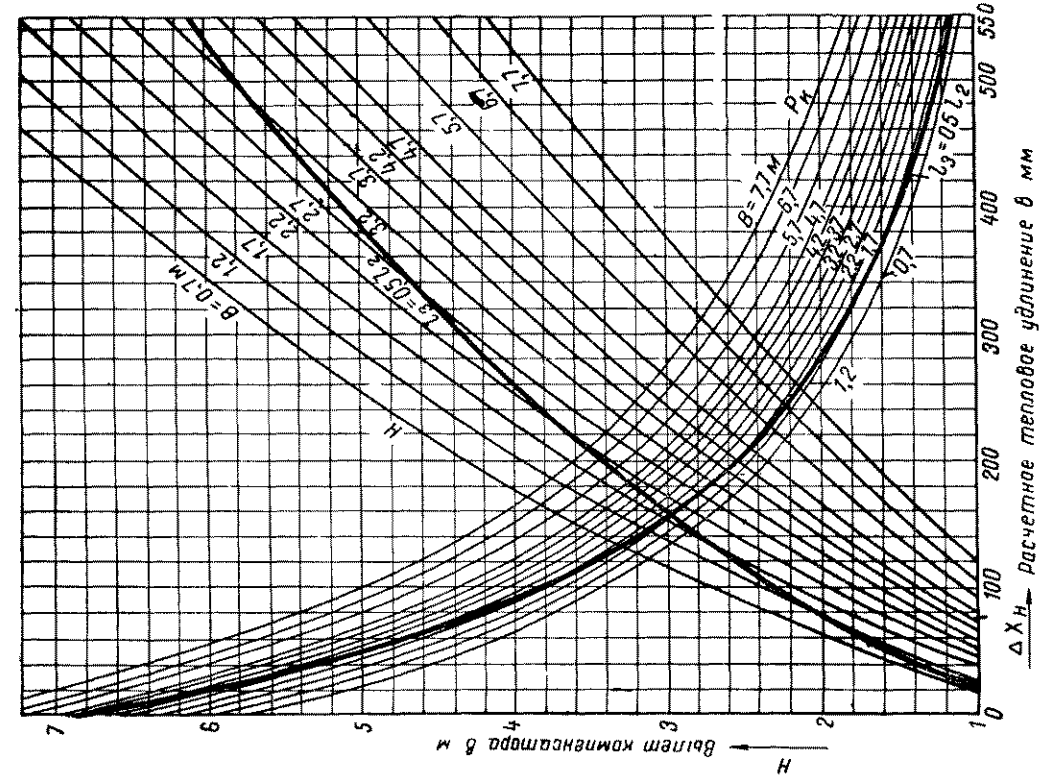


Рис. 10.52. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н$ = 76 мм, s = 3,5 мм; R = 350 мм; W = 13,8 см³

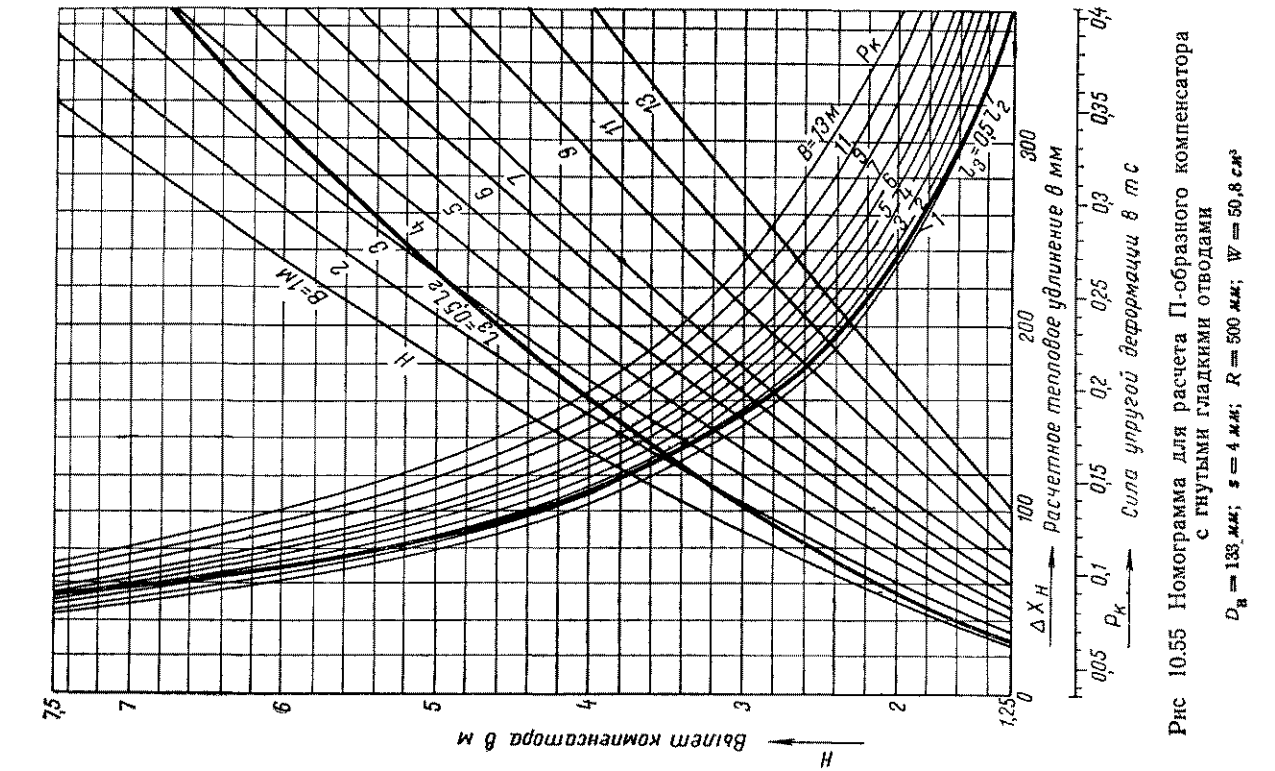


Рис 10.55 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_в = 133$ мм; $s = 4$ мм; $R = 500$ мм; $W = 50{,}8$ см³

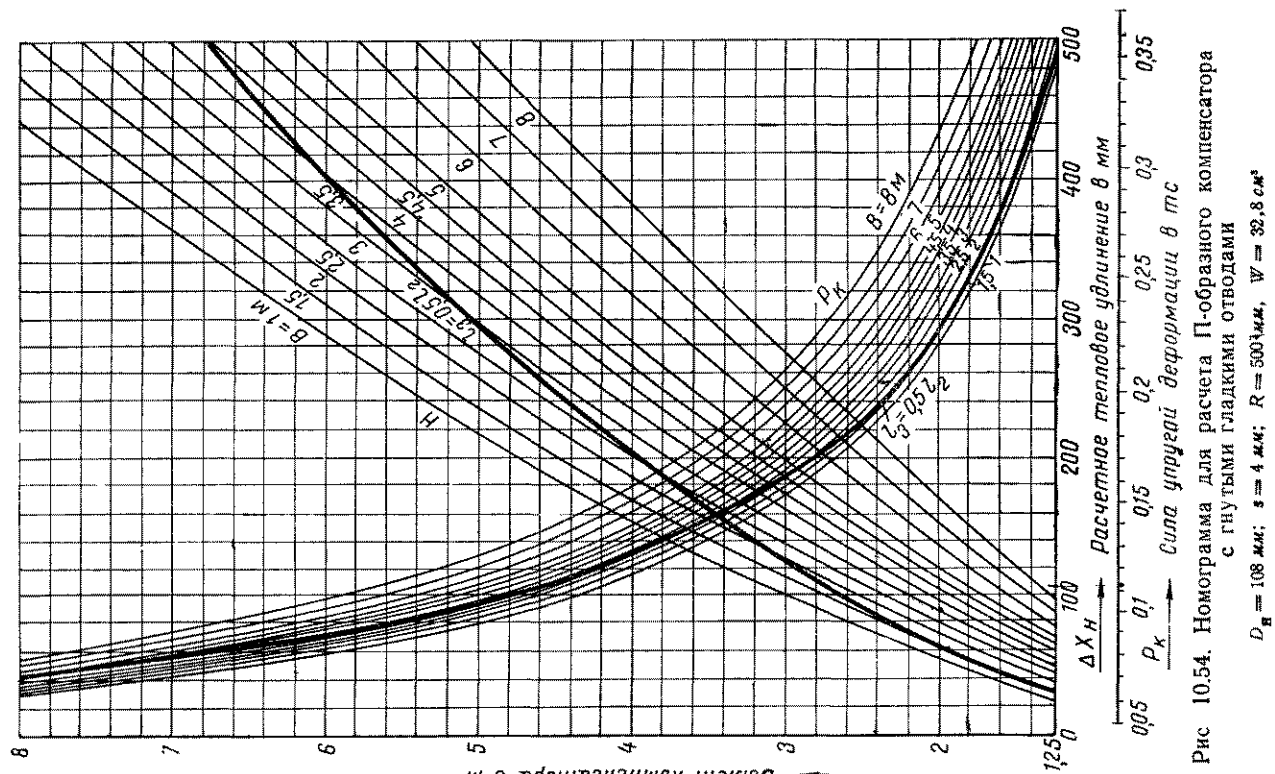


Рис 10.54. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_в = 108$ мм; $s = 4$ мм; $R = 500$ мм, $W = 32{,}8$ см³

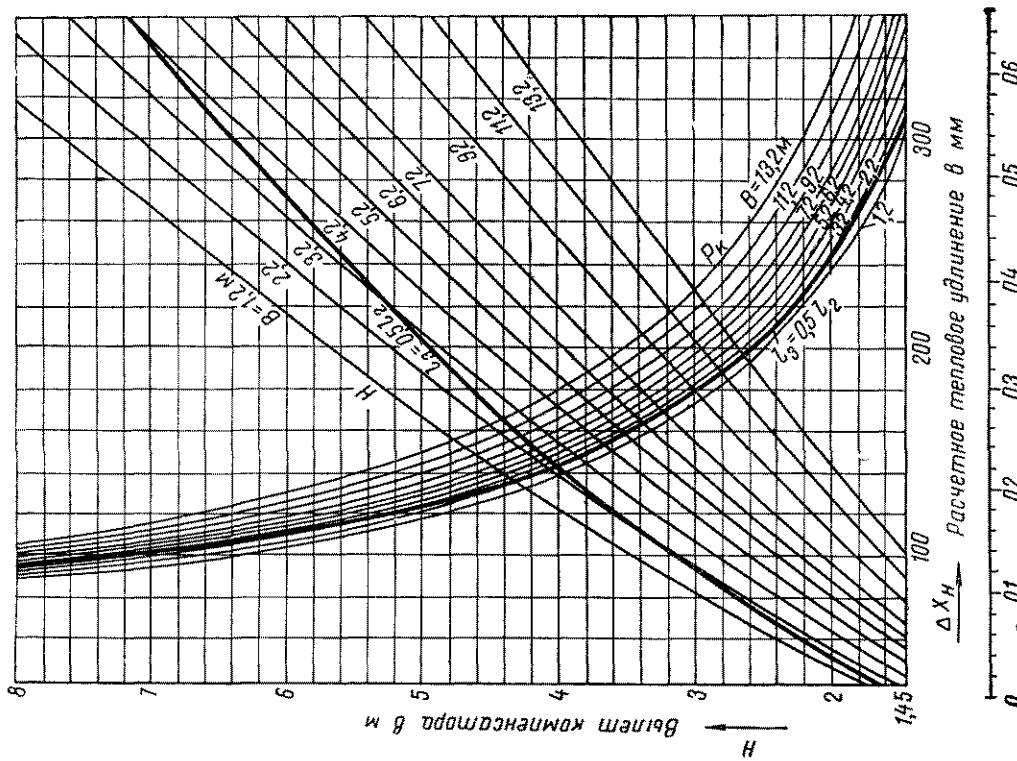


Рис. 10.56. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами
$D_ц = 159$ мм, $s = 4,5$ мм; $R = 600$ мм, $W = 82$ см³

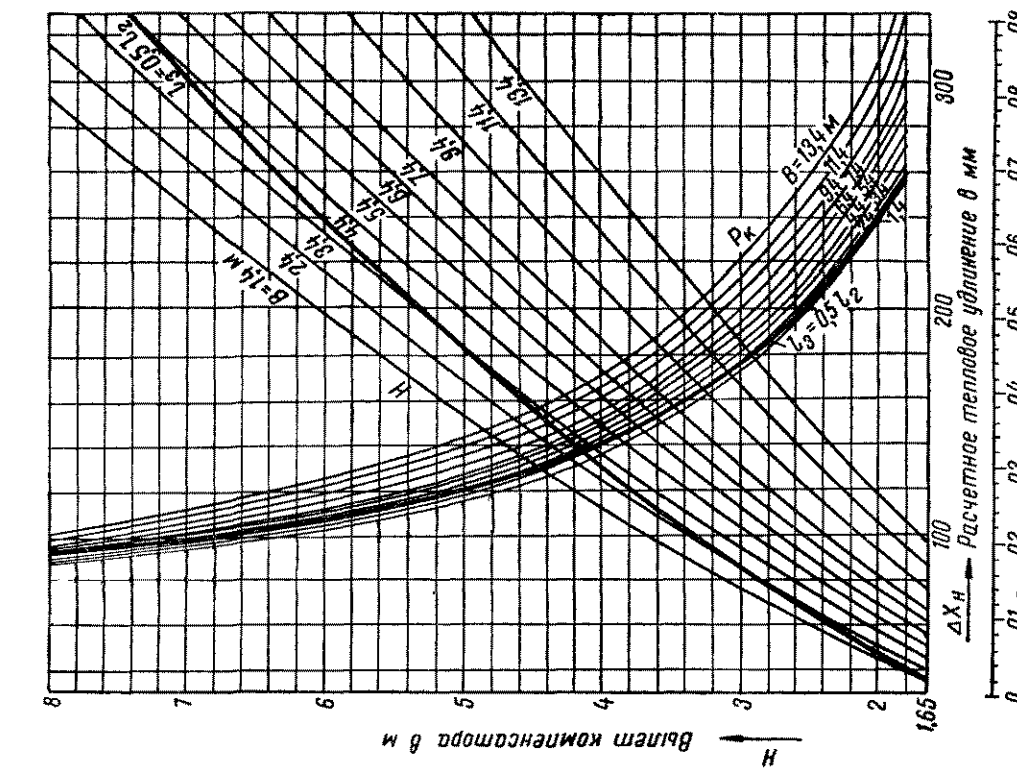


Рис. 10.57. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами
$D_ц = 194$ мм, $s = 5$ мм, $R = 700$ мм, $W = 137$ см³

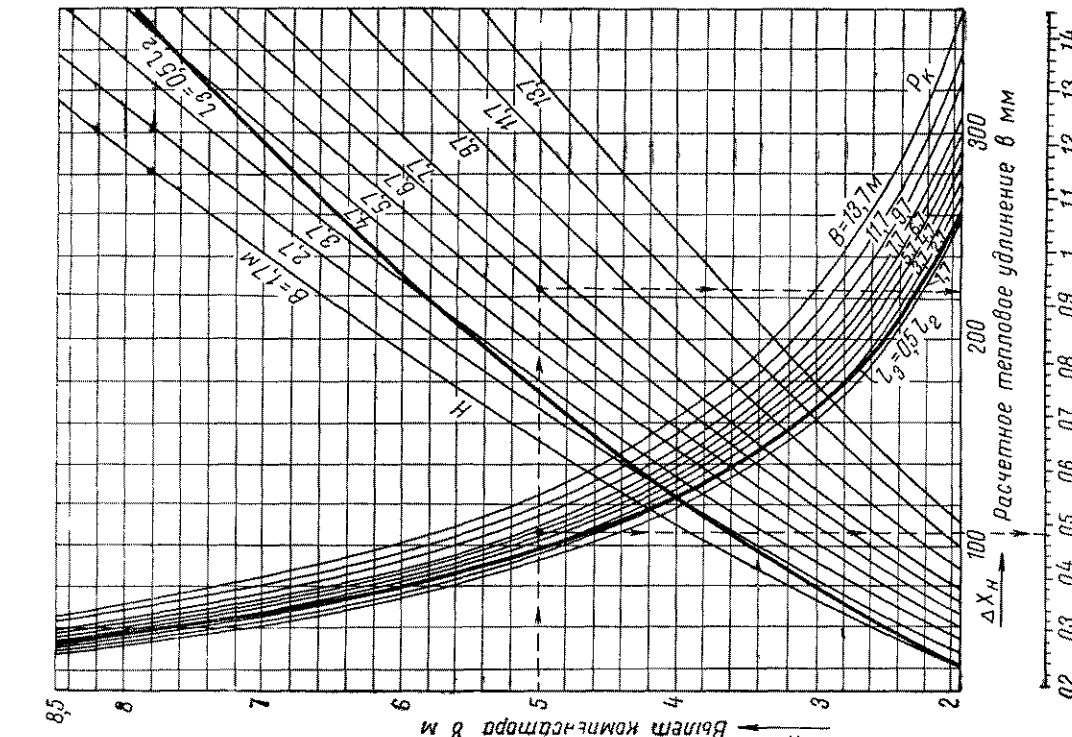


Рис 10.59 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_в = 219$ мм, $s = 6$ мм; $R = 850$ мм, $W = 208$ см³

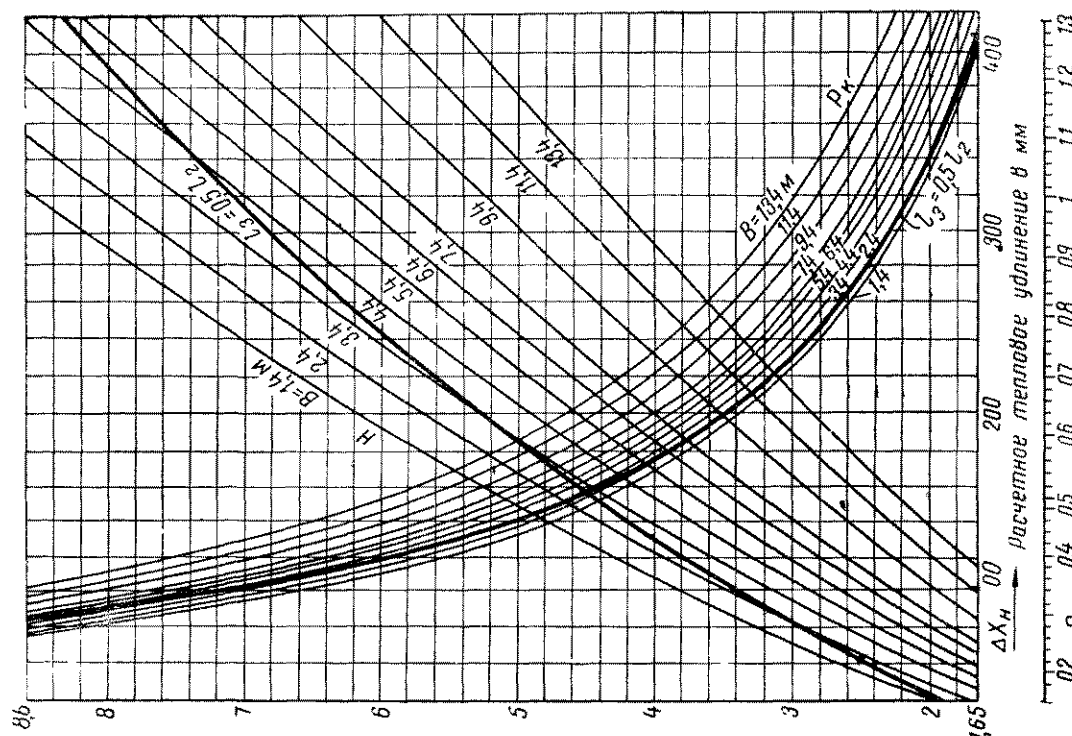


Рис 10.58 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_в = 194$ мм, $s = 7$ мм, $R = 700$ мм, $W = 186$ см³

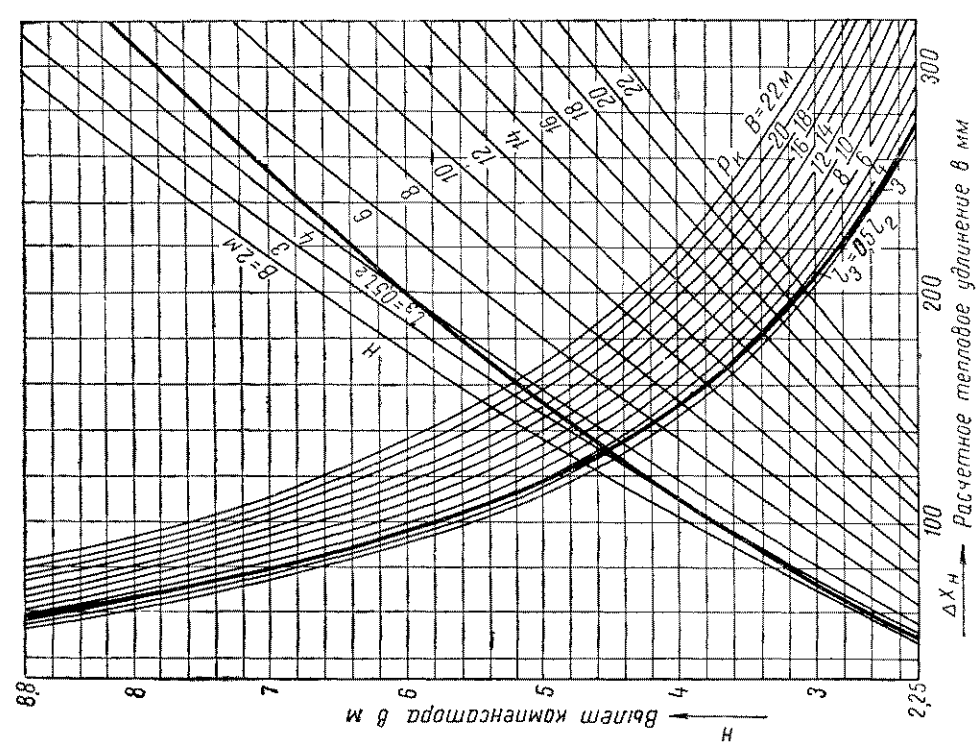


Рис. 10.61. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 273$ мм; $s = 7$ мм; $R = 1000$ мм; $W = 379$ см³

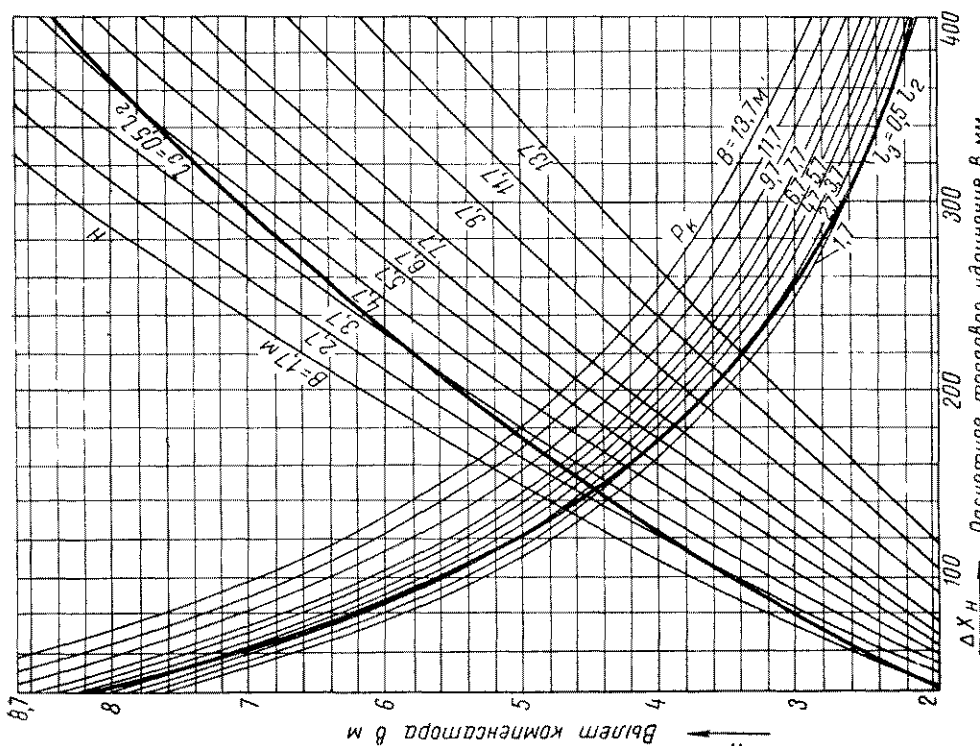


Рис. 10.60. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 219$ мм; $s = 7$ мм; $R = 850$ мм; $W = 239$ см³

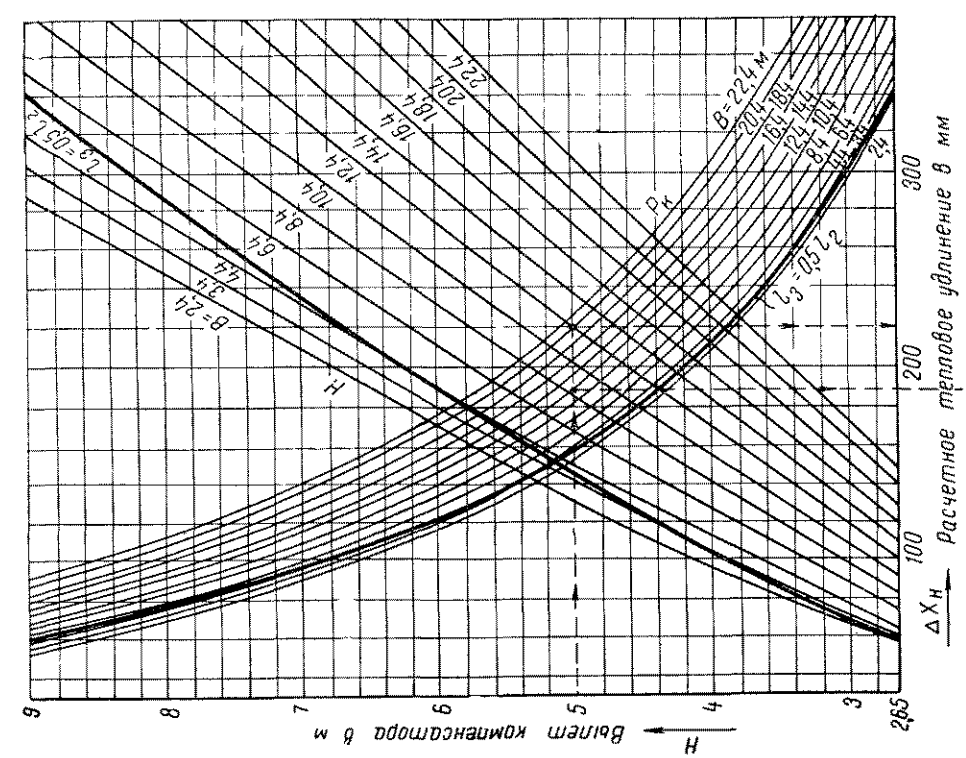


Рис 10 63. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 325$ мм; $s = 8$ мм; $R = 1200$ мм; $W = 616$ см³

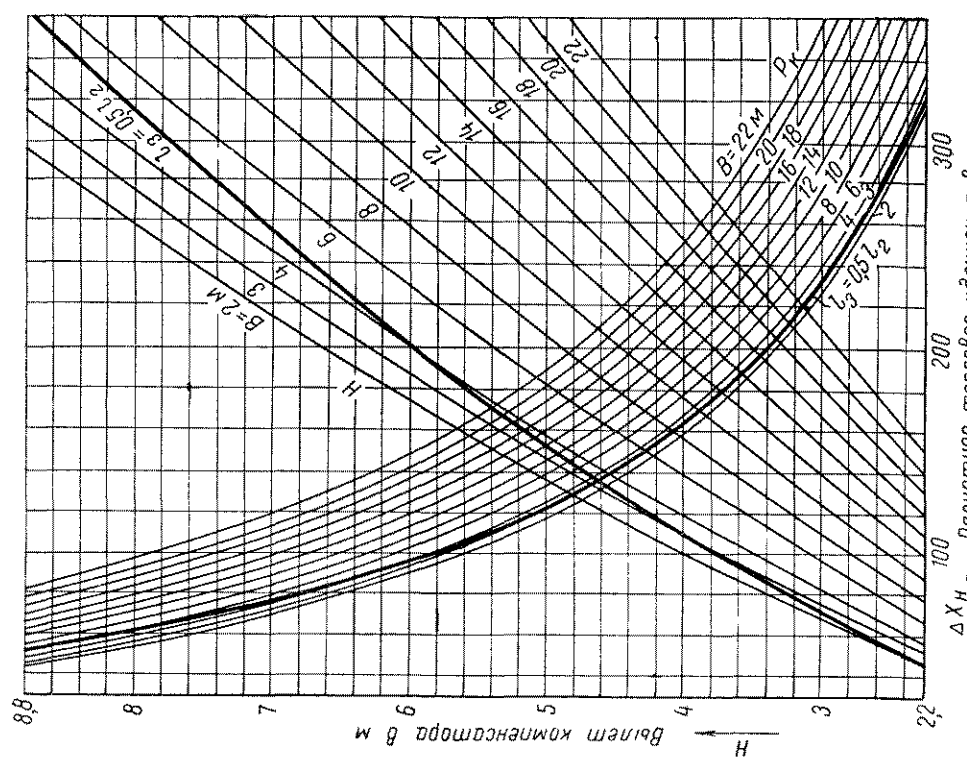


Рис. 10 62. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 273$ мм; $s = 8$ мм; $R = 1000$ мм; $W = 429$ см³

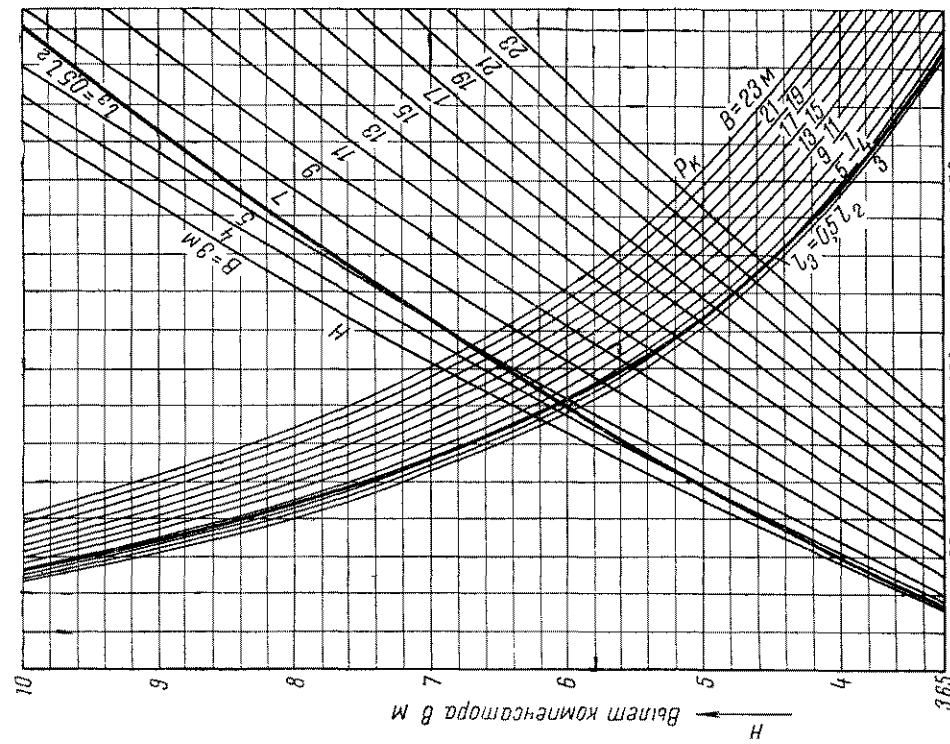


Рис. 10.65 Номограмма для расчета П образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 377$ мм, $s = 9$ мм, $R = 1500$ мм, $W = 935$ см³

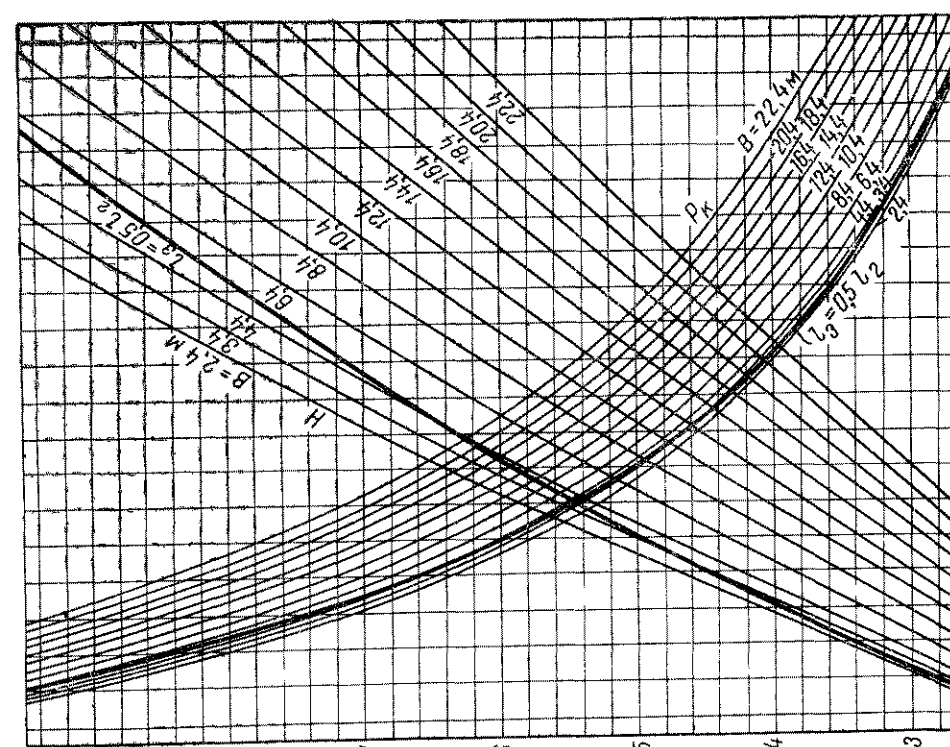


Рис. 10.64 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 325$ мм, $s = 9$ мм, $R = 1200$ мм, $W = 687$ см³

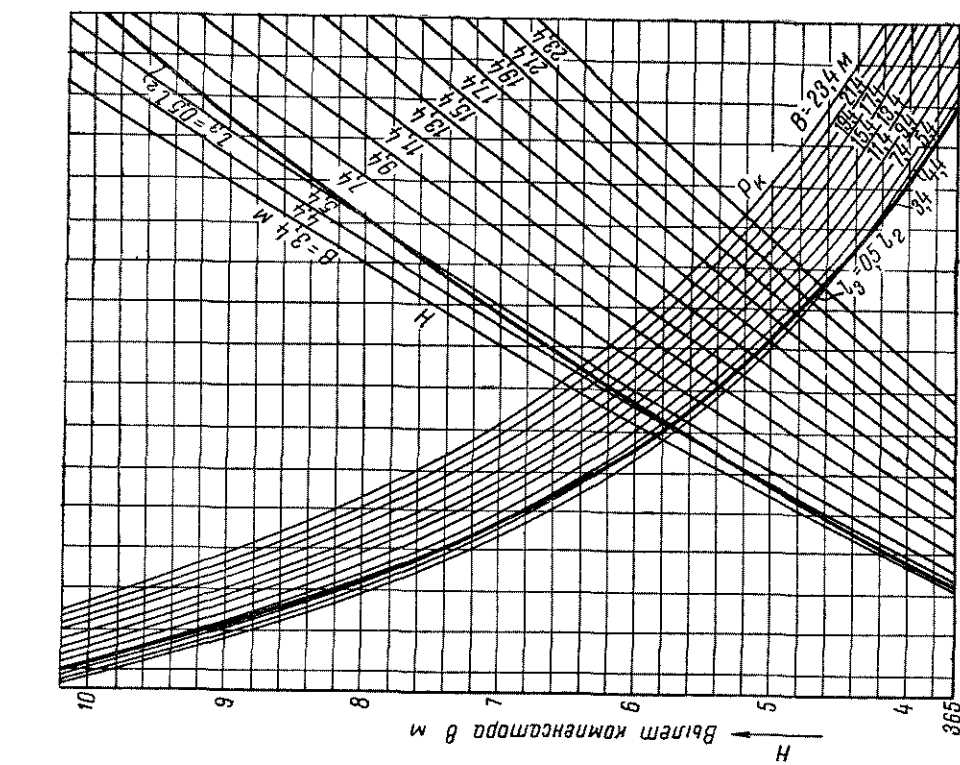


Рис 10 67 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 426$ мм, $s = 9$ мм, $R = 1700$ мм; $W = 1204$ см³

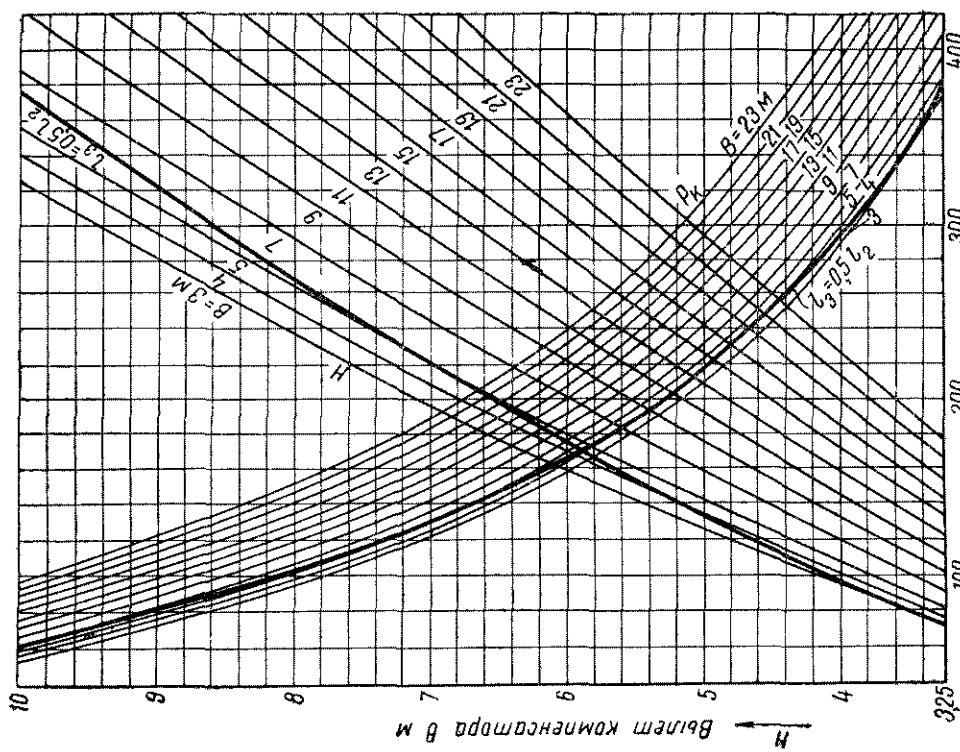


Рис. 10 66. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_н = 377$ мм; $s = 10$ мм; $R = 1500$ мм; $W = 1031$ см³

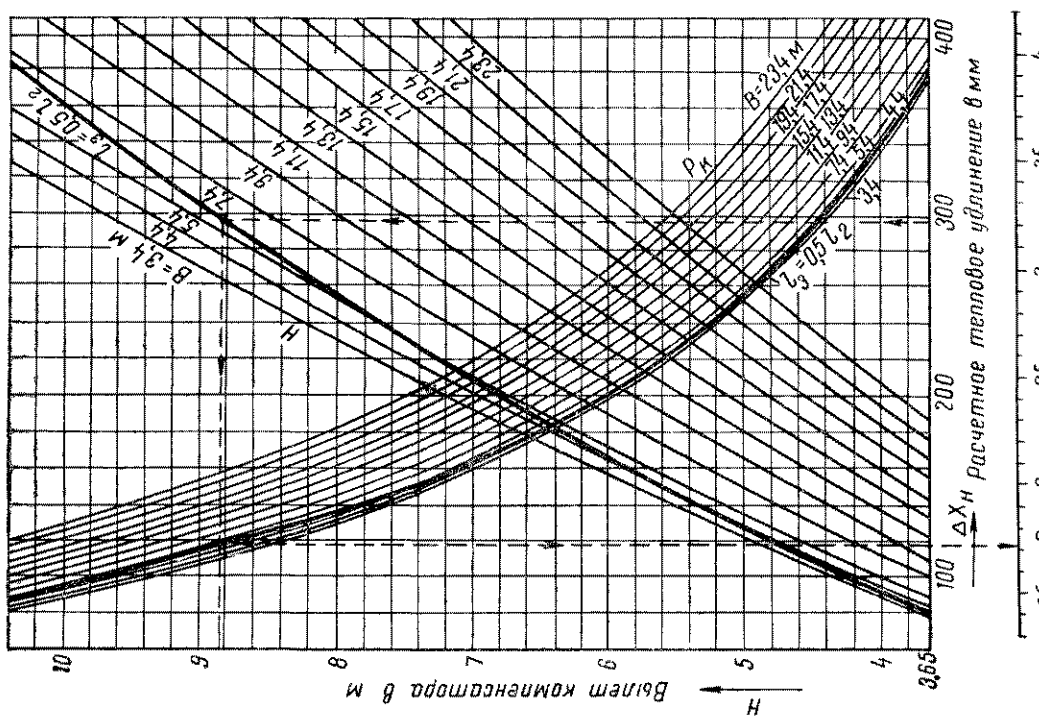


Рис 10.68 Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

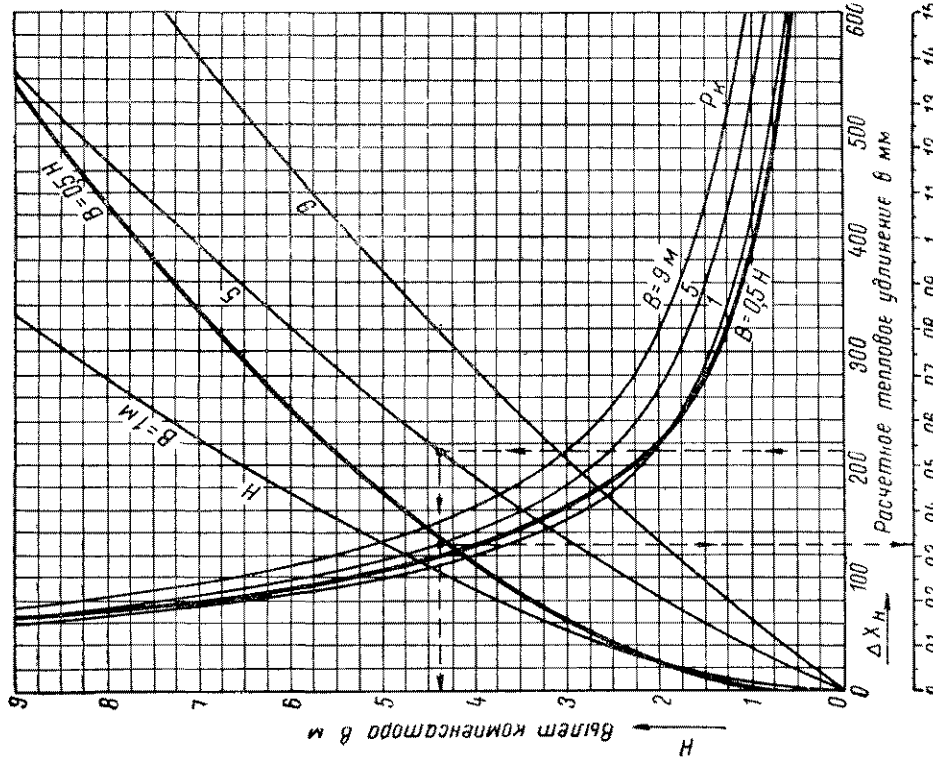


Рис 10.69 Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

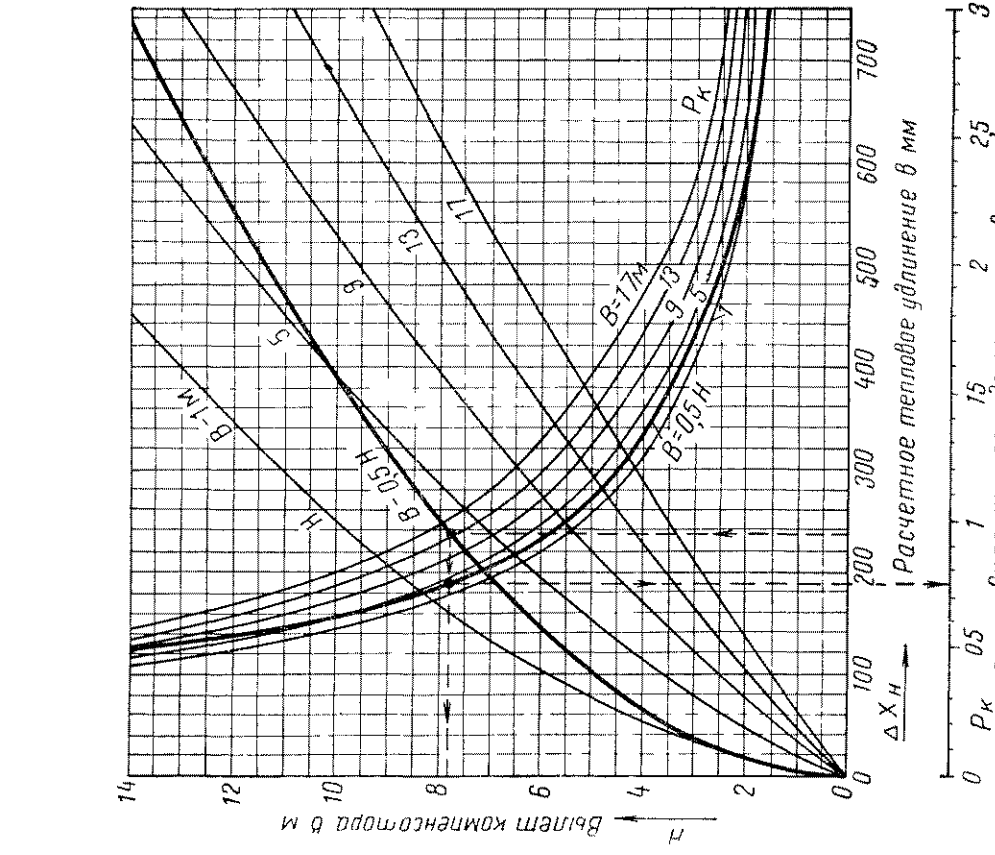


Рис 10.71 Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н = 273$ мм, $s = 7$ мм, $W = 379$ см^3

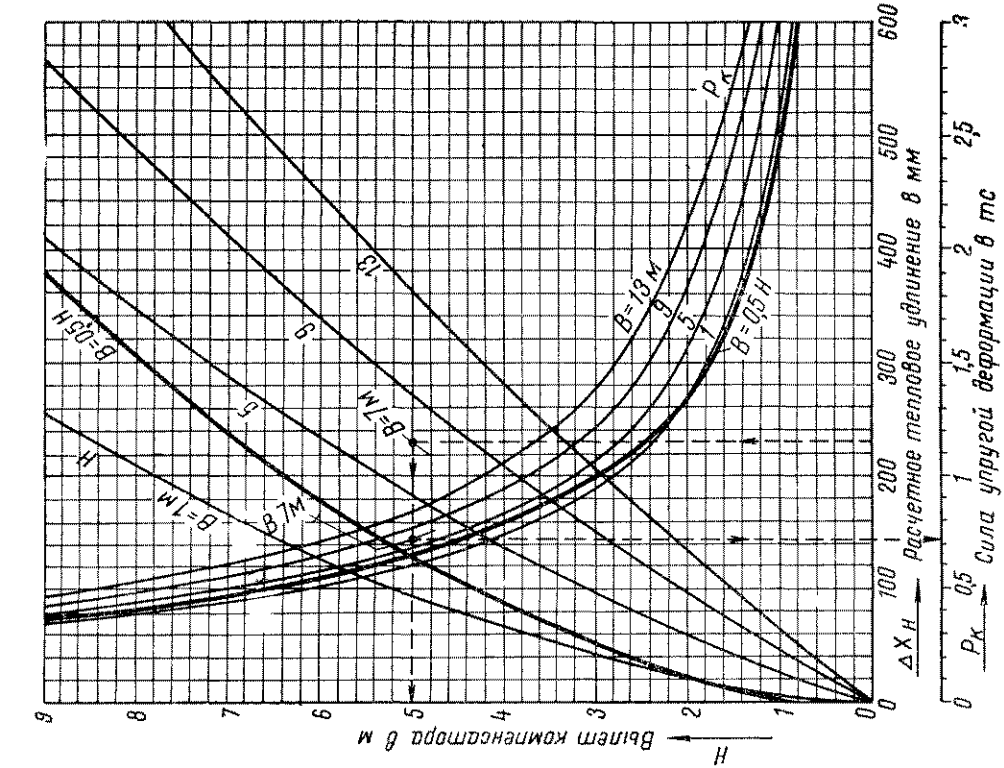


Рис 10.70 Номограмма для расчета П образного компенсатора со сварными отводами

$W = 208$ см^3

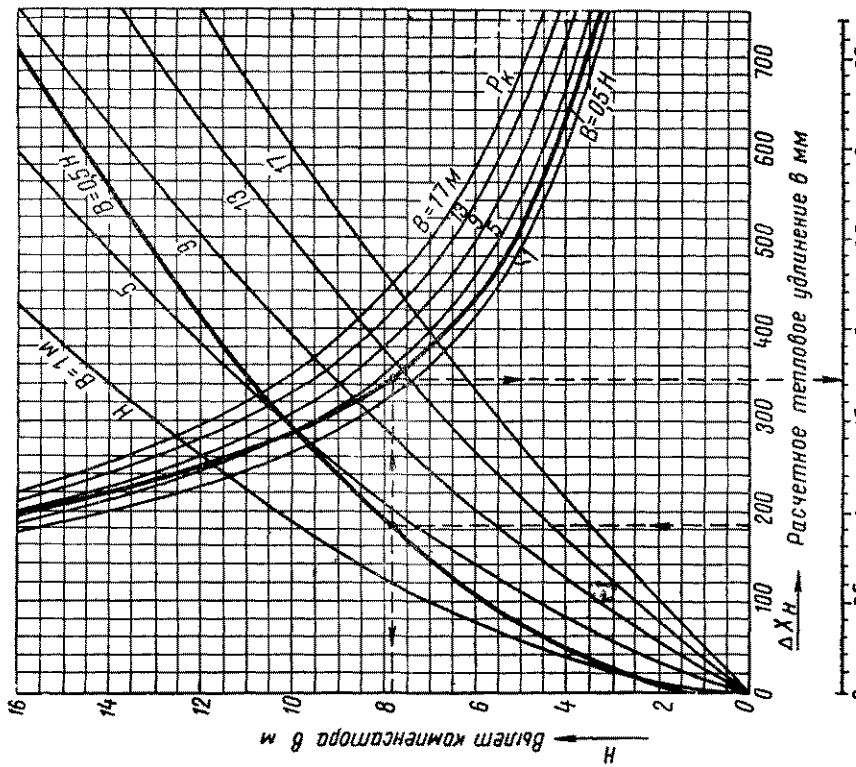


Рис. 10.72. Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н = 325$ мм; $s = 8$ мм; $W = 616$ см³

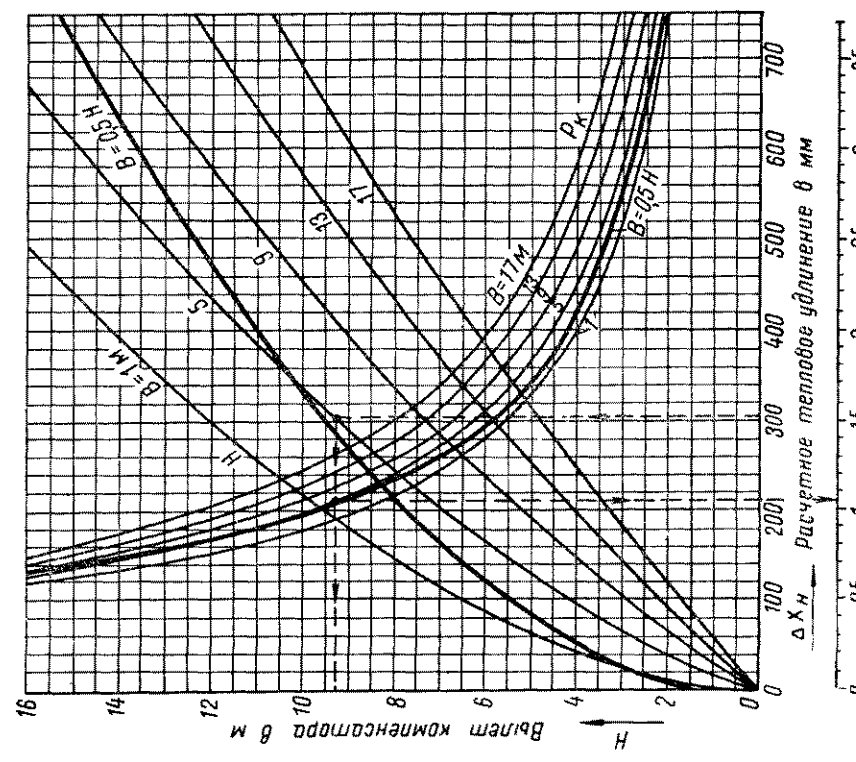


Рис 10.73. Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н = 377$ мм; $s = 9$ мм; $W = 935$ см³

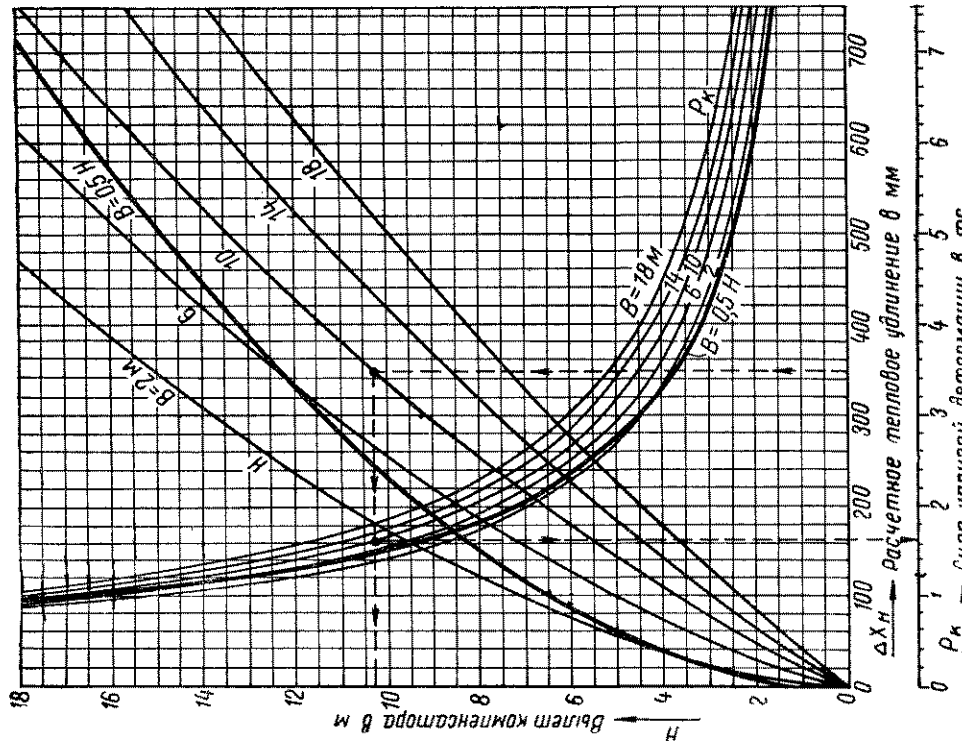


Рис. 10.75. Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_в = 478$ мм; $s = 6$ мм; $W = 1035$ см³

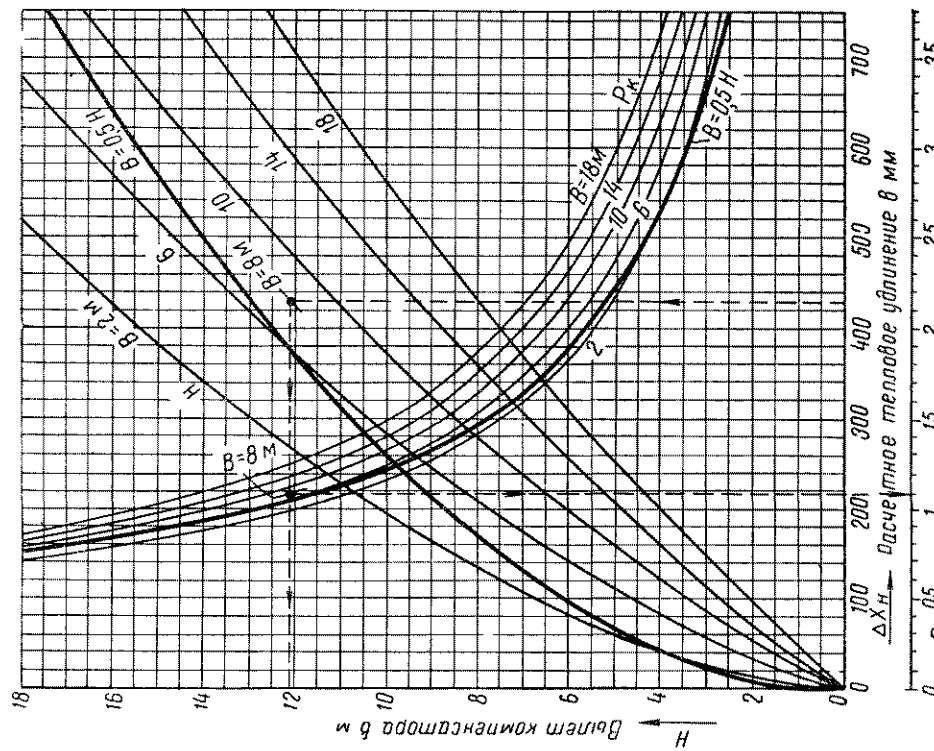


Рис. 10.74. Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_в = 426$ мм; $s = 6$ мм; $W = 819$ см³

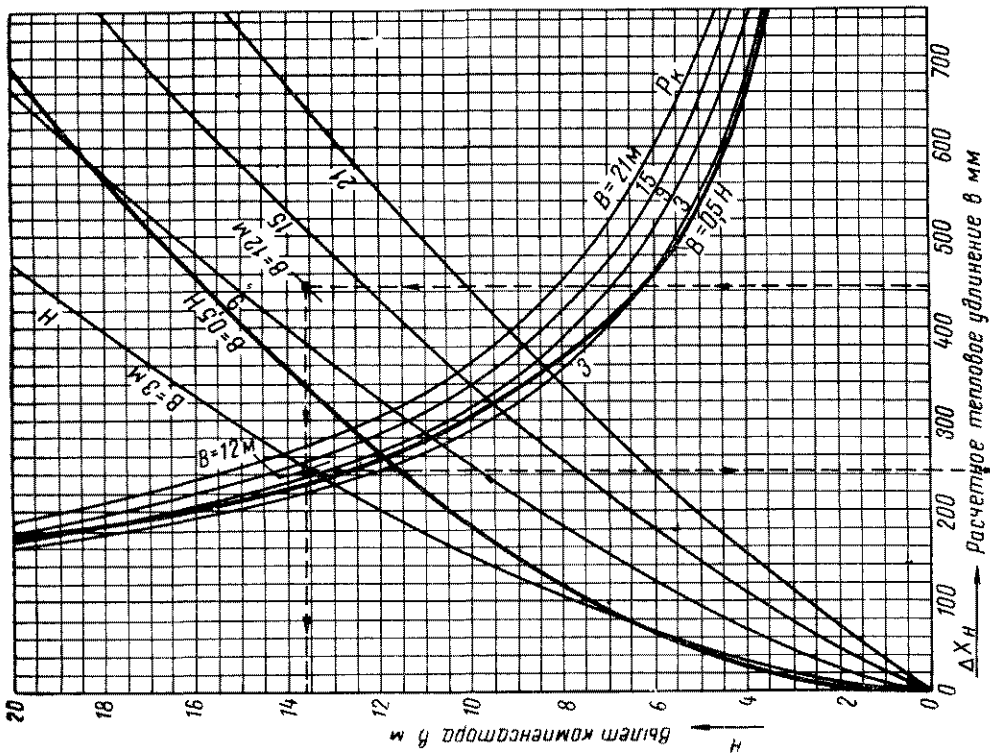


Рис. 10.77. Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н$ = 630 мм; s = 7 мм; W = 2109 см³

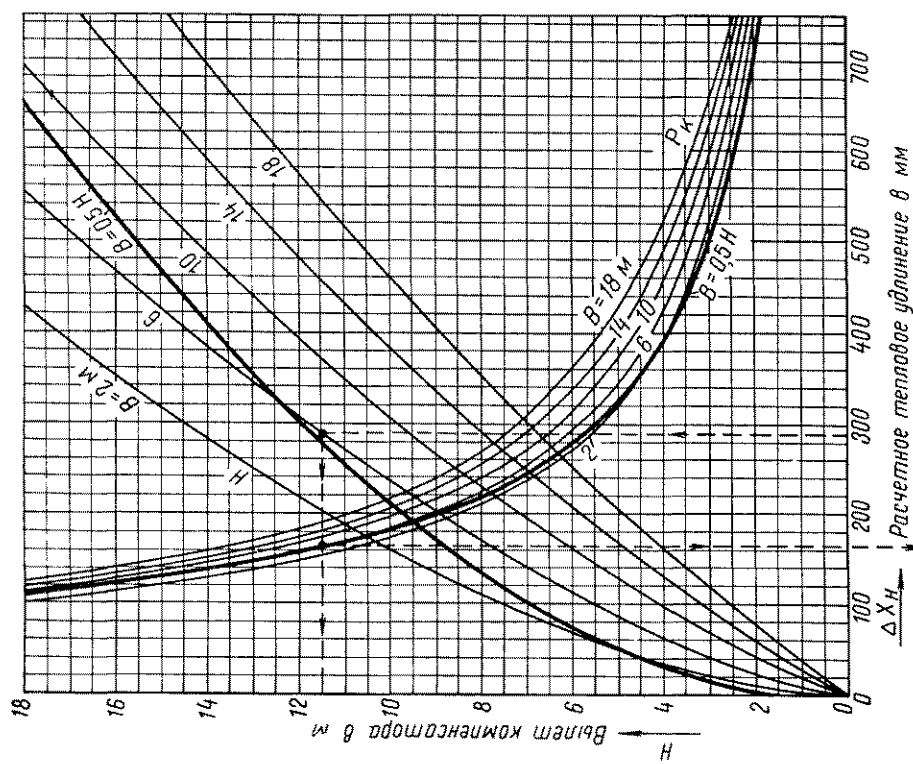


Рис 10.76. Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н$ = 529 мм; s = 6 мм; W = 127 см

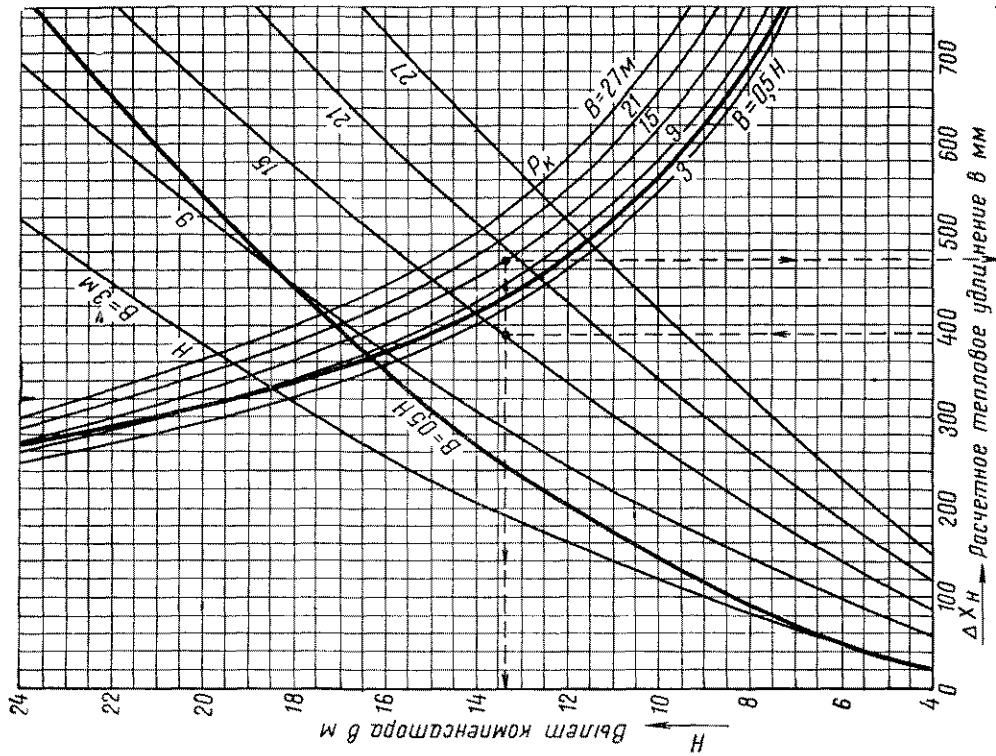


Рис. 10.79 Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н = 820$ мм $s = 8$ мм, $W = 4100$ см³

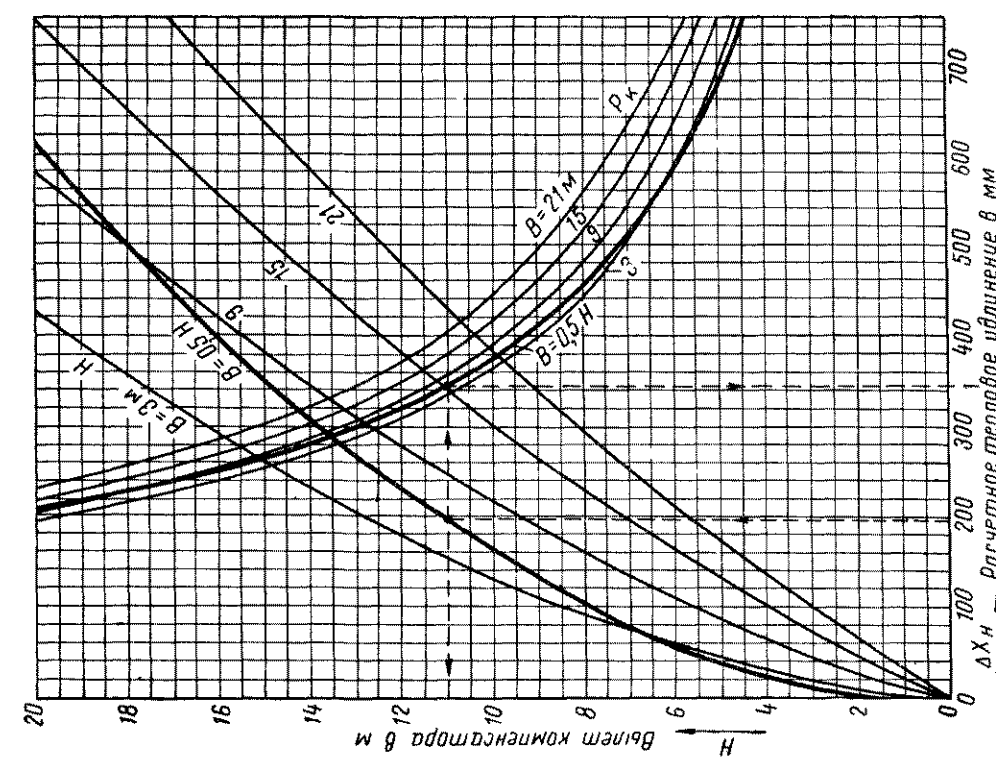


Рис. 10.78 Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н = 720$ мм; $s = 7$ мм; $W = 2767$ см³

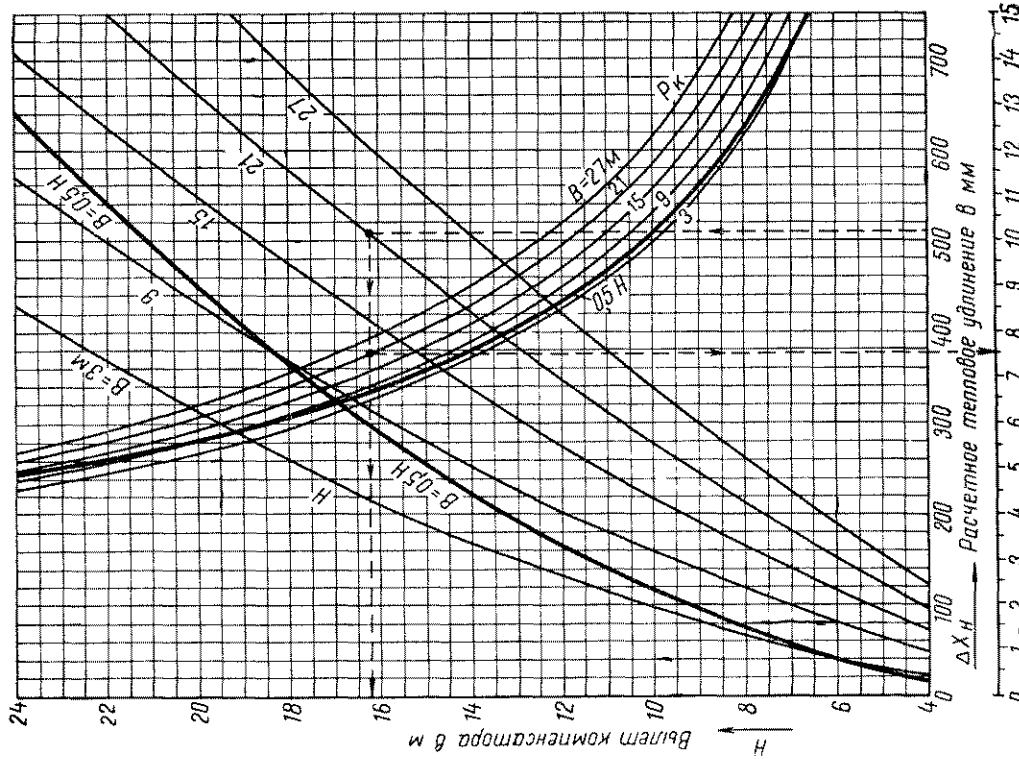


Рис. 10.81 Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н$=1020 мм; s=10 мм; W=7936 см³

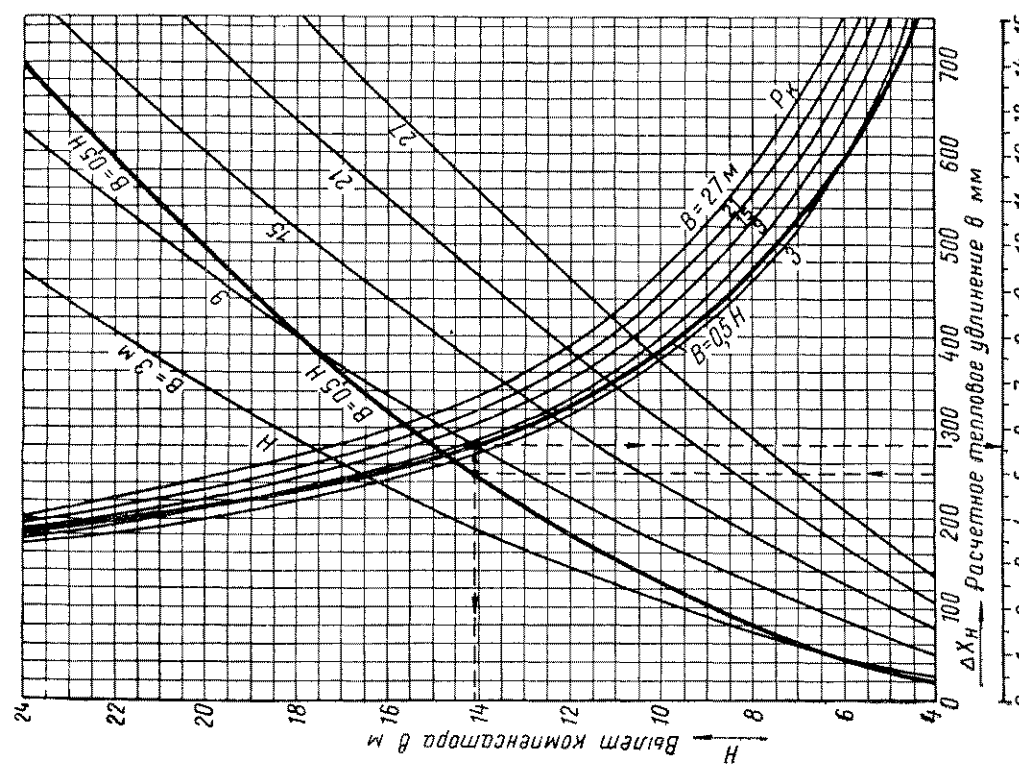


Рис 10.80 Номограмма для расчета П-образного компенсатора со сварными отводами

$D_н$=920 мм; s=9 мм; W=5811 см³

При заданных габаритах компенсатора по шкале номограмм для расчетного теплового удлинения ($\Delta x_н$) определяют его расчетную компенсирующую способность $\Delta x_{нк}$, принимая

$$\Delta x_{н.к} = \Delta x_п \ мм.$$

По величине расчетной компенсирующей способности компенсатора определяют полное тепловое удлинение, которое может скомпенсировать компенсатор заданных габаритов, по формулам:

при величине предварительной растяжки, равной 50% полного теплового удлинения:

при $t < 250°C$

$$\Delta l = 2\Delta x_{н.к} \ мм; \qquad (10.199)$$

при t от 250 до 300° С

$$\Delta l = 1{,}67 \ \Delta x_{н.к} \ мм; \qquad (10.200)$$

при t от 300 до 400° С

$$\Delta l = 1{,}43\Delta x_{н.к} \ мм; \qquad (10.201)$$

при величине предварительной растяжки, равной 100% полного теплового удлинения при $t \geqslant 400°$ С

$$\Delta l = \Delta x_{н.к} \ мм. \qquad (10.202)$$

Допускаемое расстояние между неподвижными опорами определяют по формуле

$$L = \frac{\Delta l}{\alpha (t - t_{н.о})} \ м. \qquad (10.203)$$

Силу упругой деформации определяют по номограммам по заданным габаритам компенсатора.

Если допускаемое изгибающее компенсационное напряжение на спинке компенсатора $\sigma^{д'}_{и.к(хол)}$ больше или меньше 11 *кгс/мм*^{2}, расчетную компенсирующую способность компенсатора, определенную по номограммам, пересчитывают по формуле

$$\Delta x'_{н.к} = \Delta x_{н.к} \frac{\sigma^{д'}_{н.к}}{11} \ мм, \qquad (10.204)$$

а силу упругой деформации, определенную по номограммам, пересчитывают по формуле (10.198).

При заданных габаритах компенсатора и известной величине полного теплового удлинения рассчитываемого участка трубопровода силу упругой деформации и изгибающее компенсационное напряжение на спинке компенсатора в холодном состоянии определяют по формулам:

$$P'_к = P_к \frac{\Delta x_н}{\Delta x_{н.к}} \ тс; \qquad (10.205)$$

$$\sigma^{к'}_и = 11 \frac{\Delta x_н}{\Delta x_{н.к}} \ кгс/мм^2, \qquad (10.206)$$

где $P_к$ — сила упругой деформации компенсатора в *тс*, определенная по номограмме при заданных габаритах компенсатора;

$\Delta x_{н.к}$ — расчетная компенсирующая способность компенсатора в *мм*, определенная по номограмме при заданных габаритах компенсатора;

$\Delta x_н$ — расчетное тепловое удлинение в *мм*, определенное по формулам (10.193)—(10.196).

Изгибающее компенсационное напряжение на участках, прилегающих к П-образному компенсатору, по номограммам не определяют, а подсчитывают в случае необходимости по формулам (10.172), (10.173) и (10.186).

При длине прилегающих свободных плеч, учитываемых в расчете, не равной принятой величине при составлении номограмм, т. е при $l_п < 40 D_у$, можно пользоваться приведенными номограммами с введением поправочных коэффициентов на величину компенсирующей способности компенсатора, силу упругой деформации и на расчетное тепловое удлинение, которые принимают по табл. (10.24).

Искомые величины определяют из формул:

$$\Delta x'_{н.к} = \Delta x_{н.к} n_1 \ мм; \qquad (10.207)$$

$$\Delta x'_н = \frac{\Delta x_н}{n_1} \ мм; \qquad (10.208)$$

$$P'_к = P_к n_2 \ тс, \qquad (10.209)$$

При изменении толщины стенки трубы для П-образных компенсаторов со сварными отводами габариты компенсатора определяют по номограммам, как изложено выше, а силу упругой деформации пересчитывают по формуле

$$P'_к = P_к \frac{W'}{W} \ тс. \qquad (10.210)$$

где $P_к$ — сила упругой деформации, определенная по номограмме, в *тс*;

W — момент сопротивления поперечного сечения стенки трубы при толщине стенки трубы, для которой построена номограмма, в *см*^{3};

W' — момент сопротивления поперечного сечения стенки трубы при заданной толщине стенки трубы в *см*^{3}.

При изменении толщины стенки трубы и радиусов оси отводов для П-образных компенсаторов с гнутыми гладкими отводами пользоваться номограммами нельзя, а расчет компенсатора следует производить по формулам.

ГЛАВА II

НАГРУЗКИ НА ОПОРЫ ТРУБОПРОВОДОВ

11.1. НАГРУЗКИ НА ПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

Нагрузки на подвижные опоры трубопроводов подразделяются на вертикальные и горизонтальные и зависят от веса участка трубопровода, приходящегося на опору, и типа опоры.

Вертикальную нагрузку определяют по формуле

$$H_в = ql \ кгс, \qquad (11.1)$$

где q — вес 1 *м* трубопровода: вес трубы, изоляционной конструкции и воды (вес воды для паропроводов учитывают в связи с заполнением их водой при гидравлическом испытании) в *кгс;*

l — пролет между подвижными опорами в *м.*

Горизонтальные нагрузки возникают за счет реакции трения опоры при ее перемещении под влиянием теплового удлинения трубопроводов и определяются по формуле

$$H_г = fql \ кгс, \qquad (11.2)$$

где f — коэффициент трения подвижных опор, принимаемый по табл. 11.1;

q — вес 1 *м* трубопровода в рабочем состоянии: вес трубы, изоляционной конструкции и воды для водяных тепловых сетей и конденсатопроводов (вес воды в паропроводах в этом случае не учитывается) в *кгс*

Таблица 11.1

Коэффициент трения подвижных опор

Тип опор	Коэффициент трения подвижных опор f
Скользящие	0,3
Катковые при осевом перемещении трубопровода	0,1
Катковые при боковом перемещении трубопровода перпендикулярно оси	0,3
То же, под углом к оси	0,15—0,2
Подвесные	0,1

Примечание. При известной конструкции подвесной опоры коэффициент трения определяют по формуле

$$f = \frac{\Delta}{h_т},$$

где Δ — тепловое перемещение подвесной опоры, расположенной в середине участка от неподвижной опоры до компенсатора, равное половине теплового удлинения этого участка трубопровода, в *мм;*

$h_т$ — рабочая длина тяги подвесной опоры в *мм*

При перемещении опоры по оси трассы прямолинейного участка трубопровода возникает только осевая горизонтальная нагрузка $H_{г.о}$, равная $H_г$.

При перемещении опоры под углом к первоначальной оси трубопровода, например на участках самокомпенсации или вблизи гибких компенсаторов, горизонтальную нагрузку $H_г$ раскладывают на два направления по закону прямоугольного треугольника: осевое $H_{г.о}$ — по направлению первоначальной оси трубопровода и боковое $H_{г.б}$ — перпендикулярное первоначальной оси. При отсутствии данных о направлении перемещения опоры допускается принимать осевую и боковую нагрузки каждую равной $0{,}7H_г$. При перемещении опоры перпендикулярно первоначальной оси трубопровода, например на спинке гибких компенсаторов, возникает только боковая горизонтальная нагрузка $H_{г.б}$, равная $H_г$.

При размещении подвижной опоры в узле трубопроводов дополнительно учитывают вес арматуры, сальниковых компенсаторов, а также вес прилегающих участков ответвлений, приходящихся на данную опору. Вес ответвлений определяют по формуле (11.1), но с коэффициентом 0,5, учитывающим распределение веса между двумя опорами.

Для уменьшения вертикальной нагрузки на подвижную опору сокращают пролет l между рассматриваемой и ближайшими к ней опорами на магистрали и ответвлениях.

11.2. НАГРУЗКИ НА НЕПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

Нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов подразделяют на вертикальные и горизонтальные.

Вертикальные нагрузки определяют по формуле (11.1). Если неподвижная опора размещается в узле трубопроводов, учет дополнительных нагрузок от арматуры, сальниковых компенсаторов и пр. производится по аналогии с подвижными опорами.

Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов возникают под влиянием следующих сил

трения в подвижных опорах при тепловом удлинении трубопровода, прокладываемого в непроходных и полупроходных каналах, тоннелях и надземно;

трения в сальниковых компенсаторах при тепловом удлинении трубопровода;

упругой деформации гибких компенсаторов или самокомпенсации при их растяжке в холодном состоянии или при тепловом удлинении трубопровода;

внутреннего давления при применении неуравновешенных сальниковых компенсаторов (разрезанные трубопроводы).

При применении гнутых компенсаторов силы внутреннего давления воспринимаются трубопроводом и на неподвижную опору не передаются.

При установке по всей трассе уравновешенных сальниковых компенсаторов силы внутреннего давления уравновешиваются самой конструкцией компенсатора и также не передаются на неподвижную опору.

Силы трения в подвижных опорах определяют по формуле

$$P_{тр}^{оп} = fqL \ кгс, \qquad (11.3)$$

где q — вес 1 *м* трубопровода в рабочем состоянии в *кгс*;

L — длина трубопровода от неподвижной опоры до компенсатора или от неподвижной опоры до поворота (при самокомпенсации) в *м*.

Силы трения в сальниковых компенсаторах определяют в зависимости от рабочего давления теплоносителя, диаметра трубы и конструкции сальниковой набивки по формулам:

$$P_с = 2P_{раб} l_2 D_2 f\pi \ кгс; \qquad (11.4)$$

$$P_с = \frac{4\,00n}{f_н} l_2 D_2 f\pi \ кгс. \qquad (11.5)$$

В этих формулах:

$P_{раб}$ — рабочее давление теплоносителя в *кгс/см²*;

l_2 — длина слоя набивки по оси сальникового компенсатора в *см*;

D_2 — наружный диаметр стакана сальникового компенсатора в *см*;

f — коэффициент трения набивки о металл принимают равным 0,15;

n — число болтов компенсатора;

$f_н$ — площадь поперечного сечения набивки в *см²*.

Площадь поперечного сечения набивки определяют по формуле

$$f_н = 0{,}785\left(D_3^2 - D_2^2\right) \ см^2, \qquad (11.6)$$

где D_3 — внутренний диаметр корпуса сальникового компенсатора в *см*.

При определении $P_с$ по формуле (11.5) величину $\frac{400n}{f_н}$ принимают не менее 10 *кгс/см²*. В качестве расчетной принимают бо́льшую из сил $P_с$ полученных по формулам (11.4) и (11.5).

Для определения сил трения в сальниковых компенсаторах можно пользоваться графиком рис. 11.1.

Силы упругой деформации гибких компенсаторов и участков самокомпенсации определяют при расчете труб на компенсацию тепловых удлинений в соответствии с указаниями главы 10.

Силы внутреннего давления передаются только на те неподвижные опоры, которые расположены между неуравновешенным сальниковым компенсатором и поворотом трубы, между двумя смежными участками с разными диаметрами сальниковых компенсаторов (переход диаметров труб), на участке с задвижкой (при ее закрытии) или с заглушкой.

Для случаев размещения опоры на участке с поворотом трубы, с заглушкой или задвижкой силы внутреннего давления определяют по формуле

$$P_{в.д} = P_{раб} F_{с.н} \ кгс, \qquad (11.7)$$

где $P_{раб}$ — рабочее давление теплоносителя в *кгс/см²*;

$F_{с.н}$ — площадь поперечного сечения по наружному диаметру стакана сальникового компенсатора в *см²*.

Для случая с переходом диаметров труб силу внутреннего давления определяют по формуле

$$P_{в.д} = P_{раб}\left(F_{с.н1} - F_{с.н2}\right) \ кгс, \qquad (11.8)$$

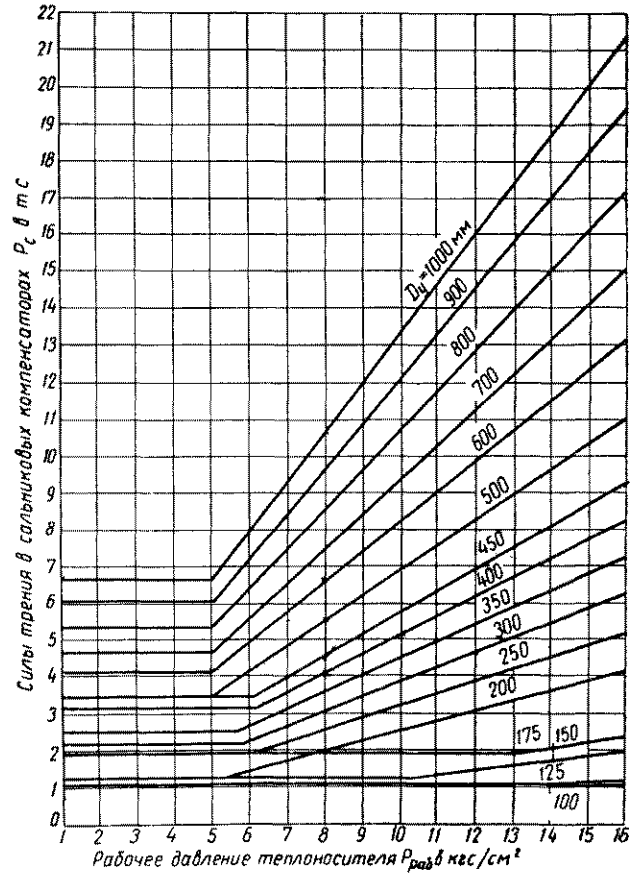


Рис. 11.1. Номограмма для определения сил трения в сальниковых компенсаторах $P_с$

где $F_{с.н1}$ — площадь по наружному диаметру стакана сальникового компенсатора большего диаметра в *см²*;

$F_{с.н2}$ — то же, меньшего диаметра в *см²*.

Направление силы — в сторону меньшего диаметра трубопровода.

Силы внутреннего давления для сальниковых компенсаторов могут приниматься по графикам рис. 11.2 и 11.3.

В формулах (11.4), (11.7) и (11.8) величину рабочего давления $P_{раб}$ принимают:

для паропроводов — по начальному давлению пара на коллекторе источника тепла;

для подающего трубопровода водяных тепловых сетей — по наибольшему давлению в трубопроводе с учетом разницы в отметках земли по трассе;

для обратного — по наибольшему возможному давлению в трубопроводе при различных режимах работы с учетом рельефа местности по трассе тепловой сети, но не менее 10 *кгс/см²*;

для сборных конденсатопроводов — по давлению пара перед конденсатоотводчиком;

для напорных конденсатопроводов — по наибольшему давлению в трубопроводе с учетом разницы в отметках.

В табл. 11.2 дана сводка расчетных формул для определения сил, действующих на неподвижную опору.

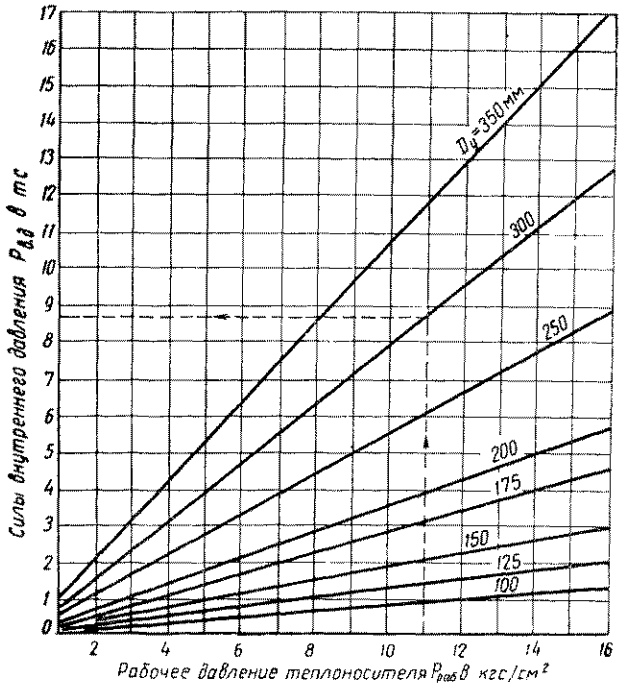


Рис. 11.2. График для определения сил внутреннего давления $P_{в.д}$ при сальниковых компенсаторах для D_y = = 100 ÷ 350 *мм*

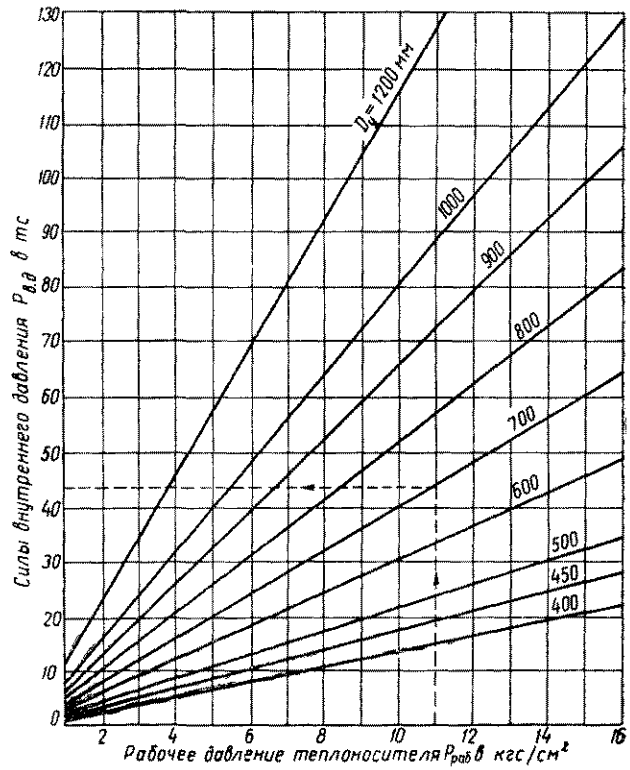


Рис. 11.3. График для определения сил внутреннего давления $P_{в.д}$ при сальниковых компенсаторах для D_y = = 400 ÷ 1000 *мм*

Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры подразделяют на осевые $H_{г.о}$, действующие по оси трубопровода, и боковые $H_{г.б}$ — перпендикулярно оси. Осевые нагрузки передаются на всё неподвижные опоры.

Таблица 11.2

Сводная таблица расчетных формул для определения сил, действующих на неподвижные опоры трубопроводов

Наименование нагрузок	Фактор, вызывающий появление сил	Наименование сил	Расчетные формулы: трубопровод неразрезанный	Расчетные формулы: трубопровод разрезанный	Примечания
Вертикальные	Вес трубопровода	Силы веса	$H_в = ql$ *кгс*		—
Горизонтальные (осевые боковые	Температурное удлинение трубопроводов	Силы трения в подвижных опорах	$P_{тр}^{оп} = fqL$ *кгс*		—
		Силы упругой деформации при самокомпенсации	P_x; P_y в *кгс*		Определяют расчетом труб на компенсацию тепловых удлинений (глава 10)
		Силы упругой деформации при П- и S-образных компенсаторах	$P_к$ в *кгс*		
		Силы трения в сальниковых компенсаторах	—	$P_с = 2P_{раб} f\pi l_з D_2$ *кгс* или $P_с = \frac{400n}{f_н} f\pi l_з D_2$ *кгс*	В расчете учитывают большую из полученных сил
	Внутреннее давление	Неуравновешенные силы внутреннего давления	—	$P_{в.д} = P_{раб} F_{с.н}$ *кгс*	—

боковые — на неподвижные опоры, размещающиеся в узлах ответвлений. Кроме того, боковые нагрузки передаются при размещении опоры непосредственно перед поворотом трубы при самокомпенсации, а также при размещении неподвижной опоры на углу поворота трубы. Для этих опор силы, действующие по оси трубопроводов, раскладывают на две составляющие — вдоль оси неподвижной опоры и перпендикулярно ей.

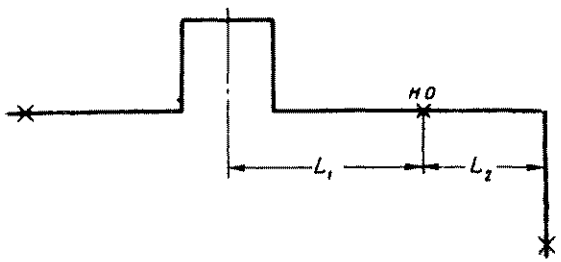


Рис. 11.4 Схема расчетного участка с П-образным компенсатором

Неподвижные опоры подразделяют на концевые, размещающиеся перед заглушкой или поворотом, т. е. в конце участка трубопровода, и промежуточные, размещающиеся между двумя смежными участками.

На концевые неподвижные опоры горизонтальные осевые нагрузки определяют по сумме сил, действующих на опору с одной стороны.

Горизонтальные осевые нагрузки на промежуточные опоры определяют с учетом всех действующих сил по обе стороны опоры. При этом рассматривают все возможные режимы работы трубопровода: от холодного до рабочего состояния (при расчетной температуре теплоносителя) — нагревание и от рабочего до холодного состояния трубопровода — охлаждение; это связано с тем, что силы трения и силы упругой деформации гибких компенсаторов и углов поворотов труб меняют свое направление при нагревании и при охлаждении.

Для облегчения анализа величин нагрузок, действующих на неподвижную опору при различных режимах работы трубопровода, рекомендуется строить эпюры каждой из действующих сил.

При определении горизонтальной осевой нагрузки на опору для каждого режима работы трубопровода силы, действующие на неподвижную опору в одном направлении, складывают, а затем из большей суммы сил вычитают меньшую; при этом, учитывая возможные отклонения от расчетных величин, силы трения и силы упругой деформации вычитают с коэффициентом 0,7, чем обеспечивается некоторый запас в расчетной нагрузке на неподвижную опору.

При равенстве суммы сил, действующих на опору с обеих сторон, в качестве расчетной принимается одна из сумм с коэффициентом 0,3.

Максимальные значения горизонтальных нагрузок на опоры получаются вблизи граничных режимов работы трубопровода (начало и конец нагревания и охлаждения). В связи с этим расчетные формулы составляют только для этих четырех режимов. За расчетную горизонтальную осевую нагрузку принимают максимальную из полученных нагрузок.

Для иллюстрации приводится пример определения горизонтальной осевой нагрузки, действующей на промежуточную неподвижную опору, для схемы участка трубопровода, приведенной на рис. 11.4, с П-образным компенсатором, выполненным с предварительной растяжкой в холодном состоянии на половину полного теплового удлинения участка, и Г-образным участком самокомпенсации, выполненным без предварительной растяжки в холодном состоянии. Расчетная температура теплоносителя $t = 150°$ С.

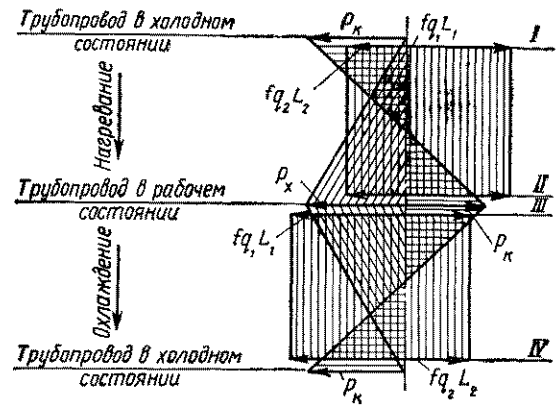


Рис. 11.5. Эпюры сил, действующих на неподвижную опору, для различных режимов работы трубопровода

I — начало нагревания; *II* — конец нагревания; *III* — начало охлаждения; *IV* — конец охлаждения

Для определения горизонтальных осевых нагрузок на опору по эпюре сил (рис. 11.5) составляют расчетные формулы для основных четырех режимов.

Режим I:

$$H_{г.о} = P_к + fq_2L_2 - 0{,}7fq_1L_1; \qquad (11.9)$$

или

$$H_{г.о} = fq_1L_1 - 0{,}7(P_к + fq_2L_2). \qquad (11.10)$$

Режим II:

$$H_{г.о} = P_к + fq_1L_1 - 0{,}7(P_x + fq_2L_2); \qquad (11.11)$$

или

$$H_{г.о} = P_x + fq_2L_2 - 0{,}7(P_к + fq_1L_1). \qquad (11.12)$$

Режим III:

$$H_{г.о} = P_x + fq_1L_1 - 0{,}7(P_к + fq_2L_2); \qquad (11.13)$$

или

$$H_{г.о} = P_к + fq_2L_2 - 0{,}7(P_x + fq_1L_1). \qquad (11.14)$$

Режим IV:

$$H_{г.о} = P_к + fq_1L_1 - 0{,}7fq_2L_2 \qquad (11.15)$$

или

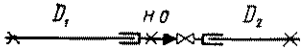
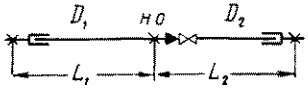
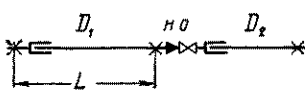
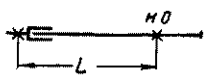
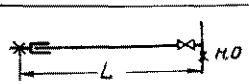
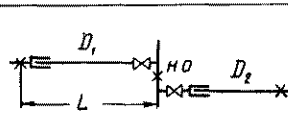
$$H_{г.о} = fq_2L_2 - 0{,}7(P_к + fq_1L_1). \qquad (11.16)$$

Анализ полученных расчетных формул показывает, что величина нагрузки на неподвижную опору по формулам (11 10); (11.11); (11.14); (11.16) получится заведомо меньше, чем по формулам (11.9), (11.12), (11.13) и (11.15). Поэтому расчет производится только по последним четырем формулам. Расчетной нагрузкой будет наибольшая из четырех полученных величин.

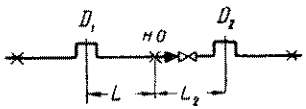
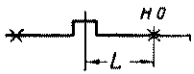
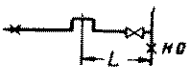
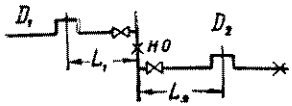
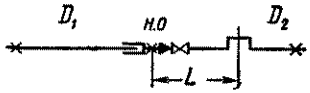
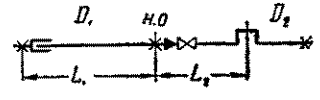
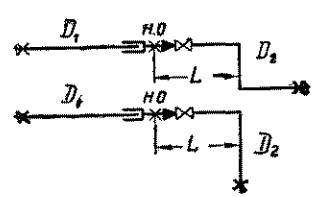
Если около неподвижной опоры установлена запорная арматура, горизонтальную осевую нагрузку на опору определяют при открытой и закрытой арматуре.

Таблица 113

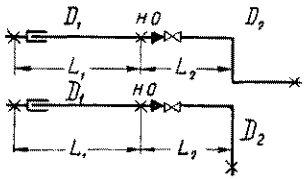
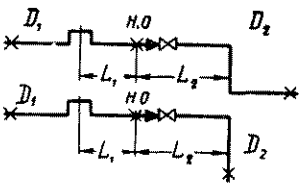
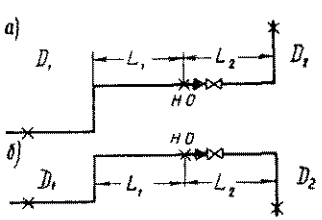
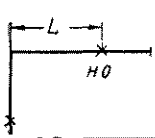
Расчетные формулы для определения горизонтальных осевых $H_{г.о}$ и боковых $H_{г.б}$ нагрузок на неподвижные опоры трубопроводов

№ схем	Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы		
		для схем без задвижек или при открытых задвижках	при закрытых задвижках	
			лучевые схемы тепловых сетей	кольцевые схемы тепловых сетей при $D_1 \geqslant D_2$
1		$D_1 \geqslant D_2$ $H_{г.о} = P_{с1} - 0{,}7P_{с2} +$ $+ P_{раб}(F_{с.н1} - F_{с.н2})$ $D_1 = D_2$ $H_{г.о} = 0{,}3P_с$	$H_{г.о} = P_{с1} + P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{г.о} = P_{с2} + P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{г.о} = P_{с1} + P_{с2} +$ $+ P_{раб} F_{с.н1}$
2		$D_1 \geqslant D_2$ $H_{г.о} = P_{с1} + fq_1 L_1 +$ $+ P_{раб}(F_{с.н1} - F_{с.н2}) -$ $- 0{,}7(P_{с2} + fq_2 L_2)$ $H_{г.о} = P_{с2} + fq_2 L_2 +$ $+ P_{раб}(F_{с.н1} - F_{с.н2}) -$ $- 0{,}7(P_{с1} + fq_1 L_1)$ $D_1 = D_2,\ L_1 = L_2 = L$ $H_{г.о} = 0{,}3(P_с + fqL)$	$H_{г.о} = P_{с1} + fq_1 L_1 +$ $+ P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{г.о} = P_{с2} + fq_2 L_2 +$ $+ P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{г.о} = P_{с1} + P_{с2} + fq_1 L_1 +$ $+ fq_2 L_2 + P_{раб} F_{с.н1}$
3		$D_1 \geqslant D_2$ $H_{г.о} = P_{с1} - 0{,}7P_{с2} + fq_1 L +$ $+ P_{раб}(F_{с.н1} - F_{с.н2})$ $D_1 = D_2$ $H_{г.о} = 0{,}3P_с + fqL$	$H_{г.о} = P_{с1} + fq_1 L +$ $+ P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{г.о} = P_{с2} + P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{г.о} = P_{с1} + P_{с2} + fq_1 L +$ $+ P_{раб} F_{с.н1}$
4		$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н}$	—	—
5		$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н} + fqL$	—	—
6		$H_{г.б} = P_с + P_{раб} F_{с.н}$	$H_{г.б} = P_с + P_{раб} F_{с.н}$	—
7		$H_{г.б} = P_с + P_{раб} F_{с.н} + fqL$	$H_{г.б} = P_с + P_{раб} F_{с.н} + fqL$	—
8		$H_{г.б} = P_{с1} + fq_1 L +$ $+ P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{г.б} = P_{с2} + P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{г.б} = P_{с1} + fq_1 L_1 +$ $+ P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{г.б} = P_{с2} + P_{раб} F_{с.н2}$	—

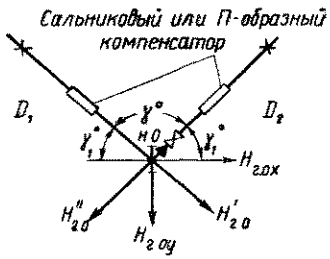
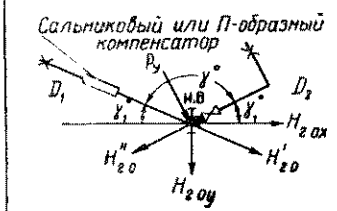
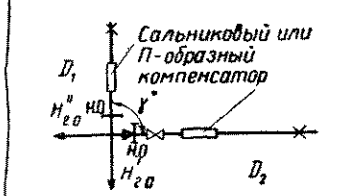
Продолжение табл. 11.3

№ схем	Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы		
		для схем без задвижек или при открытых задвижках	при закрытых задвижках	
			лучевые схемы тепловых сетей	кольцевые схемы тепловых сетей при $D_1 \geqslant D_2$
9		$D_1 \geqslant D_2$ $H_{г.о} = P_{к1} + fq_1 L_1 -$ $- 0{,}7\,(P_{к2} + fq_2 L_2)$ $H_{г.о} = P_{к2} + fq_2 L_2 -$ $- 0{,}7\,(P_{к1} + fq_1 L_1)$ $D_1 = D_2$: $L_1 = L_2 = L$ $H_{г.о} = 0{,}3\,(P_к + fqL)$	$H_{г.о} = P_{к1} + fq_1 L_1$ $H_{г.о} = P_{к2} + fq_2 L_2$	$H_{г.о} = P_{к1} + P_{к2} +$ $+ fq_1 L_1 + fq_2 L_2$
10		$H_{г.о} = P_к + fql$	—	—
11		$H_{г.б} = P_к + fqL$	$H_{г.б} = P_к + fqL$	—
12		$H_{г.б} = P_{к1} + fq_1 L_1$ $H_{г.б} = P_{к2} + fq_2 L_2$	$H_{г.б} = P_{к1} + fq_1 L_1$ $H_{г.б} = P_{к2} + fq_2 L_2$	—
13		$D_1 \geqslant D_2$ $H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н} +$ $+ P_к - 0{,}7fq_2 L$ $H_{г.о} = fq_2 L + P_{раб} F_{с.н} +$ $+ P_к - 0{,}7P_с$	$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н}$ $H_{г.о} = P_к + fq_2 L$	$H_{г.о} = P_с + P_к +$ $+ P_{раб} F_{с.н} + fq_2 L$
14		$D_1 \geqslant D_2$ $H_{г.о} = P_с + fq_1 L_1 +$ $+ P_{раб} F_{с.н} + P_к - 0{,}7fq_2 L_2$	$H_{г.о} = P_с + fq_1 L_1 +$ $+ P_{раб} F_{с.н}$ $H_{г.о} = P_к + fq_2 L_2$	$H_{г.о} = P_с + fq_1 L_1 +$ $+ P_{раб} F_{с.н} + P_к + fq_2 L_2$
15		при $t \leqslant 250°C$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + fq_2 L - 0{,}7P_с$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + P_с - 0{,}7fq_2 L$ при $t > 250°C$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + fq_2 L +$ $+ P_x - 0{,}7P_с$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + P_с +$ $+ P_x - 0{,}7fq_2 L$ $H_{г.б} = P_y$	$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н}$ $H_{г.о} = P_x + fq_2 L$ $H_{г.б} = P_y$	$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н} +$ $+ fq_2 L + P_x$ $H_{г.б} = P_y$

Продолжение табл. 11.3

№ схем	Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы		
		для схем без задвижек или при открытых задвижках	при закрытых задвижках	
			лучевые схемы тепловых сетей	кольцевые схемы тепловых сетей при $D_1 \geqslant D_2$
16		при $t \leqslant 250°C$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + fq_2 L_2 - 0{,}7 (P_с + fq_1 L_1)$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + P_с + fq_1 L_1 - 0{,}7 fq_2 L_2$ при $t > 250°C$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + P_с + P_x + fq_1 L_1 - 0{,}7 fq_2 L_2$ $H_{г.о} = P_{раб} F_{с.н} + P_x + fq_2 L_2 - 0{,}7 (P_с + fq_1 L_1)$ $H_{г.б} = P_y$	$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н} + fq_1 L_1$ $H_{г.о} = P_x + fq_2 L_2$ $H_{г.б} = P_y$	$H_{г.о} = P_с + P_{раб} F_{с.н} + fq_1 L_1 + P_x + fq_2 L_2$ $H_{г.б} = P_y$
12		$H_{г.о} = P_к + fq_1 L_1 - 0{,}7 fq_2 L_2$ $H_{г.о} = P_к + fq_2 L_2 - 0{,}7 fq_1 L_1$ дополнительно при $t \leqslant 250°C$ $H_{г.о} = P_x + fq_2 L_2 - 0{,}7 (P_к + fq_1 L_1)$ $H_{г.о} = P_x + fq_1 L_1 - 0{,}7 (P_к + fq_2 L_2)$ дополнительно при $t > 250°C$ $H_{г.о} = P_x + fq_2 L_2 - 0{,}7 fq_1 L_1$ $H_{г.о} = P_x + fq_1 L_1 - 0{,}7 fq_2 L_2$ $H_{г.б} = P_y$	$H_{г.о} = P_к + fq_1 L_1$ $H_{г.о} = P_x + fq_2 L_2$ $H_{г.б} = P_y$	$H_{г.о} = P_к + P_x + fq_1 L_1 + fq_2 L_2$
18		$H_{г.о} = P_{x1} + fq_1 L_1 - 0{,}7 (P_{x2} + fq_2 L_2)$ $H_{г.о} = P_{x2} + fq_2 L_2 - 0{,}7 (P_{x1} + fq_1 L_1)$ $H_{г.о} = P_{x1} + fq_2 L_2 - 0{,}7 (P_{x2} + fq_1 L_1)$ $H_{г.о} = P_{x2} + fq_1 L_1 - 0{,}7 (P_{x1} + fq_2 L_2)$ для схемы 18 *а* $H_{г.б} = P_{y1} - 0{,}7 P_{y2}$ или $H_{г.б} = P_{y2} - 0{,}7 P_{y1}$ для схемы 18*б* $H_{г.б} = P_{y1} + P_{y2}$	$H_{г.о} = P_{x1} + fq_1 L_1$ $H_{г.о} = P_{x2} + fq_2 L_2$ $H_{г.б} = P_{y1}$ $H_{г.б} = P_{y2}$	$H_{г.о} = P_{x1} + P_{x2} + fq_1 L_1 + fq_2 L_2$ $H_{г.б} = P_{y1} + P_{y2}$
19		$H_{г.о} = P_x + fqL$ $H_{г.б} = P_y$	—	—

Продолжение табл. 11.3

№ схем	Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы		
		для схем без задвижек или при открытых задвижках	при закрытых задвижках	
			лучевые схемы тепловых сетей	кольцевые схемы тепловых сетей при $D_1 \geqslant D_2$
20		Неподвижная опора расположена по биссектрисе угла γ $\gamma_1 = \frac{180 - \gamma}{2}$		
		$H_{г.ох} = H_{г.о} \cos \gamma_1$ $H_{г.оу} = H_{г.б} =$ $= \left(H'_{г.о} + H''_{г.о}\right) \sin \gamma_1$	$H_{г.ох} = H'_{г.о} \cos \gamma_1$; $H_{г.оу} = H_{г.б} = H'_{г.о} \sin \gamma_1$ $H_{г.ох} = H''_{г.о} \cos \gamma_1$; $H_{г.оу} = H_{г.б} = H''_{г.о} \sin \gamma_1$	—
		Значения $H_{г.о}$ определяют по формулам для схем 1, 2, 3, 9, 13, 14 Значения $H'_{г.о}$ и $H''_{г.о}$ определяют по формулам для схем 4, 5, 10		
21		Неподвижная опора расположена по биссектрисе угла γ $\gamma_1 = \frac{180 - \gamma}{2}$		
		$H_{г.ох} = H_{г.о} \cos \gamma_1 \pm P_y \sin \gamma_1$ $H_{г.оу} = H_{г.б} = \left(H'_{г.о} + H''_{г.о}\right) \times$ $\times \sin \gamma_1 + P_y \cos \gamma_1$	$H_{г.ох} = H'_{г.о} \cos \gamma_1$; $H_{г.оу} = H_{г.б} = H'_{г.о} \sin \gamma_1$ $H_{г.ох} = H''_{г.о} \cos \gamma_1 \pm$ $\pm P_y \sin \gamma_1$; $H_{г.оу} = H_{г.б} =$ $= H''_{г.о} \sin \gamma_1 + P_y \cos \gamma_1$	—
		Значения $H_{г.о}$ определяют по формуле для схем 15, 16, 7 Значения $H'_{г.о}$ и $H''_{г.о}$ определяют по формулам для схем 4, 5, 10, 19		
22		Две неподвижные опоры расположены на каждом трубопроводе перпендикулярно оси трубы		
		$\left.\begin{matrix} H'_{г.о} \\ H''_{г.о} \end{matrix}\right\}$ определяют по формулам для схем 4, 5, 10		

Примечания: 1. При нескольких расчетных формулах для одной схемы (например, схема 13) определение величины горизонтальных нагрузок на неподвижную опору производят по всем приведенным формулам, а в качестве расчетной принимают большую из полученных нагрузок.

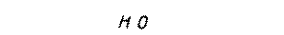
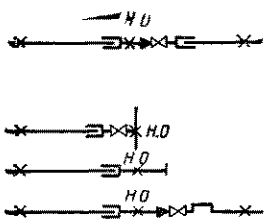
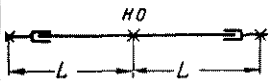
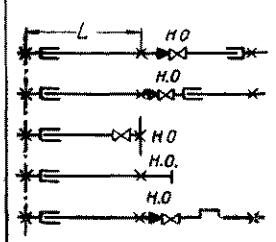
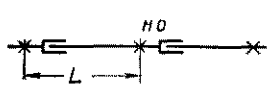
2. Для схем трубопроводов с задвижкой на рассчитываемом участке трубопровода в качестве расчетной горизонтальной нагрузки на неподвижную опору принимают большую из нагрузок, полученных при расчете схемы с открытой и закрытой задвижкой.

3. При составлении расчетных формул учитывалось, что П-образные компенсаторы выполнены с растяжкой на величину, указанную в главе 10, а участки трубопроводов с самокомпенсацией выполнены без предварительной растяжки.

4. Различие в расчетных формулах для $t \leqslant 250°C$ и $t > 250°C$ (например, схема 15) объясняется учетом явления релаксации при температуре стенки трубы больше 250°С (см. главу 10).

Таблица 114

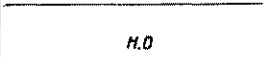
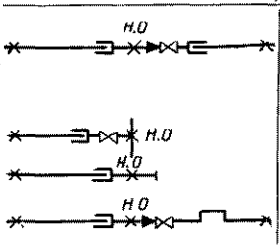
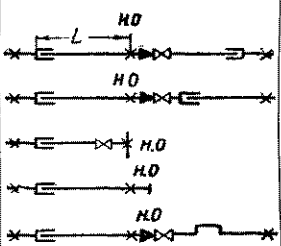
Горизонтальные нагрузки в *тс* на неподвижные опоры от одного трубопровода водяных тепловых сетей $P_{раб}=16$ *кгс/см²*, $t=150°$ С при надземной прокладке и объемном весе основного изоляционного слоя $\gamma_{из}=300$ *кгс/м³*

Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы для $H_{г.о}$ или $H_{г.б}$	L в *м* / Тип опор	Нагрузки при условном проходе D_y в *мм*														
			100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	$0{,}3\ P_c$	—	0,3	0,36	0,6	1,2	1,5	1,9	2,2	2,5	2,8	3,3	3,9	4,5	5,1	5,8	6,4
	$P_c+P_{раб}\times F_{с.н}$	—	2,4	3,3	5	10	13	19	24	30	37	45	62	79	100	124	150
	$0{,}3\ (P_c+fqL)$	L	70	70	80	80	100	100	120	140	140	140	160	160	160	160	160
		Катковые	—	—	—	1,5	2	2,6	3,1	3,7	4,2	5	6,5	7,7	9	10,7	13
		Скользящие	0,6	0,7	1,1	2	3	3,8	5	6	6,9	8,3	12	15	17	20	25
		L	50	50	60	60	80	80	100	110	110	110	130	130	130	130	130
		Катковые	—	—	—	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,7	6	7,1	8,3	9,7	12
		Скользящие	0,5	0,6	1	1,8	2,7	3,4	4,5	5,3	6,1	7,2	11	13	15	18	22
		L	30	30	40	40	60	60	80	80	80	80	100	100	100	100	100
		Катковые	—	—	—	1,3	1,8	2,3	2,8	3,2	3,6	4,3	5,6	5,5	7,6	8,8	11
		Скользящие	0,4	0,5	0,9	1,6	2,3	3	4	4,5	5,2	6,1	8,7	11	13	15	18
	$P_c+fqL+P_{раб}\times F_{с.н}$	L	70	70	80	80	100	100	120	140	140	140	160	160	160	160	160
		Катковые	—	—	—	11	15	21	27	35	42	51	71	90	113	141	170
		Скользящие	3,3	4,5	6,7	13	18	25	34	42	52	61	88	111	140	175	209
		L	50	50	60	60	80	80	100	110	110	110	130	130	130	130	130
		Катковые	—	—	—	11	15	20	27	34	41	49	69	88	112	140	166
		Скользящие	3,1	4,2	6,3	13	17	24	32	40	49	58	82	105	132	164	198
		L	30	30	40	40	60	60	80	80	80	80	100	100	100	100	100
		Катковые	—	—	—	11	14	20	26	33	40	48	67	85	108	134	163
		Скользящие	2,8	3,9	6	12	16	22	31	37	46	54	78	99	125	155	187
	$0{,}3\ P_c+fqL$	L	70	70	80	80	100	100	120	140	140	140	160	160	160	160	160
		Катковые	—	—	—	2,1	3,1	4	5,3	6,4	7,5	8,8	13	16	18	22	27
		Скользящие	1,3	1,6	2,3	3,9	6,3	8,1	11,4	14,3	17,6	20	30	37	45	54	66
		L	50	50	60	60	80	80	100	110	110	110	130	130	130	130	130
		Катковые	—	—	—	1,8	2,8	3,6	4,8	5,6	6,5	7,6	12	14	16	19	23
		Скользящие	1	1,2	1,9	3,2	5,4	6,9	10	12,3	14,6	17	25	31	37	45	55
		L	30	30	40	40	60	60	80	80	80	80	100	100	100	100	100
		Катковые	—	—	—	1,6	2,5	3,2	4,3	4,7	5,5	6,5	9,2	12	13	16	20
		Скользящие	0,7	0,9	1,5	2,5	4,4	5,6	8,4	9,2	11,6	13	20	25	30	36	44

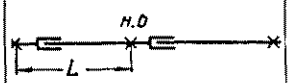
Примечание Для схем с задвижками горизонтальная осевая нагрузка на опору определена при закрытой задвижке и подаче теплоносителя с левой стороны

Таблица 11.5

Горизонтальные нагрузки в *тс* на неподвижные опоры от одного паропровода $P_{раб}=13$ *кгс/см²*, $t=300°$ С при надземной прокладке и объемном весе основного изоляционного слоя $\gamma_{из}=300$ *кгс/м³*

Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы для $H_{г.о}$ или $H_{г.б}$	*L* в *м* / Тип опор	Нагрузки при условном проходе D_y в *мм*														
			100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	$0{,}3\,P_c$	—	0,33	0,33	0,5	1	1,3	1,5	1,7	2	2,3	2,7	3,2	3,7	4,1	4,7	5,2
	$P_c+P_{раб}F_{с.н}$	—	2,1	2,8	4	8	12	15	20	24	30	37	50	64	82	101	120
	$0{,}3\,(P_c+fqL)$	*L*	50	50	60	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	1,2	1,6	1,8	2,1	2,5	2,9	3,3	3,9	4,7	5,1	5,9	6,6
		Скользящие	0,6	0,63	1	1,6	2	2,4	2,9	3,4	4	4,4	5,4	6,2	7,1	8,2	9,1
		L	40	40	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	60	60
		Катковые	—	—	—	1,2	1,5	1,8	2	2,3	2,8	3,1	3,7	4,4	4,9	5,6	6,2
		Скользящие	0,52	0,57	0,8	1,5	1,9	2,2	2,6	3	3,6	4	4,8	5,6	6,4	7,3	8,2
		L	30	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40
		Катковые	—	—	—	1,1	1,5	1,7	1,9	2,2	2,6	3	3,5	4,2	4,6	5,3	5,9
		Скользящие	0,48	0,51	0,7	1,3	1,7	1,9	2,3	2,7	3,2	3,6	4,3	5	5,6	6,4	7,2
	$P_c+fqL+P_{раб}F_{с.н}$	*L*	50	50	60	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	8,7	13	16	21	25	32	39	53	67	83	105	124
		Скользящие	3,1	3,8	5,5	10	14	18	24	28	35	43	58	72	92	113	133
		L	40	40	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	60	60
		Катковые	—	—	—	8,5	13	16	21	25	31	38	52	66	84	104	123
		Скользящие	2,8	3,6	5,1	9,7	14	18	23	27	34	41	56	70	89	110	130
		L	30	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40
		Катковые	—	—	—	8,4	12	16	21	24	31	38	52	65	83	103	122
		Скользящие	2,6	3,4	4,7	9	13	17	22	26	33	40	54	68	87	107	126

Продолжение табл. 11.5

Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы для $H_{г.о}$ или $H_{г.б}$	L в *мм* / Тип опор	Нагрузки при условном проходе $D_у$ в *мм*													
			100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	$0{,}3\ P_с + fqL$	L	50	50	60	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	1,7	2,2	2,5	3	3,5	4,1	4,6	5,7	6,4	7,4	8,5	10
		Скользящие	1,14	1,3	2	3,1	3,8	4,5	5,4	6,6	7,6	8,4	11	12	14	16	19
		L	40	40	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60	60	60	60
		Катковые	—	—	—	1,5	2	2,3	2,7	3,2	3,7	4,1	5	5,8	6,6	7,6	8,5
		Скользящие	1	1,1	1,6	2,6	3,2	3,7	4,5	5,4	6,3	7	8,6	10	12	13	15
		L	30	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40
		Катковые	—	—	—	1,4	1,8	2	2,4	2,7	3,2	3,6	4,3	5,1	5,8	6,6	7,4
		Скользящие	0,82	0,93	1,2	2,1	2,6	3	3,6	4,3	5	5,5	6,8	7,8	9,1	11	12

Примечание. Для схем с задвижками горизонтальная осевая нагрузка на опору определена при закрытой задвижке и подач теплоносителя с левой стороны.

В последнем случае расчет производят без учета противодействия участка, расположенного по другую сторону арматуры, исходя из условия возможности подачи теплоносителя с одной или с другой стороны.

Противодействие участка, расположенного по другую сторону арматуры, следует учитывать только для

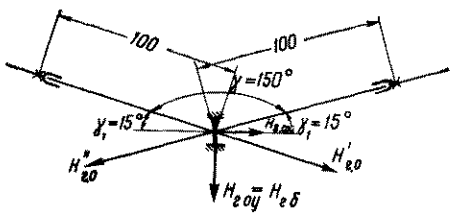


Рис. 11.6. Схема расчетного участка

кольцевых схем, когда может происходить прогрев участка трубопровода по одну сторону арматуры и одновременно охлаждение участка по другую сторону, т. е. в том случае, когда силы, действующие на неподвижную опору обоих участков, суммируются.

Боковые горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов от ответвлений определяют по оси трубопровода ответвления, как для концевой опоры.

Для наиболее распространенных случаев схем трубопроводов составлены расчетные формулы для определения горизонтальных нагрузок, действующих на неподвижные опоры трубопроводов (табл. 11.3).

Для некоторых схем в табл. 11.4—11.7 даны величины горизонтальных нагрузок на неподвижные опоры для надземной прокладки тепловых сетей с параметрами теплоносителей:
пар $P_{раб}=13$ *кгс/см²*, $t=300°$ С и вода $P_{раб}=16$ *кгс/см²* и $t=150°$ С.

Пример 1. Определить горизонтальную осевую нагрузку, действующую на неподвижную опору трубопровода $D_н s=630\times\times7$ *мм*. Схема расчетного участка дана на рис. 11.6 Теплоноситель — вода $P_{раб}=16$ *кгс/см²*. Прокладка в непроходном канале. Опоры скользящие. Вес 1 *м* трубопровода с водой и изоляционной конструкцией $q=523$ *кгс/м*. Угол $\gamma=150°$. Неподвижная опора расположена по биссектрисе угла.

Решение. Расчетные формулы принимают по схеме 20 табл. 11.3. Значение $H'_{г.о}$ и $H''_{г.о}$ определяют по формуле для схемы 5:

$$H'_{г.о}=H''_{г.о}=P_с+fqL+P_{раб}F_{с.н}\ mc;$$

$P_с=13$ *тс* по графику рис. 11.1,
$fqL=523\cdot0{,}3\cdot100=15\,700$ *кгс*, или примерно 16 *тс*;
$P_{в.д}=P_{раб}F_{с.н}=48{,}6$ *тс* по графику рис. 11.3.

Таким образом, $H'_{г.о}=H''_{г.о}=13+49+16=78$ *тс* Определяем величину $H_{г.о}$ по формуле для схемы 2

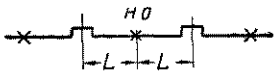
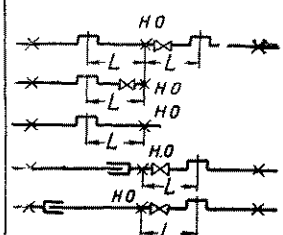
$$H_{г.о}=0{,}3\ (P_с+fqL)=0{,}3\ (13+16)=8{,}7\ mc.$$

Определяем составляющие силы, действующие вдоль оси неподвижной опоры ($H_{г.ох}$) и перпендикулярно ей ($H_{г.оу}$):

$$H_{г.ох}=H_{г.о}\cos\gamma_1=8{,}7\cos15°=8{,}4\ mc;$$

$$H_{г.оу}=\left(H'_{г.о}+H''_{г.о}\right)\sin\gamma_1=(78+78)\sin15°=41\ mc.$$

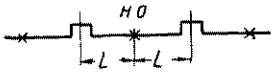
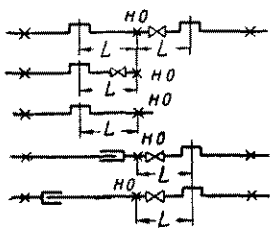
Горизонтальные нагрузки в *тс* на неподвижные опоры от одного трубопровода водяных тепловых сетей $P_{раб}=16$ *кгс/см²*; $t=150°$ С при надземной прокладке и объемном весе основного изоляционного слоя $\gamma_{из}=300$ *кгс/м³*

Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы для $H_{г.о}$ и $H_{г.б}$	*L* в *м* / Тип опор	Нагрузки при условном проходе D_y в *мм*																					
			32	40	50	70	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	$0{,}3(P_к+fqL)$	*L*	25	30	30	35	40	40	45	50	50	60	60	60	70	80	80	90	100	100	100	100	100
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,3	1,6	2,4	3	3,8	4,8	6
		Скользящие	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	2,5	2,9	3,7	5,6	6,8	7,5	11	13
		L	20	25	25	30	30	30	35	40	40	50	50	50	55	65	65	70	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,5	0,8	1	1,2	1,4	1,4	2,2	2,7	3,5	4,3	5,4
		Скользящие	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	1,9	2,1	2,5	3	4,7	5,8	7,4	9,2	11
		L	15	20	20	20	20	20	25	30	30	40	40	40	40	50	50	50	60	60	60	60	60
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,5	0,8	1	1	1,1	1,3	2	2,4	3,2	4	5,1
		Скользящие	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,2	1,6	1,8	2,1	2,5	3,9	4,8	6,2	7,7	9,5
	$P_к+fqL$	*L*	25	30	30	35	40	40	45	50	50	60	60	60	70	80	80	90	100	100	100	100	100
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3	1,9	2,6	3,6	3,7	4,4	5,3	8	9,8	13	16	20
		Скользящие	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,4	1,8	2,7	3,8	5,1	7,3	8,2	9,7	12	19	23	25	36	44
		L	20	25	25	30	30	30	35	40	40	50	50	50	55	65	65	70	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3	1,8	2,5	3,5	3,4	4	4,7	7,2	8,8	12	14	18
		Скользящие	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	2,4	3,4	4,6	6,3	7,1	8,3	10	16	19	25	31	38
		L	15	20	20	20	20	20	25	30	30	40	40	40	40	50	50	50	60	60	60	60	60
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	1,8	2,5	3,4	3,2	3,8	4,3	6,6	8	11	13	17
		Скользящие	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,7	1	1,4	2,1	3,1	4,2	5,5	6	7,1	8,2	13	16	21	26	32

Примечание. Для схем с задвижками осевая нагрузка на опору определена при закрытой задвижке и подаче теплоносителя с правой стороны.

Таблица 11.7

Горизонтальные нагрузки в *тс* на неподвижные опоры от одного паропровода $P_{раб}=13$ *кгс/см²*, $t=300°$ С при надземной прокладке и объемном весе основного изоляционного слоя $\gamma_{из}=300$ *кгс/м³*

Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы для $H_{г.о}$ и $H_{г.б}$	*L* в *м* / Тип опор	Нагрузки при условном проходе $D_у$ в *мм*																					
			25	32	40	50	70	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	$0{,}3\ (P_к+fqL)$	*L*	25	25	30	30	35	40	40	45	45	50	50	50	60	60	70	70	80	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	1	1,4	1,6	2,1	2,6	3,2
		Скользящие	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,6	1,8	2,2	2,9	3,2	4,1	4,9	5,8
		L	20	20	25	25	30	30	30	35	35	40	40	40	50	50	55	55	65	65	65	65	65	65
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	0,4	0,6	0,8	0,7	0,9	1	1,3	1,5	2	2,5	3,1
		Скользящие	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4	1,3	1,6	1,9	2,5	2,9	3,6	4,4	5,3
		L	15	15	20	20	20	20	20	25	25	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	0,4	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9	1,3	1,5	2	2,5	3,1
		Скользящие	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	1	1,3	1,1	1,3	1,6	2,2	2,5	3,2	3,9	4,7
	$P_к+fqL$	*L*	25	25	30	30	35	40	40	45	45	50	50	50	60	60	70	70	80	80	80	80	80	80
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1,5	2	2,7	2,5	2,9	3,4	4,7	5,4	7	8,7	11
		Скользящие	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,3	1,7	2,2	2,9	4	5,1	5,3	6	7,2	10	11	14	16	19
		L	20	20	25	25	30	30	30	35	35	40	40	40	50	50	55	55	65	65	65	65	65	65
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	,1	1,4	2	2,6	2,3	2,8	3,2	4,5	5,1	6,7	8,3	10
		Скользящие	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,1	1,4	1,9	2,5	3,6	4,6	4,4	5,3	6,3	8,4	9,5	12	15	18
		L	15	15	20	20	20	20	20	25	25	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50
		Катковые	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1,3	1,9	2,6	2,3	2,6	2,9	4,3	5	6,6	8,3	10
		Скользящие	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,6	2,2	3,3	4,2	3,8	4,4	5,4	7,4	8,4	11	13	16

Примечание. Для схем с задвижками горизонтальная осевая нагрузка на опору определена при закрытой задвижке и подаче теплоносителя с правой стороны.

РАЗДЕЛ III

ПРОКЛАДКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕИ

ГЛАВА 12

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОКЛАДКИ

12.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для тепловых сетей применяются следующие основные способы прокладки:

подземная прокладка — бесканальная; в непроходных каналах; в полупроходных каналах; в тоннелях (проходных каналах); в общих коллекторах совместно с другими коммуникациями; в технических коридорах подвалов и технических подпольях зданий;

надземная прокладка — на эстакадах с пролетным строением или на отдельно стоящих высоких опорах (мачтах); на низких опорах (столбиках, шпалах и др.); по стенам внутри или снаружи зданий.

Для жилых районов городов и населенных мест, исходя из архитектурных соображений, применяется подземная прокладка тепловых сетей.

Надземная прокладка в жилых районах применяется как исключение в особо тяжелых грунтовых условиях (районы вечномерзлых грунтов, просаживающихся при оттаивании, незастроенные, заболоченные участки трассы и т. п.).

В табл. 12.1 и 12.2 даны примерные привязки при размещении двухтрубных водяных тепловых сетей в непроходных унифицированных каналах типовой серии ИС-01-04 Госстроя СССР.

Этот тип прокладки может применяться в любых грунтовых условиях с устройством в зоне грунтовых вод попутного фильтрующего дренажа или оклеечной гидроизоляции.

Бесканальная прокладка применяется для теплоносителя с температурой не более 180° С и лишь при хороших грунтовых условиях.

Запрещается применение бесканальной прокладки в сейсмических районах при 7 баллах и выше, в просадочных и вечномерзлых грунтах, а также в районах горных выработок.

Размещение двухтрубных водяных тепловых сетей в поперечном сечении при бесканальной прокладке в оболочках из автоклавного пенобетона см. в главе 15.

Прокладка в полупроходных каналах применяется в городах на отдельных участках трассы в основном при пересечении площадей и проездов с интенсивным движением или с усовершенствованными мостовыми. По условиям эксплуатации полупроходные каналы приравниваются к непроходным. Обслуживающий персонал допускается в полупроходные каналы только в том случае, когда трубопровод не работает.

В жилых районах в проходных каналах-тоннелях тепловые сети, как правило, не прокладываются. Совместная прокладка тепловых сетей с другими инженерными сетями в общих проходных тоннелях-коллекторах находит применение в крупных городах при реконструкции существующих и строительстве новых магистральных проездов (рис. 12.1) и в некоторых случаях — для крупных жилых районов нового строительства.

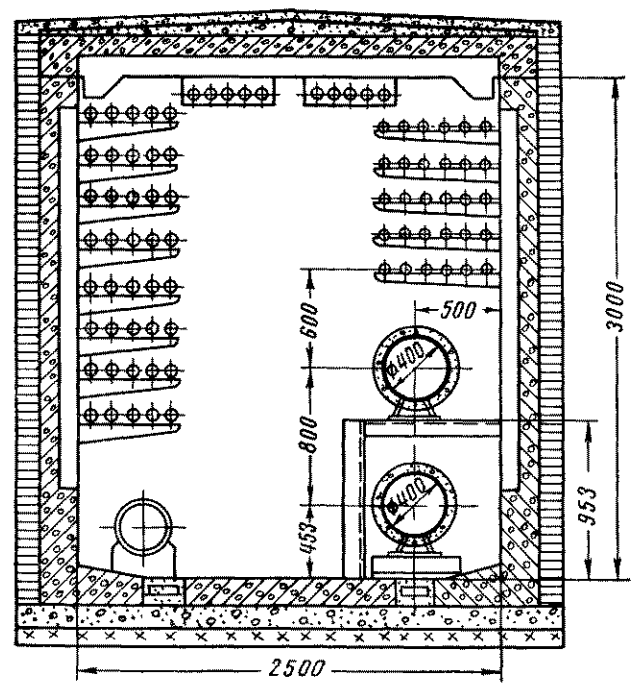


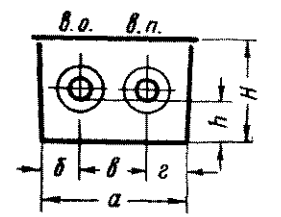
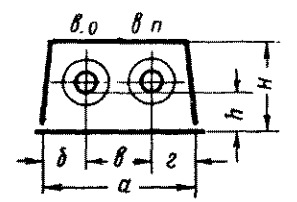
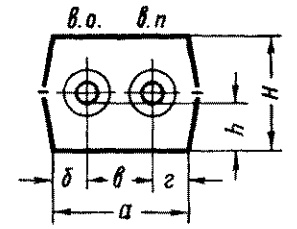
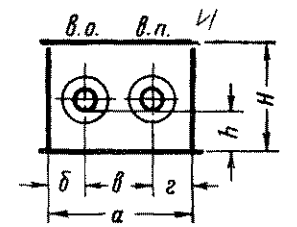
Рис. 12.1. Совместная прокладка тепловых сетей с другими городскими инженерными сетями в общих коллекторах

Кроме тепловых сетей в коллекторах прокладывают сети водопровода, кабели связи, силовые и осветительные кабели напряжением до 35 *кв* и ливневую канализацию.

Для распределительных водяных тепловых сетей диаметром 300 *мм* и ниже допускается прокладка в технических коридорах или технических подпольях жилых и общественных зданий, если при этом не увеличивается длина трассы и строительство тепловых сетей осуществляется одновременно со строительством зданий. Про-

Таблица 12.1

Размещение двухтрубных водяных тепловых сетей в непроходных одноячейковых каналах

Трубы D_y в мм	Марка канала	Одноячейковый канал, размеры в мм						Эскиз
		а	б	в	г	h	H	
25	КЛ60-45	600	175	250	175	196	460	
32	КЛ60-45	600	175	250	175	196	460	
40	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
50	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
70	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
80	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
100	КЛ90-45	900	225	450	225	196	460	
125	КЛ90-45	900	225	450	225	196	460	
150	КЛ90-45	900	225	450	225	196	460	
175*	КЛ120-60	1200	340	600	340	196	590	
200*	КЛ120-60	1200	340	600	340	196	590	
250*	КЛ120-60	1200	340	600	340	196	590	
175	КЛс150-90	1500	450	600	450	196	830	
200	КЛс150-90	1500	450	600	450	196	830	
250	КЛс150-90	1500	450	600	450	196	830	
300	КЛс150-90	1500	400	700	400	246	830	
350	КЛс150-90	1500	400	700	400	246	830	
400	КС210-90	2100	550	1000	550	246	900	
500	КС210-90	2100	550	1000	550	246	900	

* Только для непросадочных грунтов.

кладка под существующими зданиями допускается при условии выделения в подвале здания специального технического коридора с самостоятельными выходами на поверхность.

На территории промышленных предприятий допускается прокладка тепловых сетей снаружи или внутри зданий, если при этом не нарушаются условия техники безопасности и нормы освещенности и не требуется усиление строительных конструкций последних.

Надземной прокладке отдают преимущество, если на предприятии принята надземная прокладка технологических трубопроводов и имеется техническая возможность совместной прокладки всех трубопроводов на общих эстакадах или высоких опорах.

Надземную прокладку рекомендуется применять при плохих гидрогеологических условиях (высокий уровень грунтовых вод, просадочные грунты и т. п.).

Для паропроводов с давлением пара $P \geqslant 22$ *кГ/см²*, как правило, применяется только надземная прокладка на эстакадах или высоких опорах.

Подземную прокладку тепловых сетей на промышленных предприятиях применяют при хороших гидрогеологических условиях и при небольшом количестве прокладываемых труб (2—4). На головном участке трассы, где количество трубопроводов и их диаметры возрастают, может оказаться целесообразным строительство проходного канала (тоннеля).

Не допускается прокладка тепловых сетей в непро-

Таблица 12.2

Размещение двухтрубных водяных тепловых сетей в непроходных двухячейковых каналах

Диаметр трубопровода D_y в *мм*	Марка канала	Двухячейковый канал, размеры в *мм*						Эскиз
		а	*б*	*в*	*г*	*h*	*H*	
175	2КЛс60-60	600	260	860	100	196	590	
200	2КЛс60-60	600	260	860	100	196	590	
250	2КЛс60-60	600	260	860	100	196	590	
400	2КЛс90-90	900	260	1160	100	246	910	
500	2КЛс90-90	900	260	1160	100	246	910	
600	2КЛс120-120	1200	300	1500	100	246	1170	
700	2КЛс120-120	1200	300	1500	100	246	1170	
600	2КС120-120	1270	160	1430	—	246	1200	
700	2КС120-120	1270	160	1430	—	246	1200	
800	2КС120-120	1270	160	1430	—	246	1200	
900	2КС150-150	1570	160	1730	—	296	1500	
1000	2КС150-150	1570	160	1730	—	296	1500	
1200	2КС180-180	1800	160	1960	—	301	1800	

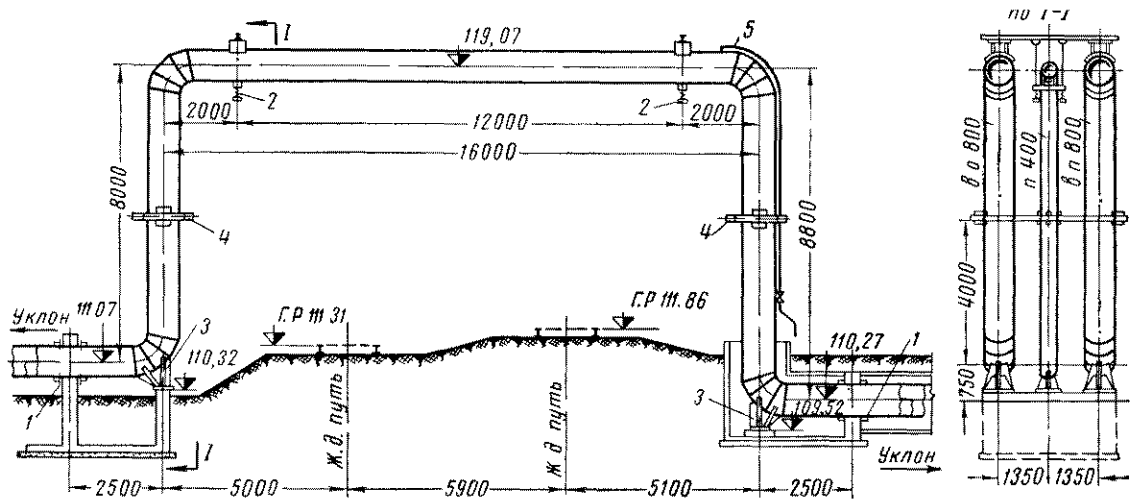


Рис. 12.2. Пересечение железнодорожных путей теплопроводами без применения специальных высоких опор

1 — неподвижные опоры; *2* — подвесные пружинные опоры; *3* — подпятники; *4* — рамы жесткости; *5* — трубка для выпуска воздуха (изолируются вместе с основными трубами); *г.р.* — головки рельсов; *в.п.* — водовод подающий, *в.о.* — водовод обратный; *п* — паропровод

ходных каналах или тоннелях предприятий совместно с кислородопроводами, с трубопроводами сжатого воздуха давлением выше 16 *кГ/см²*, с трубопроводами легковоспламеняющихся и ядовитых жидкостей, а также с силовыми и осветительными кабелями и трубопроводами фекальной и ливневой канализации.

По незастроенной территории промышленных районов, городов и поселков (разрывы между предприятиями и жилыми массивами, районы, не подлежащие застройке по грунтовым условиям, рельефу местности и т. п.), как правило, применяют надземную прокладку на низких опорах (столбиках или шпалах). Высокие опоры и эстакады в этом случае используют при большом количестве пересечений с автодорогами и с железнодорожными путями.

При небольшом количестве железнодорожных путей пересечение последних теплопроводами допускают без применения специальных высоких опор (рис. 12.2).

В районах горных выработок применяют прокладку тепловых сетей только на низких опорах.

Способ прокладки в вечномерзлых грунтах зависит в основном от характера грунтов и влияния на них теп-

ловыделений трубопроводов тепловых сетей. Если на глубине оттаивания при подземной прокладке тепловых сетей залегают непросадочные грунты (скальные, скелетные и др.), применяются те же способы прокладки, что и вне районов вечной мерзлоты.

Если трасса тепловых сетей проходит по территории застройки, где все здания строятся с учетом сохранения вечной мерзлоты, то применяют надземную прокладку на эстакаде, низких или высоких опорах, по чердакам зданий, по проветриваемым подпольям на высоте, которая не нарушает вечную мерзлоту.

В виде исключения применяют и подземный способ прокладки в непроходных каналах или в проходных тоннелях. В этом случае непроходные каналы и тоннели должны быть обеспечены вентиляцией с подачей холодного воздуха в количестве, исключающем оттаивание грунта или сводящем это оттаивание к минимуму.

Заглубление каналов и тоннелей принимается минимальным, и там, где это возможно по местным условиям, перекрытие каналов выступает над поверхностью земли.

Вводы в здания в районах вечномерзлых грунтов во всех случаях выполняются надземными. При подземной прокладке трубы на ответвлении к зданиям на расстоянии 6—10 *м* от ввода выводятся из каналов на отметку пола первого этажа и прокладываются на этом участке на низких опорах.

12.2. ТРАССА И ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Трасса тепловых сетей выбирается параллельно оси проезда или линии застройки в соответствии с требованиями СНиП II-К.1-62; СНиП II-К.3-62; СНиП II-К.2-62; СНиП II-М.1-62.

Не рекомендуется прокладывать тепловые сети в одном проезде параллельно с трамвайными путями и отсасывающими кабелями постоянного тока, а также в полосе отчуждения параллельно железной дороге и в запретной зоне промышленных предприятий (СНиП II-Г.10-62).

Следует также избегать пересечений и сближений тепловой сети с рельсовыми путями электрифицированного (на постоянном токе) транспорта, а также с другими источниками блуждающих токов, если это не приводит к существенному увеличению длины трассы.

В пределах проездов трасса тепловых сетей намечается, как правило, под полосами зеленых насаждений, под тротуарами, а при невозможности такого размещения — под проезжей частью в крайних полосах.

При стесненности проездов и насыщенности их большим количеством подземных коммуникаций трасса тепловых сетей намечается как исключение по территории кварталов.

При выборе трассы тепловых сетей по территории промышленных предприятий учитывается возможность совместной прокладки тепловых сетей с различными технологическими коммуникациями в общих строительных конструкциях.

По незастроенной территории трассу тепловых сетей выбирают по возможности вдоль дорог, избегая пересечения рек, оврагов и заболоченных мест.

По пойменной территории рек рекомендуется трассу тепловых сетей принимать только при наличии искусственных сооружений, которые могут быть использованы для прокладки тепловых сетей. Самостоятельная прокладка тепловых сетей по пойменной территории, как правило, не применяется.

Таблица 12.3

Минимальные расстояния в плане и по вертикали в свету от конструкций тепловых сетей до инженерных сетей и прочих сооружений

Наименование расстояний	Минимальные расстояния в свету в *м*	
	в плане	по вертикали
При подземной прокладке тепловых сетей		
До ближайшего трамвайного рельса	2	—
До ближайшего рельса электрифицированной железной дороги	10	—
До оси ближайшего железнодорожного пути (но не менее чем на глубину траншеи тепловой сети до подошвы насыпи пути)	4	—
До стрелок, крестовин и мест присоединения к рельсам электрифицированных железных дорог (при их пересечении):		
трамвайные и железнодорожные пути	3	—
электрифицированные железные дороги	10	—
До подошвы рельса трамвайных и железных дорог	—	1
До бордюрного камня автомобильной дороги	1,5	—
До наружной бровки кювета или подошвы насыпи автомобильной дороги	1	—
До дорожного покрытия автомобильной дороги:		
для каналов, тоннелей и конструкций бесканальной прокладки тепловых сетей	—	0,5
для камер	—	0,3
При отсутствии дорожного покрытия:		
для каналов и тоннелей и конструкций бесканальной прокладки тепловых сетей	—	0,7
для камер	—	0,5
До обреза фундаментов зданий и сооружений:		
при прокладке на уровне или выше оснований	2	—
то же, в вечномерзлых грунтах	6	—
при прокладке ниже оснований фундаментов в зависимости от глубины заложения тепловых сетей и фундаментов с учетом естественного откоса грунта, но не менее	5	—
то же, в вечномерзлых грунтах	10	—
До подошвы фундаментов зданий и сооружений (от дна канала или тоннеля тепловой сети)	—	0,5
До обреза фундаментов опор технологических трубопроводов или мачт наружного освещения и сети связи:		
при прокладке на уровне или выше оснований	1	—
то же, для опор путепроводов	2	—
то же, для столбов наружного освещения или сети связи*	1	—
До кабелей связи	2	0,5
До бронированного телефонного кабеля	1	0,5
До бронированного телефонного кабеля в трубах или до блока телефонной канализации	1	0,15
До электрокабелей напряжением не свыше 35 *кв*	2	0,5
То же, напряжением до 220 *кв*	2	1
До газопровода давлением не свыше 6 *кГ/см²*	2	0,2
То же, давлением 6—12 *кГ/см²*	4	0,2
До водопровода (но не менее разницы в глубине заложения)	1,5	0,2
До водостоков	1	0,2
До канализации	1	0,2
То же, для открытых систем тепловых сетей и отдельных трубопроводов горячего водоснабжения при прокладке на уровне или выше канализации при диаметре тепловых сетей:		
меньше 200 *мм*	1,5	0,4
больше 200 *мм*	3	0,4

Продолжение табл. 12.3

Наименование расстояний	Минимальные расстояния в свету в *м*	
	в плане	по вертикали
До канализации при прокладке ниже канализации независимо от диаметра	5	Не рекомендуется
До оси дерева с кроной не более 5 *м* в диаметре	2	—
До кустарника	1	—
До кладбищ, свалки, скотомогильников, для открытых систем тепловых сетей или отдельных трубопроводов горячего водоснабжения	10	—
То же, при наличии на уровне прокладки тепловых сетей грунтовых вод с движением потока в сторону тепловых сетей	30	—
До уборных, выгребных и помойных ям, для открытых систем тепловых сетей или отдельных трубопроводов горячего водоснабжения	7	—
То же, при наличии на уровне прокладки тепловых сетей грунтовых вод с движением потока в сторону тепловых сетей	10	—
При надземной прокладке тепловых сетей		
До железных дорог широкой колеи: до оси ближайшего пути	3,1	—
» головки рельса	—	6,4
То же, электрифицированных дорог	—	7
До железных дорог узкой колеи: до оси ближайшего пути	2,4	—
» головки рельса	—	4,4
До трамвайных путей: до оси ближайшего пути	2,8	—
» головки рельса	—	4,5
До автомобильных дорог: до грани бордюрного камня или внешней бровки кювета	0,5	—
до одежды проезжей части	—	4,5
До пешеходных дорог и проходов	—	2
До поверхности земли при прокладке на низких опорах при ширине ряда труб: до 1,5 *м*	—	0,35
более 1,5 *м*	—	0,5
До проводов троллейбуса (ниже тепловых сетей)	—	0,2
До оси дерева с кроной не более 3 *м* в диаметре	2	—
До проводов линий электропередач в плане при наибольшем их отклонении и по вертикали при наибольшей стреле провеса от любой части конструкций тепловых сетей, включая лестницы, площадки, ограждения и пр. при напряжении до:		
20 *кв*	3	3
35—110 *кв*	4	4
150 »	4,5	4,5
220 »	5	5
330 »	6	6
500 »	6,5	6,5

* При прокладке ниже оснований фундаментов опор или мачт расстояния увеличиваются на разницу в глубине заложения.

Примечания: 1. Уменьшение норм приближения допускается только в стесненных условиях при специальном обосновании и согласовании с соответствующими организациями.

2. При уменьшении норм приближения к обрезу фундаментов должны быть приняты меры, исключающие возможность нарушения устойчивости сооружений.

3. Уменьшение норм приближения для открытых тепловых сетей и отдельных систем горячего водоснабжения должно быть согласовано с органами санитарного надзора.

При выборе трассы тепловых сетей пересечения рек, оврагов, железных дорог, трамвайных путей, автомагистралей и проездов должны предусматриваться под прямым углом или в исключительных случаях под углом, близким к прямому, но не менее 45°.

Трасса тепловых сетей должна проектироваться с учетом возможной прокладки в проездах других подземных коммуникаций (газопроводов, электрокабелей, водопровода, канализации, ливнестоков и пр.) при рациональном взаимном расположении.

Ширина полосы для тепловых сетей при подземной прокладке определяется внешними габаритами узлов и камер. Ниши могут размещаться над другими коммуникациями. Габариты ниш ограничивают приближение трассы к зданиям.

Ширина полосы при надземной прокладке на низких опорах определяется шириной траверсы опор и вылетом гибких компенсаторов. При надземной прокладке на эстакадах и высоких опорах гибкие компенсаторы могут быть размещены над проездами и железнодорожными путями. Вылеты компенсаторов при этом ограничивают приближение трассы к зданиям.

Расстояния в плане и по вертикали от конструкций тепловых сетей до параллельно расположенных или пересекаемых зданий, сооружений, дорог и других инженерных сетей должны быть в свету не менее указанных в табл. 12.3.

При подземной прокладке пересечения тепловых сетей с канализацией, водостоками, газопроводом и кабелем связи могут выполняться под этими сетями или над ними.

При прокладке над другими сетями проверяется необходимость их защиты от передачи вертикальной нагрузки, при прокладке под ними предусматривают устройства, предохраняющие их от возможных повреждений. В особо стесненных условиях допускается при пересечении пропускать водопровод, канализацию, водосток и газопровод с давлением до 6 *кГ/см²* через каналы или камеры тепловых сетей в футляре из стальных труб, концы которых должны быть выведены на 2 *м* в обе стороны за пределы пересекаемых конструкций.

Тепловыми сетями пересечение электрокабелей, как правило, производится под ними.

Указанные в табл. 12.3 нормы приближений тепловых сетей при подземной прокладке к электрокабелям приняты исходя из условий, что при пересечении на всем протяжении сближения 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.

При параллельной прокладке температура грунта в месте прокладки электрокабеля в любое время года не должна повышаться более чем на 10° С для кабельных линий напряжением до 10 *кв* и 5° С — для линий напряжением 35—220 *кв*.

Допускается уменьшение норм приближения, если не превышаются указанные пределы повышения температуры грунта по сравнению с естественной температурой грунта в месте прокладки электрокабеля.

В случае усиления тепловой изоляции тепловых сетей не обеспечиваются необходимые нормы повышения температуры грунта и в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» допускается выполнение одного из следующих мероприятий: заглубление кабелей до 0,5 *м* вместо 0,7; применение кабельных вставок большего сечения; прокладка кабелей под тепловыми сетями в трубах, на расстоянии в свету от конструкций тепловых сетей не менее чем на 0,5 *м*; при этом трубы должны быть уложены таким образом, чтобы замена ка-

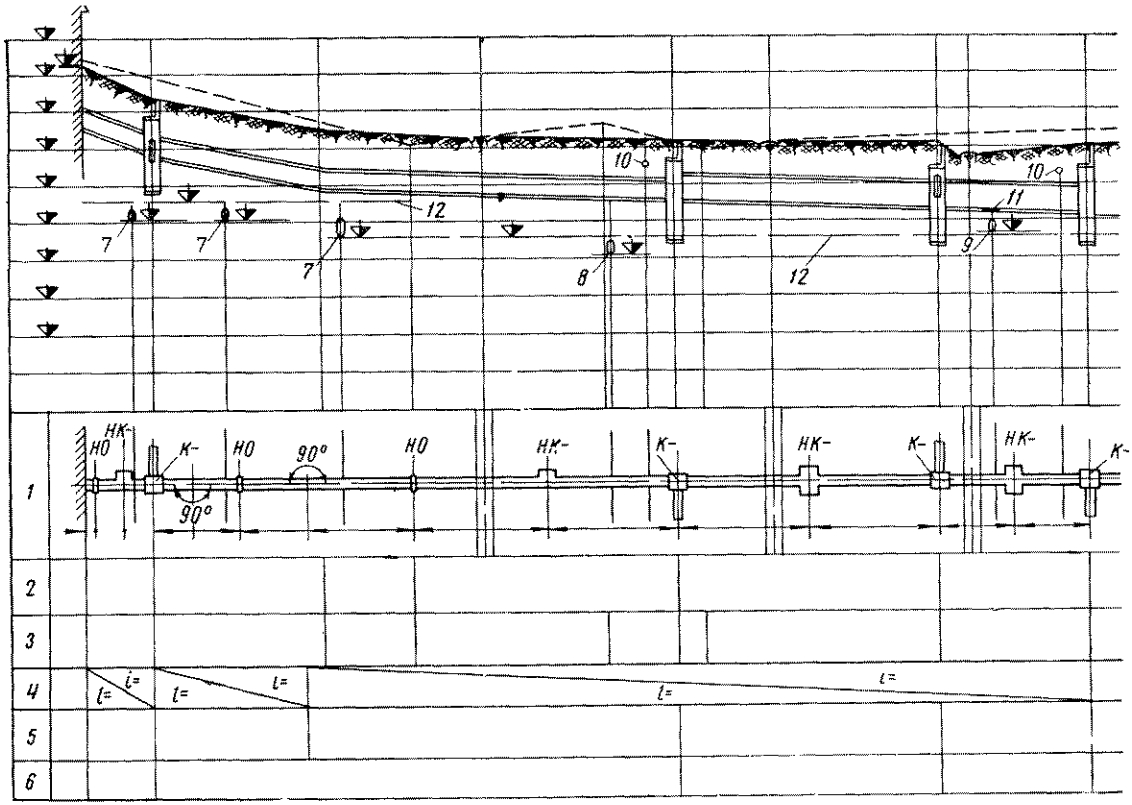


Рис. 12.3 Продольный профиль тепловой сети при подземной прокладке в непроходных каналах

1 — план трассы; *2* — планировочные отметки земли; *3* — черные отметки земли; *4* — уклоны (*i*) и расстояния (*l*); *5* — отметки дна канала; *6* — тип канала; *7* — водосток; *8* — канализация; *9* — водопровод; *10* — электрокабель; *11* — разгрузочное устройство; *12* — максимальный уровень грунтовых вод; *К* — камера №; *НК* — ниша компенсаторная; *НО* — неподвижная опора

белей могла быть выполнена без необходимости производства земляных работ.

Выбранное направление трассы тепловых сетей с учетом норм приближения к сооружениям и коммуникациям наносится на план геодезической съемки с сетями подземных коммуникаций с привязкой основных направлений к существующим зданиям и сооружениям.

По трассе тепловых сетей строится продольный профиль на основе проекта вертикальной планировки (организации рельефа) и натурной съемки, полученной в результате нивелировки трассы.

На продольный профиль теплопроводов кроме планировочных и черных отметок земли наносятся уровень стояния грунтовых и поверхностных вод, отметки полов зданий, подключаемых к тепловым сетям, отметки головок рельс, пересекаемых железнодорожных путей и трамвая, существующие и проектируемые подземные коммуникации и прочие сооружения, пересекаемые тепловыми сетями, с простановкой их отметок. Отметки даются в абсолютном исчислении.

На рис. 12 3 показан пример продольного профиля тепловой сети при подземной прокладке в непроходных каналах.

Если тепловые сети проектируются с попутным фильтрующим трубчатым дренажом, он должен быть отражен в плане и в профиле трассы.

Глубина заложения тепловых сетей при их подземной прокладке от дневной поверхности в свету принимается не менее:

До верха перекрытий каналов, тоннелей и конструкции бесканальной прокладки при дорожном покрытии	0,5 *м*
При отсутствии дорожного покрытия	0,7 »
До верха перекрытия камер и узлов в проходных тоннелях при наличии дорожного покрытия	0,3 »
При отсутствии дорожного покрытия	0,5 »

Допускается сооружение камер и узлов проходных тоннелей в непроезжих местах выступающими над поверхностью земли на высоту не менее 0,4 *м*.

Высота надземной прокладки теплопроводов на низких опорах от дневной поверхности до низа изоляционной конструкции трубопроводов должна быть в свету не менее 0,5 *м*, в отдельных случаях допускается уменьшение этого расстояния до 0,35 *м*. В местах установки арматуры и оборудования должны устраиваться асфальтовые или бетонные площадки с расстоянием в свету между полом площадки и низом оборудования не менее 0,5 *м*.

При построении продольного профиля минимальный уклон тепловых сетей принимают:

При подземной прокладке при отсутствии грунтовых вод и при надземной прокладке	0,002

При подземной прокладке в зоне грунтовых вод с попутным фильтрующим дренажом—в глинистых грунтах 0,002
В песчаных грунтах 0,003
При подземной прокладке в вечномерзлых грунтах . . . . . 0,005—0,01
При подземной прокладке в просадочных грунтах на ответвлениях к зданиям (от здания к камере ответвления) 0,02

При прокладке тепловых сетей через мосты и виадуки на коротких участках трассы допускается прокладка без уклона.

При подземной прокладке уклон ответвлений к отдельным зданиям (вводы) целесообразно принимать по направлению к камере тепловой сети. Для просадочных грунтов это условие является обязательным Если отметка узла ответвления выше отметки ввода в здание, перед вводом в здание на расстоянии не менее 5 *м* от него на ответвлении предусматривается дополнительная камера с устройством уклона канала от здания к камере

Отметка дна канала на вводе в здание принимается выше отметки подошвы фундамента на величину не менее чем на 500 *мм*.

При надземной прокладке уклон ответвлений выполняется, как правило, по направлению к зданию.

Низшие точки по трассе тепловых сетей по возможности следует размещать в таких местах, где можно осуществить самотечный отвод воды из трубопроводов, каналов и камер и из систем попутного дренажа в ливневую канализацию, в водоемы и поглощающие колодцы.

Как исключение допускается отвод воды в фекальную канализацию с установкой гидрозатвора на самотечном трубопроводе, отводящем воду из приямка камеры в канализацию. В случае возможности обратного тока воды устанавливается дополнительно отключающий клапан.

Возможность отвода воды в водоемы общественного пользования определяется санитарными правилами.

Отвод воды в поглощающие колодцы или поглощающие приямки камер и тоннелей может осуществляться только при хорошо фильтрующих грунтах и при отсутствии грунтовых вод по согласованию с органами санитарного надзора. При невозможности отвода воды самотеком устанавливают постоянные дренажные насосы с автоматической остановкой и пуском.

Откачка воды из трубопроводов тепловых сетей может производиться передвижными насосами.

12.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Минимальные расстояния между трубопроводами и ограждающими конструкциями в свету в непроходных каналах рекомендуется принимать не менее указанных в табл. 12.4.

Минимальные расстояния между трубопроводами и ограждающими конструкциями в свету в полупроходных каналах и тоннелях рекомендуется принимать не менее указанных в табл. 12.5.

Расстояния между трубами по вертикали в проходных и полупроходных каналах определяют с учетом высоты опоры, габаритов балки под опору верхнего трубопровода и толщины изоляции нижнего трубопровода. При этом расстояние в свету между поверхностями изоляции трубопроводов следует принимать по табл. 12 5.

При определении внутренних габаритов тоннелей и полупроходных каналов принимают: ширину прохода в свету не менее 0,5 *м* для полупроходных каналов и 0,7 *м* для проходных тоннелей; высоту канала в свету не менее 1,4 *м* для полупроходных каналов и 2 *м* для проходных тоннелей.

Таблица 12.4

Минимальные расстояния в свету между трубопроводами и строительными конструкциями непроходных каналов

Диаметр трубопровода D_y в *мм*	Минимальные расстояния в свету в *мм*			
	от поверхности изоляции до стенки канала	между поверхностями изоляции	от поверхности изоляции до перекрытия канала	от поверхности изоляции до дна канала
25—80	70	100	70	100
100—250	80	140	70	100
300—450	100	160	80	100
500—700	110	200	100	100
800—1200	120	—	100	100

Таблица 12.5

Минимальные расстояния в свету между трубопроводами и строительными конструкциями полупроходных каналов и тоннелей

Диаметр трубопроводов D_y в *мм*	Минимальные расстояния в свету в *мм*			
	от поверхности изоляции до стенки канала или тоннеля	между поверхностями изоляции по вертикали	от поверхности изоляции до перекрытия канала или тоннеля	от поверхности изоляции до дна канала или тоннеля
25—80	150	100	100	150
100—250	170	140	100	200
300—450	200	160	120	200
500—700	200	200	120	200
800—900	220	200	150	220
1000—1200	350	300	250	350

Расстояния между поверхностями изоляции труб в плане при надземной прокладке рекомендуется принимать не менее соответствующих расстояний указанных в табл. 12.4.

При определении расстояний между поверхностями изоляции трубопроводов и от поверхности изоляции до строительных конструкций на вылете (плечах) гибких компенсаторов учитывается предварительная растяжка компенсаторов и неодновременный прогрев смежных трубопроводов.

В поперечном сечении непроходных и полупроходных каналов все трубы располагаются в одном горизонтальном ряду (рис. 12 4).

В поперечном сечении проходных тоннелей трубы больших диаметров располагаются в нижнем ряду.

В общих городских коллекторах трубы тепловых сетей размещаются в одном вертикальном ряду на стене, удаленной от места прокладки кабеля.

Размещение трубопроводов в поперечном сечении эстакад (рис. 12 5) и отдельно стоящих мачт (рис. 12 6) должно быть таково, чтобы перегрузка одной из сторон поперечного сечения не превышала 30% от заданной нагрузки на сечение эстакады или мачты. При совместной прокладке тепловых сетей с технологическими трубопроводами на многоярусной эстакаде трубопроводы теп-

ловых сетей, как правило, располагаются в нижнем ярусе. При многоярусном размещении тепловых сетей в верхнем ярусе прокладывают трубы больших диаметров (см. рис. 12.5).

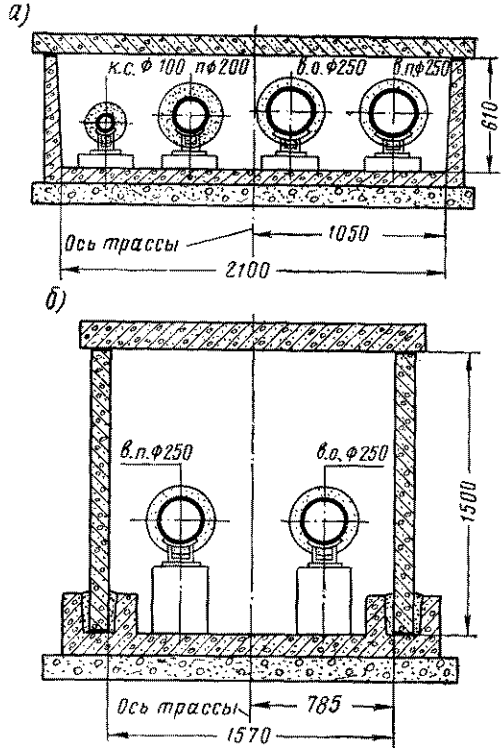


Рис. 12.4. Примерное расположение труб в поперечных сечениях непроходных и полупроходных каналов

а — непроходной канал; *б* — полупроходной канал; *к. с.* — конденсатопровод самотечный; *П* — паропровод; *в. п.* — водовод подающий; *в. о.* — водовод обратный

При размещении труб в поперечных сечениях каналов, тоннелей, мачт и эстакад следует учитывать возможность удобной развязки гибких компенсаторов. Трубы, на которых устанавливают гибкие компенсаторы с наибольшими габаритами, размещают в крайнем положении.

При прокладке водяных тепловых сетей с правой стороны по ходу теплоносителя от источника тепла размещают подающий трубопровод, а слева — обратный по всей трассе до ввода к потребителям.

При конструировании трубопроводов в камерах и в проходных тоннелях расстояния в свету рекомендуется принимать не менее указанных в табл. 12.6.

Высоту камер и узлов проходных тоннелей принимают не менее 2 *м*. Развязка труб в узлах проходных тоннелей выполняется таким образом, чтобы был обеспечен проход как по оси тоннеля, так и в направлении проходных ответвлений. При этом допускается местное уменьшение габаритов прохода по высоте до 1,2—1,4 *м*. Если проход в узле трубопроводов загораживается нижним рядом труб ответвления, над ними устраивается переходная металлическая площадка с лестницами.

Таблица 12.6

Минимальные расстояния в свету между строительными конструкциями и узлами трубопроводов в камерах и тоннелях

Наименование расстояний	Минимальные расстояния в свету в *мм*
От пола или от перекрытия камеры или тоннеля до поверхности изоляции труб (для перехода труб ответвлений)	0,7
Боковые проходы для обслуживания арматуры и сальниковых компенсаторов (от стенки камеры до фланца арматуры или до компенсатора) при диаметрах труб до 500 *мм*	0,6
То же, при диаметрах труб 600 *мм* и более	0,7
От поперечной стенки камеры до корпуса сальникового компенсатора (со стороны стакана) при диаметрах труб до 500 *мм*	0,6 (вдоль оси трубы)
То же, при диаметрах труб 600 *мм* и более	0,8 (вдоль оси трубы)
От пола или перекрытия камеры или тоннеля до фланца арматуры или до сальникового компенсатора при диаметрах труб до 500 *мм*	0,3
То же, при диаметрах труб 600 *мм* и более	0,4
От пола или перекрытия до поверхности изоляции труб ответвлений	0,2

При надземной прокладке на низких опорах в местах установки крупных задвижек с электроприводом устраивают наземный закрытый павильон. Такой же наземный

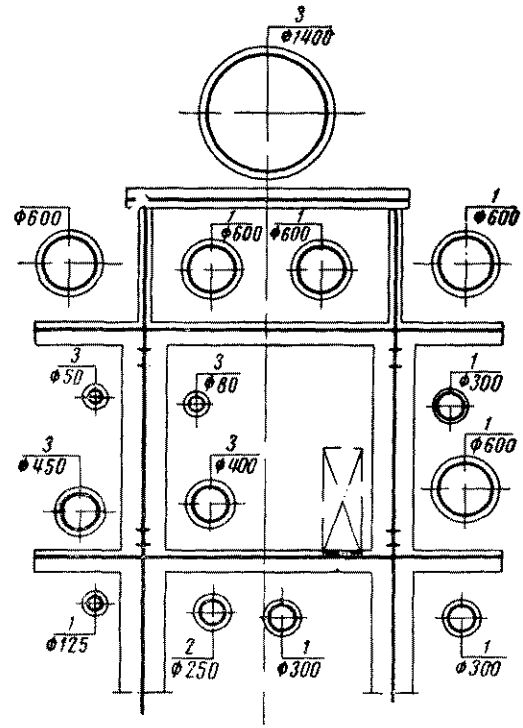


Рис. 12.5. Примерное расположение труб в поперечном сечении эстакад

1 — паропровод; *2* — конденсатопровод напорный; *3* — технологические трубопроводы

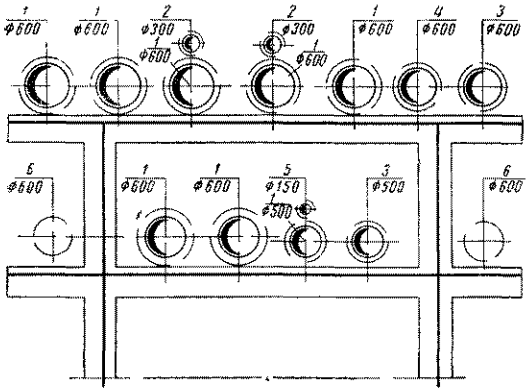


Рис 12 6 Примерное расположение труб на отдельно стоящих мачтах

1 — паропровод, *2* — конденсатопровод напорный, *3* — водовод подающий, *4* — водовод обратный, *5* — водовод умягченной воды, *6* — резервное место

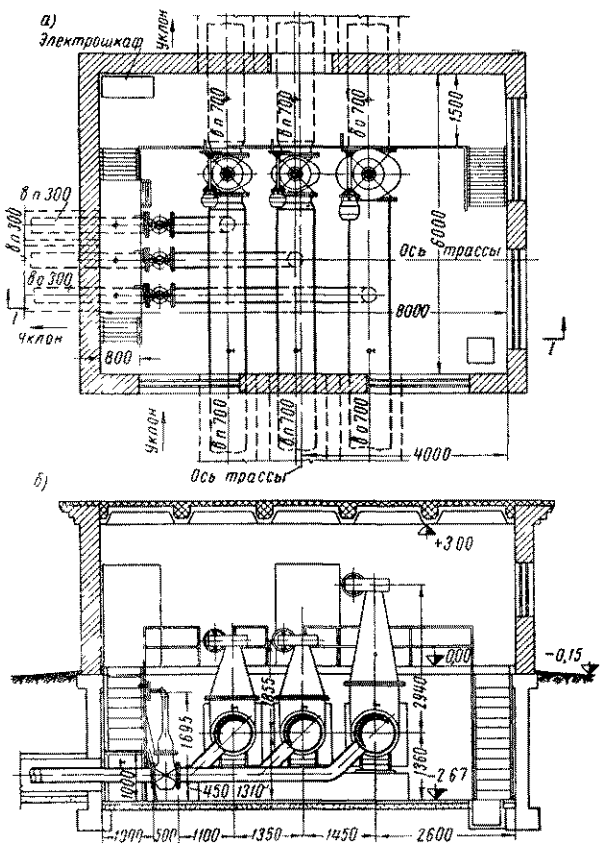


Рис. 12.7. Наземный закрытый павильон в узлах установки крупных задвижек на теплопроводах при их подземной прокладке в непроходных каналах

а — план, *б* — разрез по *I—I*; *в п.* — водовод подающий, *в о* — водовод обратный

павильон устраивают и в узлах установки крупных задвижек при их подземной прокладке (рис. 12 7), если это допускается условиями прохождения трассы В перекрытии павильонов предусматривают устройство для крепления подъемных приспособлений (талей, полиспастов и пр).

В узлах установки задвижек (рис. 12 8), сальниковых компенсаторов (рис 12 9) и грязевиков в подземных

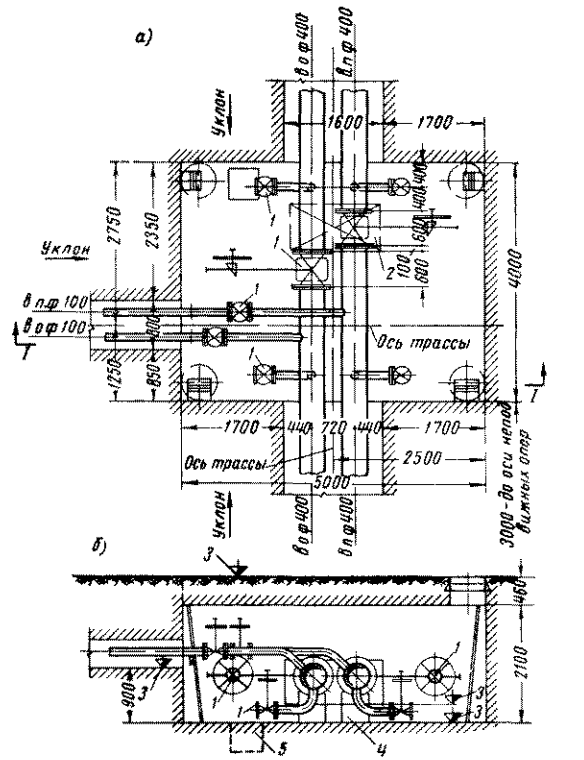


Рис 12 8 Камера тепловой сети с горизонтальной установкой задвижек с ручным приводом

а — план, *б* — разрез по *1—1*, *1* — задвижки, *2* — монтажное окно в перекрытии камеры, *3* — абсолютные отметки дна камеры, дна каналов и планировки земли, *4* — опоры под задвижки, *5* — приямок 500×500×500 *мм*, *в п* — водовод подающий, *в о* — водовод обратный

камерах стационарные подъемные устройства не предусматриваются Обслуживание производится автокранами через монтажные окна, люки или камеры

Расстояние между осями сальниковых компенсаторов в камерах при диаметрах труб 500 *мм* и более принимают из условий удобной смены набивки сальника и затяжки болтов грунд-буксы (рис 12 9)

Если расстояние между осями труб на примыкающем к камере участке трассы меньше, чем это нужно для размещения сальниковых компенсаторов, допускается устройство на обратной трубе местного отвода перед сальниковым компенсатором со сдвигом оси на величину не более $0{,}5\,D_y$.

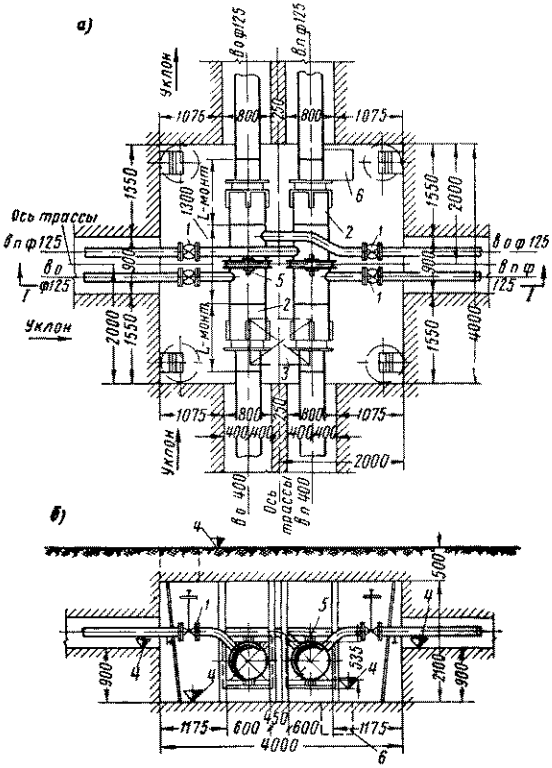


Рис. 12.9. Камера тепловой сети с сальниковыми компенсаторами и встроенными патрубками для примыкания труб ответвлений теплопроводов

а — план; *б* — разрез по *I—I*; *1* — задвижки, *2* — сальниковые компенсаторы; *3* — монтажное окно в перекрытии камеры; *4* — абсолютные отметки дна камеры, дна каналов и планировки земли; *5* — неподвижные опоры; *6* — приямок 500×500×500 *мм*; *в. п.* — водовод подающий; *в о* — водовод обратный

Сальниковые компенсаторы при надземной прокладке тепловых сетей на низких опорах устанавливают на открытом воздухе без каких-либо защитных устройств, но в местах, доступных обслуживанию.

В камерах и узлах проходных каналов при расположении арматуры на высоте 1,8 *м* от пола устраивают площадки для обслуживания, оборудованные постоянными металлическими лестницами.

При надземной прокладке тепловых сетей площадки и лестницы для обслуживания оборудования и арматуры предусматривают только в тех случаях, когда доступ к ним с автомашин затруднен. Минимальная ширина площадок должна обеспечить проход в свету не менее 0,6 *м*. На задвижках с электроприводом устраивают защитный кожух.

Проходные мостики вдоль эстакады сооружают на участках пересечений большого количества железнодорожных путей, рек и в других местах, когда доступ к трубопроводам с земли в местах установки арматуры, требующей обслуживания, затруднен.

В проходных тоннелях предусматривается устройство:

приточно-вытяжной вентиляции периодического действия;

постоянного искусственного электроосвещения при величине освещенности 5 *люкс для* помещений особо сырых и с повышенной температурой воздуха (для освещения проходных каналов и камер, в которые может проникнуть газ, применяется взрывобезопасная арматура);

входов и выходов с лестницами — на расстоянии не более 300 *м*;

аварийных люков для входа и выхода из тоннеля на расстоянии не более 200 *м* и, кроме того, во всех конечных точках тупиковых участков тоннеля и в узлах, где по условиям компоновки трубопроводов и арматуры образуются замкнутые площадки, не имеющие выхода в тоннель, люки по возможности совмещаются с вентиляционными шахтами;

монтажных окон — на всех прямых участках тоннелей на расстоянии не более 300 *м* (при перекрытии из съемных плит монтажные окна не предусмартиваются). Размер монтажных окон: длина не менее 4 *м*, ширина по

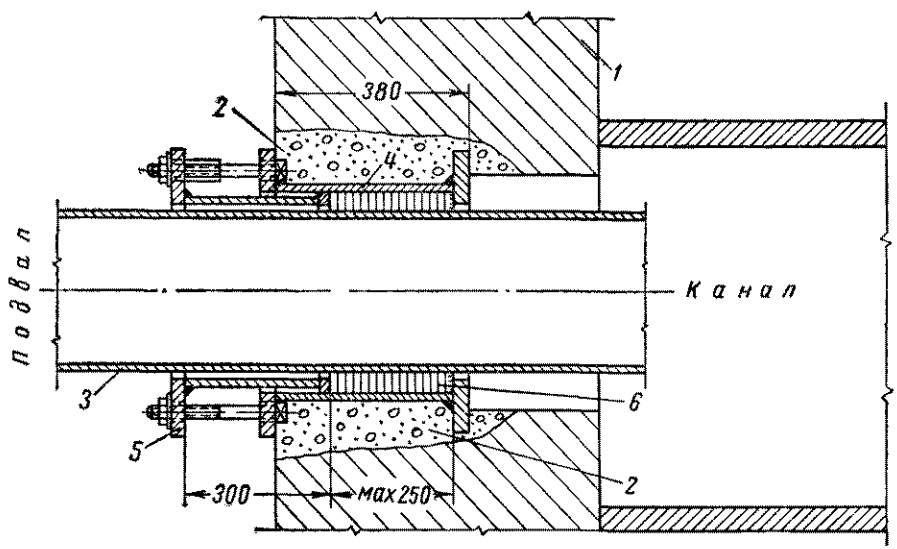


Рис 12.10. Газонепроницаемый сальник

1 — стена здания; *2* — бетон марки 100; *3* — труба; *4* — стакан; *5* — сальник; *6* — кольцевые прокладки из асбеста

диаметру наибольшей трубы плюс 0,1 *м*, но не менее 0,5 *м*.

Перед вводами трубопроводов тепловых сетей в здания в тоннелях и каналах рекомендуется устанавливать герметичные перегородки.

При наличии на территории жилых районов и промышленных предприятий подземных газовых сетей необходимо, кроме того, предусматривать защиту от возможного проникновения в здания газа по каналам тепловых сетей. При размещении в стене неподвижной опоры последняя выполняется в виде сплошного монолитного железобетонного щита, закрывающего отверстие.

При осевом перемещении труб в стене устанавливают специальные газонепроницаемые сальники, типовые чертежи которых разработаны Мосинжпроектом (рис. 12.10).

12.4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОХОДНЫХ КАНАЛОВ (ТОННЕЛЕЙ)

Температура воздуха в тоннелях не должна быть выше 50° С, а для периодического осмотра и ремонта трубопроводов не более 40° С.

Если температура воздуха выше указанной, предусматривается устройство естественной или искусственной вентиляции.

Во всех случаях постоянный часовой воздухообмен в тоннелях должен быть не менее однократного (СНиП II-Г 10 62).

При температурах воздуха в тоннелях до 40° С вентиляция не сооружается В этом случае тоннели проветриваются открыванием люков и входов.

Дополнительный воздухообмен для снижения температуры воздуха в тоннеле от 50 до 40° С достигается передвижными вентиляционными установками.

Вентиляция тоннелей проектируется только для удаления избытков тепла; влаговыделения (избыточная влажность воздуха) не учитывается.

Механическую вентиляцию устраивают только в тех случаях, когда естественная вентиляция не обеспечивает необходимого эффекта. Приведенная ниже методика расчета вентиляции тоннелей тепловых сетей разработана Промстройпроектом.

Расчет вентиляции тоннелей производится на зимние и летние условия работы тепловых сетей.

Расчетные температуры наружного воздуха $t_{нар}$ принимают:

а) для определения потерь тепла строительными конструкциями: при расчетах на зимние условия — среднемесячная температура самого холодного месяца $t_{нар} = t_х$ °С; при расчетах на летние условия — среднемесячная температура самого жаркого месяца $t_{нар} = t_ж$ °С;

б) для определения воздухообмена при расчетах на зимние условия — среднемесячная температура самого холодного месяца $t_{нар} = t_х$ °С; при расчетах на летние условия — средняя температура самого жаркого месяца в 13 *ч* $t_{нар} = t_ж$ °С.

Расчетные температуры грунта $t_{гр}$ для определения потерь тепла строительными конструкциями принимают по естественной температуре грунта на глубине оси тоннеля; при расчете на зимние условия работы тепловых сетей — средняя самого холодного месяца $t_{гр} = t_{гр.з}$ ° С; при расчете на летние условия работы тепловых сетей — средняя самого жаркого месяца $t_{гр} = t_{гр.л}$ ° С.

Потери тепла строительными конструкциями в грунт определяют по формулам:

одним метром тоннеля

$$w_к = a(t_к - t_{нар}) f_п + (bt_к - ct_{нар} - 0{,}4t_{гр}) f_{ст} + 0{,}85(t_к - t_{гр}) f_{дн} \ ккал/ч; \quad (12.1)$$

расчетным участком

$$W_к = w_к l_к \ ккал/ч, \quad (12.2)$$

где $t_к$ — температура воздуха в тоннеле (канале) в °С;

$t_{нар}$ — расчетная температура наружного воздуха в °С;

$t_{гр}$ — расчетная естественная температура грунта на глубине оси тоннеля (в свету) в °С;

$f_п$ — внутренняя поверхность одного метра перекрытия тоннеля в $м^2/м$;

$f_{ст}$ — то же для стен тоннеля в $м^2/м$;

$f_{дн}$ — то же, днища тоннеля в $м^2/м$;

$l_к$ — длина участка тоннеля с учетом развернутой длины проходных ниш для П-образных компенсаторов в *м*;

a, *b*, *c* — коэффициенты, принимаемые по табл. 12.7.

Таблица 12.7

Поправочные коэффициенты в зависимости от климатических поясов и условий работы

Условия работы тепловых сетей	Климатический пояс	Значение коэффициентов		
		a	*b*	*c*
Летом	I; II; III	0,9	1,2	0,8
Зимой	I; II	0,65	1,1	0,7
	III	0,9	1,2	0,8

Разбивка территории СССР на климатические пояса принимается: Сибирь, Северный Урал — I пояс, средняя полоса Европейской части СССР, Дальний Восток — II пояс, южная часть СССР — III пояс.

Тепловыделения одним метром трубопроводов в тоннеле определяют по формуле

$$q_{тр} = 1{,}1 \Sigma q_i (t_i - t_к) \ ккал/ч, \quad (12.3)$$

где q_i — удельные потери тепла одним метром каждого изолированного трубопровода в $ккал/м^2$ °С;

t_i — расчетная температура теплоносителя каждого трубопровода в °С;

1,1 — коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла опорами.

Суммарные тепловыделения трубопроводами определяют по формуле

$$Q_{тр} = q_{тр} l \ ккал/ч, \quad (12.4)$$

где l — длина участка трубопровода с учетом развернутой длины П-образных компенсаторов в *м*.

Трубопроводы с температурой теплоносителя $t \leqslant 40°$ С в расчетах не учитывают.

Тепловыделения в узлах арматурой и сальниковыми компенсаторами учитывают надбавкой к общей длине трубопроводов эквивалентных длин из расчета одного метра на каждую арматуру и компенсатор по диаметру трубопроводов, на которых они устанавливаются.

Удельные потери тепла принимают по указаниям, которые даны в главе 13.

диаметру наибольшей трубы плюс 0,1 *м*, но не менее 0,5 *м*.

Перед вводами трубопроводов тепловых сетей в здания в тоннелях и каналах рекомендуется устанавливать герметичные перегородки.

При наличии на территории жилых районов и промышленных предприятий подземных газовых сетей необходимо, кроме того, предусматривать защиту от возможного проникновения в здания газа по каналам тепловых сетей. При размещении в стене неподвижной опоры последняя выполняется в виде сплошного монолитного железобетонного щита, закрывающего отверстие.

При осевом перемещении труб в стене устанавливают специальные газонепроницаемые сальники, типовые чертежи которых разработаны Мосинжпроектом (рис. 12.10).

12.4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОХОДНЫХ КАНАЛОВ (ТОННЕЛЕЙ)

Температура воздуха в тоннелях не должна быть выше 50° С, а для периодического осмотра и ремонта трубопроводов не более 40° С.

Если температура воздуха выше указанной, предусматривается устройство естественной или искусственной вентиляции.

Во всех случаях постоянный часовой воздухообмен в тоннелях должен быть не менее однократного (СНиП II-Г 10 62).

При температурах воздуха в тоннелях до 40° С вентиляция не сооружается В этом случае тоннели проветриваются открыванием люков и входов.

Дополнительный воздухообмен для снижения температуры воздуха в тоннеле от 50 до 40° С достигается передвижными вентиляционными установками.

Вентиляция тоннелей проектируется только для удаления избытков тепла; влаговыделения (избыточная влажность воздуха) не учитывается.

Механическую вентиляцию устраивают только в тех случаях, когда естественная вентиляция не обеспечивает необходимого эффекта. Приведенная ниже методика расчета вентиляции тоннелей тепловых сетей разработана Промстройпроектом.

Расчет вентиляции тоннелей производится на зимние и летние условия работы тепловых сетей.

Расчетные температуры наружного воздуха $t_{нар}$ принимают:

а) для определения потерь тепла строительными конструкциями: при расчетах на зимние условия — среднемесячная температура самого холодного месяца $t_{нар} = t_х$ °С; при расчетах на летние условия — среднемесячная температура самого жаркого месяца $t_{нар} = t_ж$ °С;

б) для определения воздухообмена при расчетах на зимние условия — среднемесячная температура самого холодного месяца $t_{нар} = t_х$ °С; при расчетах на летние условия — средняя температура самого жаркого месяца в 13 *ч* $t_{нар} = t_ж$ °С.

Расчетные температуры грунта $t_{гр}$ для определения потерь тепла строительными конструкциями принимают по естественной температуре грунта на глубине оси тоннеля; при расчете на зимние условия работы тепловых сетей — средняя самого холодного месяца $t_{гр} = t_{гр.з}$ ° С; при расчете на летние условия работы тепловых сетей — средняя самого жаркого месяца $t_{гр} = t_{гр.л}$ ° С.

Потери тепла строительными конструкциями в грунт определяют по формулам:

одним метром тоннеля

$$w_к = a(t_к - t_{нар}) f_п + (bt_к - ct_{нар} - 0{,}4t_{гр}) f_{ст} + 0{,}85(t_к - t_{гр}) f_{дн} \ ккал/ч; \quad (12.1)$$

расчетным участком

$$W_к = w_к l_к \ ккал/ч, \quad (12.2)$$

где $t_к$ — температура воздуха в тоннеле (канале) в °С;

$t_{нар}$ — расчетная температура наружного воздуха в °С;

$t_{гр}$ — расчетная естественная температура грунта на глубине оси тоннеля (в свету) в °С;

$f_п$ — внутренняя поверхность одного метра перекрытия тоннеля в $м^2/м$;

$f_{ст}$ — то же для стен тоннеля в $м^2/м$;

$f_{дн}$ — то же, днища тоннеля в $м^2/м$;

$l_к$ — длина участка тоннеля с учетом развернутой длины проходных ниш для П-образных компенсаторов в *м*;

a, b, c — коэффициенты, принимаемые по табл. 12.7.

Таблица 12.7

Поправочные коэффициенты в зависимости от климатических поясов и условий работы

Условия работы тепловых сетей	Климатический пояс	Значение коэффициентов		
		a	*b*	*c*
Летом	I; II; III	0,9	1,2	0,8
Зимой	I; II	0,65	1,1	0,7
	III	0,9	1,2	0,8

Разбивка территории СССР на климатические пояса принимается: Сибирь, Северный Урал — I пояс, средняя полоса Европейской части СССР, Дальний Восток — II пояс, южная часть СССР — III пояс.

Тепловыделения одним метром трубопроводов в тоннеле определяют по формуле

$$q_{тр} = 1{,}1 \Sigma q_i (t_i - t_к) \ ккал/ч, \quad (12.3)$$

где q_i — удельные потери тепла одним метром каждого изолированного трубопровода в $ккал/м^2$ °С;

t_i — расчетная температура теплоносителя каждого трубопровода в °С;

1,1 — коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла опорами.

Суммарные тепловыделения трубопроводами определяют по формуле

$$Q_{тр} = q_{тр} l \ ккал/ч, \quad (12.4)$$

где l — длина участка трубопровода с учетом развернутой длины П-образных компенсаторов в *м*.

Трубопроводы с температурой теплоносителя $t \leqslant 40°$ С в расчетах не учитывают.

Тепловыделения в узлах арматурой и сальниковыми компенсаторами учитывают надбавкой к общей длине трубопроводов эквивалентных длин из расчета одного метра на каждую арматуру и компенсатор по диаметру трубопроводов, на которых они устанавливаются.

Удельные потери тепла принимают по указаниям, которые даны в главе 13.

Приточные шахты размещают между вытяжными на расстоянии около 50 *м* и по возможности объединяют с аварийными люками (рис 12 12)

устанавливать в вытяжных шахтах с обводными клапанами, обеспечивающими естественную вентиляцию в переходной и зимний периоды работы тепловых сетей

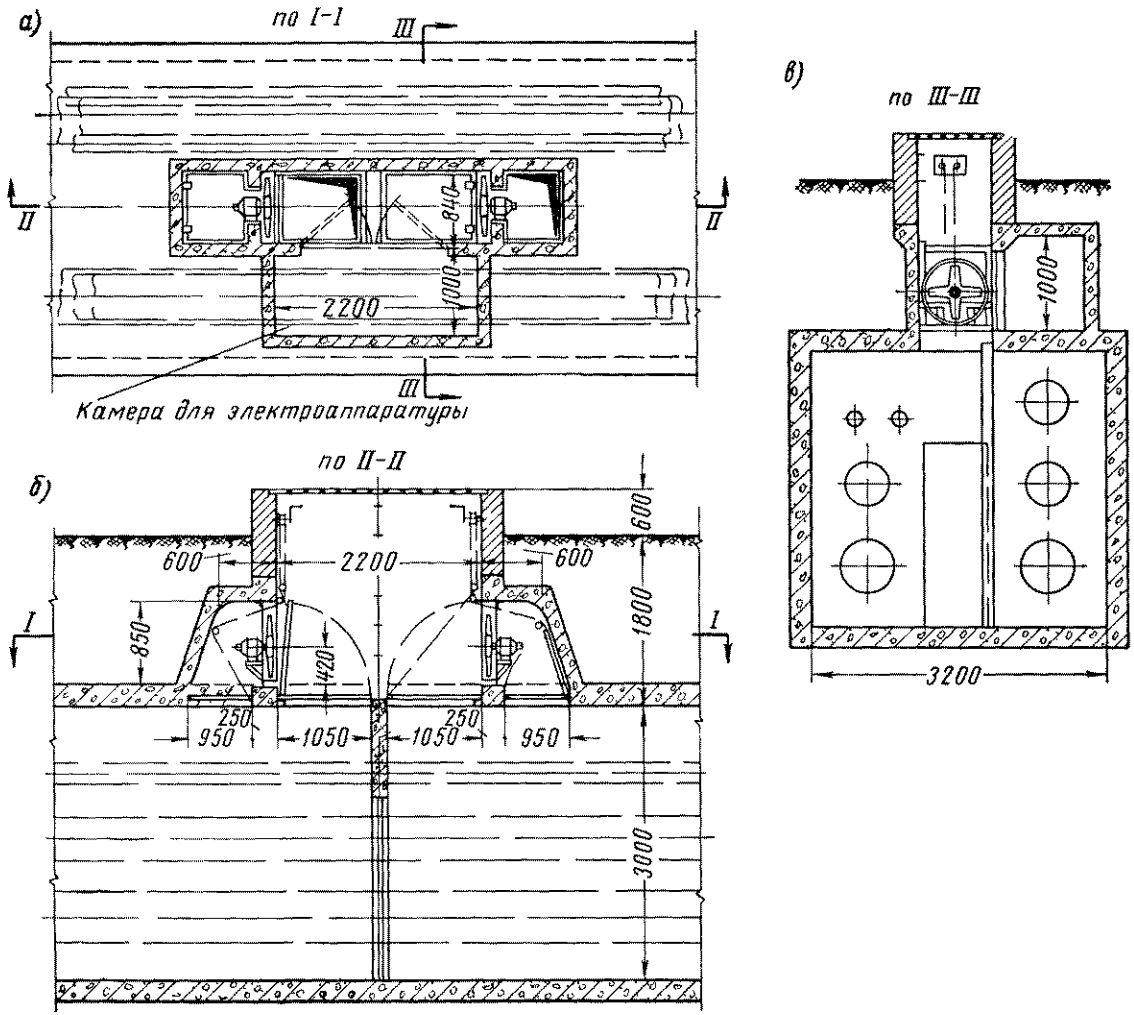


Рис 12 12 Открытая приточная шахта

а — план по *I—I*, *б* — разрез по *II—II*, *в* — разрез по *III—III*

Низ приточной решетки должен быть на высоте не менее 0,6 *м* от поверхности земли

Вытяжные шахты при значительном уклоне тоннеля следует устраивать в высших точках, а приточные — в низших точках тоннеля

Расположение вентиляционных шахт должно быть увязано с планировкой и застройкой территории по трассе тоинеля

Вытяжные и приточные шахты снабжаются клапанами или шиберами для регулирования притока и вытяжки воздуха, а также для полного закрывания шахт

Вентиляторы с электродвигателями рекомендуется

При механической вентиляции применяют осевые вентиляторы с электродвигателем на одной оси Количество вентиляторов принимается по числу рабочих вентиляторов без резерва

Электродвигатели применяют защищенные серии А2 (для сырых помещений) и закрытые обдуваемые серии А02 с ручным управлением и с переключением направления вращения вентиляторов с вытяжки на приток и обратно (рис 12 12)

На время производства ремонтных работ в отдельных камерах и узлах может применяться механическая передвижная вентиляционная установка

ГЛАВА 13

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

13.1. МАТЕРИАЛЫ

Предельные температуры применения, объемный вес и коэффициенты теплопроводности основного слоя теплоизоляционных конструкций приведены в табл. 13.1.

Средние температуры основного слоя изоляционной конструкции принимают по табл. 13.2.

При подземной прокладке коэффициент теплопроводности грунта определяется на основе данных изысканий или приближенно по табл. 13.3.

Теплоизоляционные конструкции из прошивных минераловатных материалов для трубопроводов должны иметь в верхней части распределенные опоры из прочных материалов.

Таблица 13.1

Предельная температура применения, объемный вес и коэффициенты теплопроводности основного слоя теплоизоляционных конструкций в сухом состоянии в зависимости от средней температуры

Наименование материала теплоизоляционного слоя в конструкции	Предельная температура применения в °С	Объемный вес слоя основного изоляционного материала в конструкции (без крепежных деталей) в *кг/м*³	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м ч град* (не более)
1	2	3	4
Альфоль гофрированный	350	20—40	$0{,}051+0{,}00022\ t_{ср}$
Асбестовый шнур (ГОСТ 1799—55)	400	700—900	$0{,}120+0{,}00020\ t_{ср}$
Минераловатные прошивные изделия марки 200 (ТУ 31—62 МС РСФСР)	600	240—250	$0{,}046+0{,}00016\ t_{ср}$
Минераловатные формованные изделия на органических связках (фенольных смолах) (ГОСТ 9573—60) марки 150	300	175	$0{,}044+0{,}00017\ t_{ср}$
Минераловатные изделия на неорганических связках	600	350—400	$0{,}033+0{,}00017\ t_{ср}$
Пенобетонные изделия неавтоклавные (ГОСТ 5742—51)	200	400	$0{,}094+0{,}00026\ t_{ср}$
То же	200	500	$0{,}109+0{,}00026\ t_{ср}$
Пенобетонные или армопенобетонные изделия автоклавные	200	400	$0{,}090+0{,}00020\ t_{ср}$
Совелитовые изделия марки 350 (ГОСТ 6788—53)	500	350	$0{,}065+0{,}00016\ t_{ср}$
То же, марки 400	500	400	$0{,}067+0{,}00016\ t_{ср}$
Вулканитовые изделия марки 350 (ГОСТ 10179—62)	600	350	$0{,}067+0{,}00016\ t_{ср}$
То же, марки 400	600	400	$0{,}070+0{,}00016\ t_{ср}$
Диатомовые изделия обожженные (ГОСТ 2694—52) марки 500	900	500	$0{,}100+0{,}00020\ t_{ср}$
Керамика ячеистая в блоках	900	500	$0{,}100+0{,}00025\ t_{ср}$
Минеральная вата марки 150 (ГОСТ 4640—61) в набивку под сетку на кольцах из теплоизоляционных изделий	600	260	$0{,}050+0{,}00016\ t_{ср}$
Стекловатные прошивные изделия (ГОСТ 2245—43, переизданный в 1952 г.) марки 170	300	200	$0{,}036+0{,}00020\ t_{ср}$
Штукатурный слой асбозуритовый или гипсовый	—	850—900	0,2 при 50° С
Штукатурный слой из битумных паст, слой из асфальтовых мастик	—	1150	0,25 „ 50° С
Штукатурный слой асбестоцементный	—	1600—1900	0,33 „ 50° С
Антикоррозийный слой изоловый или бризоловый	—	1000—1100	0,15—0,2 „ 50—70° С

Примечания: 1. При подземных прокладках без воздушной прослойки значения коэффициента теплопроводности штукатурного слоя и строительных ограждений принимают равными коэффициенту теплопроводности грунта.

2. При подземных прокладках расчетный коэффициент теплопроводности основного слоя изоляции определяют с коэффициентом $k=1{,}2$, учитывающим увлажненность теплоизоляционных конструкций.

Таблица 13.2

Средние температуры основного слоя изоляционной конструкции

Температура окружающей среды в °С	Температура теплоносителя t в °С						
	50	100	150	200	250	300	350
	$t_{ср}=\frac{t+t_{из}}{2}$ в °С						
+40	50	76	100	130	155	180	210
+25	44	70	95	125	150	175	205
+15	39	65	90	120	145	170	200
+5	36	62	83	113	138	163	193
0	33	60	80	110	135	160	190
−15	27	55	75	105	130	155	185
−30	22	45	65	95	120	145	175

Примечания. 1. При подземных прокладках в непроходных и полупроходных каналах температура окружающей среды принимается равной температуре воздуха в канале.

2. При подземной бесканальной прокладке температура окружающей среды принимается равной температуре грунта на глубине заложения оси трубопровода.

Таблица 13.3

Коэффициенты теплопроводности грунта на глубине 1,5 *м* при температуре +5° С

Характеристика грунтовых условий						
классификация по влажности	вид грунта	объемный вес сухой массы грунта в *кг/м*³	расчетная абсолютная влажность грунта в %	расчетная влажность грунта на стыке с изоляцией в %	коэффициент теплопроводности грунта с учетом его влажности $\lambda_{гр}$ в *ккал/м ч град*	усредненный расчетный коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр.\,расч}$ в *ккал/м ч град*
Маловлажный	Глинистые и суглинки	1600 2000	5 5	0 0	0,75 1,5	1,5
	Пески и песчаные	1600 2000	5 3	0 0	0,95 1,5	
	Крупнообломочные (щебенистые и гравийные)	2000	5	0	1,75	
	Скальные	2400	1	0	2	
Влажный	Глинистые и суглинки	1600 2000	20 10	10 2	1,5 2,2	2
	Пески и песчаные	1600 2000	15 5	14 4	1,65 1,75	
	Крупнообломочные (щебенистые и гравийные)	2000	8	4	2,35	
	Скальные	2400	3	1,5–2	3	
Водонасыщенные	Глинистые и суглинки	1600 2000	23,8 11,5	23,8 11,5	1,6 2,3	2,5
	Пески и песчаные	1600 2000	23,8 11,5	23,8 11,5	2,1 2,9	
	Крупнообломочные (щебенистые и гравийные)	2000	11,5	11,5	2,9	
	Скальные	2400	3,3	3,3	4	

Таблица 13.4

Нормы потерь тепла изолированными трубопроводами внутри помещений и тоннелей с расчетной температурой воздуха $t_в$ в пределах от 20 до 40° С

Наружный диаметр труб в мм	Температура теплоносителя в °С (среднегодовая или среднесезонная)					
	50	70	100	150	250	350
	Потери тепла в *ккал/м ч*, не более					
32	12	18	28	43	74	105
57	14	21	32	53	90	127
76	15	24	37	58	99	141
89	16	25	39	62	105	149
108	22	32	45	68	113	160
133	27	37	53	76	126	176
159	31	42	60	84	140	192
219	38	49	70	100	165	227
273	42	55	78	111	183	253
325	45	61	85	122	200	278
377	50	66	92	131	218	300
426	53	71	98	140	235	322
478	60	78	109	155	253	349
529	66	85	120	170	270	375
630	82	104	140	195	310	425
720	95	119	160	220	340	470
820	110	138	180	250	380	515
920	135	159	205	275	415	555
1020	150	182	225	300	450	600
1220	180	208	260	350	515	690

Таблица 13.5

Нормы потерь тепла изолированными трубопроводами на открытом воздухе с расчетной температурой воздуха $t_н$=0 — 10° С и изолированными пароконденсатопроводами подземной прокладки в непроходных каналах при расчетной температуре грунта на глубине заложения $t_{гр.ср.год}$ = +5° С

Наружный диаметр труб в мм	Температура теплоносителя в °С (среднегодовая или среднесезонная)					
	50	70	100	150	250	350
	Потери тепла в *ккал/м ч*, не более					
32	15	24	31	46	77	108
57	21	28	40	58	96	134
76	25	33	45	66	108	148
89	28	36	50	71	114	158
108	31	41	55	77	125	172
133	35	46	60	85	136	188
159	38	48	65	94	148	205
219	46	57	78	110	175	240
273	53	67	87	125	198	268
325	60	76	100	140	220	300
377	71	89	114	156	240	326
426	82	100	128	173	260	352
478	89	108	136	185	280	375
529	95	115	145	196	300	400
630	104	127	160	218	330	440
720	115	139	176	238	358	480
820	135	161	200	266	398	535
920	155	183	225	296	440	585
1020	180	212	255	330	485	640
1220	205	239	290	380	560	740

Таблица 13.6

Нормы потерь тепла изолированными трубопроводами водяных тепловых сетей подземной прокладки, расположенными в непроходных каналах и бесканально

Наружный диаметр труб $d_н$ в мм	Обратная магистраль, $t_{ср}$=50°С $q_{l_{обр}}$ в *ккал/м ч*	Подающая магистраль, $t_{макс}$=95°С; $t_{мин}$=40°С; $t_{ср}$=65°С $q_{l_{под}}$ в *ккал/м ч*	Суммарные потери тепла при двухтрубной прокладке $q_{l_{под}}+q_{l_{обр}}$ в *ккал/м ч*	Подающая магистраль, $t_{макс}$=150°С; $t_{мин}$=70°С; $t_{ср}$=90°С $q_{l_{под}}$ в *ккал/м ч*	Суммарные потери тепла при двухтрубной прокладке $q_{l_{под}}+q_{l_{обр}}$ в *ккал/м ч*	Подающая магистраль, $t_{макс}$=180°С; $t_{мин}$=90°С; $t_{ср}$=100°С $q_{l_{под}}$ в *ккал/м ч*	Суммарные потери тепла при двухтрубной прокладке $q_{l_{под}}+q_{l_{обр}}$ в *ккал/м ч*
	не более						
32	20	25	45	32	52	38	58
57	25	31	56	40	65	47	72
76	29	35	64	45	74	53	82
89	31	38	69	49	80	57	88
108	34	42	76	54	88	62	96
159	42	52	94	65	107	75	117
219	51	62	113	79	130	91	142
273	60	72	132	90	150	103	163
325	68	81	149	100	168	115	183
377	76	—	—	107	183	126	202
426	82	—	—	121	203	137	219
478	91	—	—	132	223	150	241
529	101	—	—	142	243	160	261
630	114	—	—	163	277	184	298
720	125	—	—	181	306	202	327
820	141	—	—	200	341	223	364
920	155	—	—	218	373	244	399
1020	170	—	—	240	410	266	436
1220	199	—	—	280	479	309	508

Слои минераловатных и стекловатных материалов прошивных, на синтетических связках и без них в сборных или набивных изоляционных конструкциях должны быть уплотнены до объемного веса, приведенного в графе 3 табл. 13.1 на основе данных главы СНиП II-Г.10-62.

Согласно указаниям той же главы СНиП толщины изоляционных конструкций должны устанавливаться на основе технико-экономических расчетов или по действующим нормам потерь тепла. В табл. 13.4—13.6 приведены нормы потерь тепла трубопроводами тепловых сетей при среднегодовых значениях температур теплоносителя и окружающей среды, утвержденные техническим советом Министерства строительства электростанций.

Значения потерь тепла при максимальных и других заданных температурах теплоносителя и соответствующей температуре окружающей среды определяют по формуле

$$q_l = q_{l\text{норм}} \frac{t - t_{\text{окр.ср}}}{t_{\text{ср}} - t_{\text{окр.среднегод}}} \text{ ккал/м ч}, \quad (13.1)$$

где q_l — потери тепла 1 *м* теплопровода при максимальной или другой заданной температуре теплоносителя t в *ккал/м ч*;

$q_{l\text{ норм}}$ — потери тепла 1 *м* теплопровода по нормам при среднегодовой температуре теплоносителя $t_{\text{ср}}$ в *ккал/м ч*;

$t_{\text{окр.среднегод}}$ — температура окружающей среды (воздуха $t_{\text{н}}$ или грунта $t_{\text{гр}}$), при которой даны нормы потерь тепла в °С;

$t_{\text{окр.ср}}$ — температура окружающей среды при максимальной или другой заданной температуре теплоносителя в °С.

13.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ТОЛЩИН ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Полное термическое сопротивление подлежащего изоляции трубопровода определяют по нормам потерь тепла по формуле

$$R_l = \frac{t - t_0}{q_l} \text{ мч град/ккал}, \quad (13.2)$$

где t — температура теплоносителя в °С;

t_0 — температура окружающей среды в °С;

q_l — норма потерь тепла изолированным трубопроводом в *ккал/м ч*.

Потери тепла q_l изолированным трубопроводом определяют из той же формулы (13.2) по известному полному термическому сопротивлению изоляционной конструкции:

$$q_l = \frac{t - t_0}{R_l} \text{ ккал/м ч} \quad (13.3)$$

Полное термическое сопротивление изолированного трубопровода перегретого пара большого протяжения определяют по допускаемому падению температуры пара по формуле

$$R_l = \frac{\frac{l_p}{G}}{c_p \ln \frac{t_{\text{нач}} - t_0}{t_{\text{кон}} - t_0}} \text{ м ч град/ккал}, \quad (13.4)$$

где $t_{\text{нач}}$ и $t_{\text{кон}}$ — температура пара в начале и конце рассчитываемого участка в °С;

t_0 — температура окружающей среды в °С;

G — расчетный расход пара на рассчитываемом участке в *кг/ч*;

c_p — теплоемкость пара при средних параметрах на участке в *ккал/кг град*;

l_p — расчетная длина паропровода, равная $l_p = \beta l$, в *м*;

l — длина участка паропровода по плану в *м*;

β — коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла опорами, арматурой и компенсаторами (табл. 13.7)

Таблица 13.7

Значения коэффициента β

Способ прокладки	Тепловые сети	
	магистральные	распределительные и ответвлений к отдельным зданиям
Бесканальная	1,1	1,15
В помещениях, тоннелях	1,15	1,25
Надземная	1,2	1,3

Полные термические сопротивления изолированных теплопроводов при известных конструкциях тепловой изоляции определяют как суммы термических сопротивлений по схеме, приведенной в табл. 13.8, по формулам (13.5—13.11).

Обозначения, принятые в табл. 13.8.

$d_{\text{н}}$ — диаметр изолируемого теплопровода в *м*;

$d_{\text{из}}$ — диаметр основного слоя изоляционной конструкции в *м*;

$d_{\text{к}}$ — диаметр изоляционной конструкции в *м*;

$d_{\text{экв.кан}}$ — диаметр, эквивалентный внутреннему периметру сечения канала и равный $P_{\text{вн}}/\pi$, в *м*;

$\lambda_{\text{из}}$ — коэффициент теплопроводности основного слоя изоляционной конструкции *ккал/м ч град*;

$\lambda_{\text{п}}$ — коэффициент теплопроводности покровного слоя в изоляционной конструкции в *ккал/м ч град*;

$\lambda_{\text{гр}}$ — то же, грунта в *ккал/м ч град*;

$\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляционной конструкции в окружающую среду в *ккал/м² ч град*;

$\alpha_{\text{кан}}$ — то же, от воздуха в канале к его внутренней поверхности в *ккал/м² град*;

h — глубина заложения теплопровода до его оси в *м*;

R_l — полное термическое сопротивление изолированного теплопровода в *м ч град/ккал*;

$R_{l_{\text{тр}}}$ — термическое сопротивление изоляционной конструкции теплопровода в *м ч град/ккал*;

$R_l^{\text{из}}$ — то же, основного слоя изоляции теплопровода в *м ч град/ккал*;

$R_l^{\text{п}}$ — то же, защитного покрытия изоляции теплопровода в *м ч град/ккал*;

Полные термические сопротивления изолированных

Вид прокладки теплопроводов	Составляющие полного термического сопротивления			
	Термическое			
	изоляционной конструкции теплопровода $R_{l_{тр}} = \Sigma$			грунта для изолированной трубы
	основного изоляционного слоя $R_l^{из} = \frac{\ln \frac{d_{из}}{d_н}}{2\pi\lambda_{из}}$ (13.5)	покровного слоя $R_l^{п} = \frac{\ln \frac{d_к}{d_{из}}}{2\pi\lambda_п}$ (13.6)	теплоотдачи в окружающий воздух $R_l^{н} = \frac{1}{\alpha_п \pi d_к}$ (13.7)	$R_l^{н} = R_l^{гр} = \frac{\ln \frac{4h}{d_к}}{2\pi\lambda_{гр}}$ (13.8)
1 Воздушная	$R_l^{из}$	$R_l^{п}$	$R_l^{н}$	—
2 Бесканальная однотрубная	$R_l^{из}$	—	—	$R_l^{гр}$
3 Бесканальная двухтрубная	$R_l^{из}$	—	—	$R_l^{гр}$
4. В непроходном канале однотрубная	$R_l^{из}$	$R_l^{п}$	$R_l^{н}$	—
5. В непроходном одноячейковом канале двухтрубная	$R_l^{из}$	$R_l^{п}$	$R_l^{н}$	—
6 В непроходном двухъячеиковом канале двухтрубная	$R_l^{из}$	$R_l^{п}$	$R_l^{н}$	—
7. Подающий теплопровод в одноячейковом непроходном канале	$R_{l_1}^{из}$	$R_{l_1}^{п}$	$R_{l_1}^{н}$	—
8 Обратный теплопровод бесканальной прокладки	$R_{l_2}^{из}$	—	—	$R_{l_2}^{гр}$
Значения коэффициентов ψ и $\psi_{кан}$ для подающего и обратного теплопроводов двухтрубной прокладки	Варианты расчетов	Прокладка бесканальная и в двухъячейковых каналах		
	I при известной конструкции[1]	$\psi_1 = \frac{(t_2 - t_{гр}) R_{l_1} - (t_1 - t_{гр}) R_{1,2}}{(t_1 - t_{гр}) R_{l_2} - (t_2 - t_{гр}) R_{1,2}}$ (13.12)*		$\psi_2 = \frac{(t_1 - t_{гр}) R_{l_2} - (t_2 - t_{гр}) R_{1,2}}{(t_2 - t_{гр}) R_{l_1} - (t_1 - t_{гр}) R_{1,2}}$ (13.13)
	II — при известных потерях тепла	$\psi_1 = \frac{q_{l_2}}{q_{l_1}}$ (13.18)		$\psi_2 = \frac{q_{l_1}}{q_{l_2}}$ (13.19)

* $R_{l_1} = R_{l_{под}} - R_{l_{1,2}}$ (13.16)

$R_{l_2} = R_{l_{обр}} - R_{l_{2,1}}$ (13.17)

Таблица 13.8

теплопроводов при различных видах прокладки

изолированных теплопроводов в *м ч град/ккал*			
сопротивление			
канала и грунта $R_{l_{кан}} = \Sigma$		взаимного влияния труб при двухтрубной прокладке $R_{l_{1,2}}$ (13.11)	Полное термическое сопротивление изолированного теплопровода R_l в *м ч град/ккал*
теплоотдачи от воздуха к стенке канала $R_l^{кан} = \frac{1}{\alpha_{кан} \pi d_{экв.кан}}$ (13.9)	грунта для канала $R^{гр}_{l_{кан}} = \frac{\ln \frac{4h}{d_{экв.кан}}}{2\pi\lambda_{гр}}$ (13.10)		
—	—	—	$R_l = \Sigma$ (13.22)
—	—	—	$R_l = \Sigma$ (13.23)
—	—	$R_{l_{1,2}} = \psi R_{1,2} = \psi \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{k}\right)^2}}{2\pi\lambda_{гр}}$	$R_l = \Sigma$ (13.24) и (13.25)
$R_l^{кан}$	$R^{гр}_{l_{кан}}$	—	$R_l = \Sigma$ (13.26)
$R_l^{кан}$	$R^{гр}_{l_{кан}}$	$R_{l_{1,2}} = \psi_{кан} R_{l_{кан}}$	$R_l = \Sigma$ (13.27) и (13.28)
$R_l^{яч.кан}$	$R^{гр}_{l_{яч.кан}}$	$R_{l_{1,2}} = \psi R_{1,2} = \psi \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{k}\right)^2}}{2\pi\lambda_{гр}}$	$R_l = \Sigma$ (13.29) и (13.30)
$R_{l_1}^{кан}$	$R^{гр}_{l_{кан1}}$	$R_{l_{1,2}} = \psi_1 R_{1,2} = \psi_1 \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{k}\right)^2}}{2\pi\lambda_{гр}}$	$R_{l_{под}} = \Sigma$ (13.31)
—	—	$R_{l_{2,1}} = \psi_2 R_{1,2}$	$R_{l_{обр}} = \Sigma$ (13.32)
Прокладка в непроходных одноячейковых каналах			
$\psi_{1кан} = \frac{(t_2 - t_{гр}) R_{l_{тр}} \quad (t_1 - t_2) R_{l_{кан}}}{(t_1 - t_{гр}) R_{l_{тр2}} + (t_1 \quad t_2) R_{l_{кан}}}$ (13.14)		$\psi_{2кан} = \frac{(t_1 - t_{гр}) R_{l_{тр2}} + (t_1 - t_2) R_{l_{кан}}}{(t_2 - t_{гр}) R_{l_{тр1}} - (t_1 - t_2) R_{l_{кан}}}$ (13.15)	
$\psi_{1кан} = \frac{q_{l_2}}{q_{l_1}}$ (13.20)		$\psi_{2кан} = \frac{q_{l_1}}{q_{l_2}}$ (13.21)	

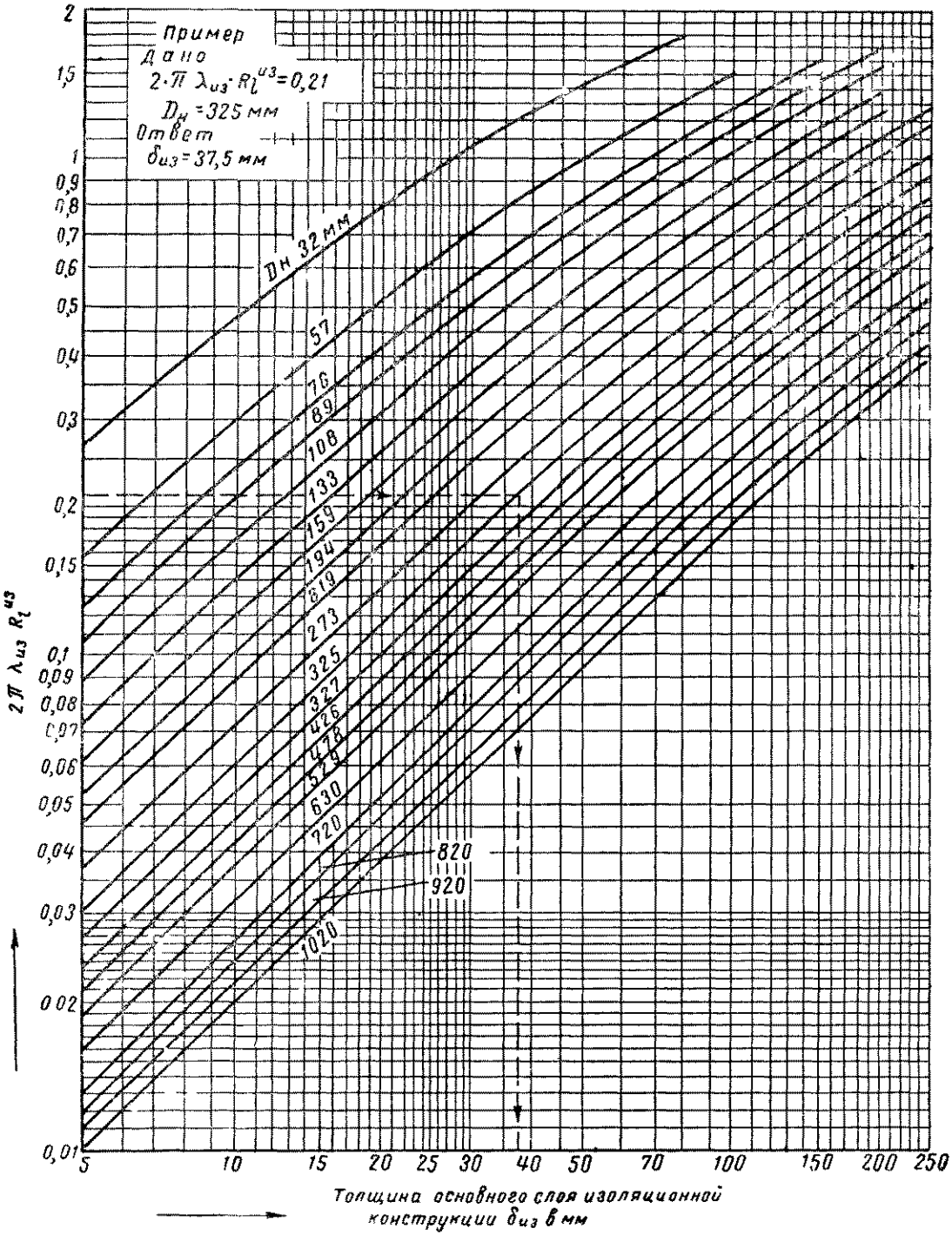


Рис 13 1 График для определения толщины основного слоя изоляционной конструкции

$R_l^{н}$ — то же, теплоотдаче от поверхности изоляции теплопровода в окружающую среду в *м ч град/ккал*;

$R_l^{гр}$ — то же, грунта по отношению к основному слою изоляции теплопровода в *м ч град/ккал*;

$R_l^{кан}$ — то же, канала, равное термическому сопротивлению теплоотдаче от воздуха внутри канала к его стенке в *м ч град/ккал*;

$R_{l_{кан}}^{гр}$ — то же, грунта по отношению к внутреннему сечению канала в *м ч град/ккал*;

$R_{l_{кан}}$ — суммарное термическое сопротивление канала и грунта вокруг него, равное $R_l^{кан} + R_{l_{кан}}^{гр}$, в *м ч град/ккал*;

k — расстояние по горизонтали между осями теплопроводов в *м*;

$R_{1,2}$ — фактор термического сопротивления взаимного влияния теплопроводов при прокладке в двухъячейковых непроходных каналах или оболочках без воздушной прослойки, равный

$$R_{1,2} = \frac{\ln \sqrt{1+\left(\frac{2h}{k}\right)^2}}{2\pi\lambda_{гр}} \text{ м ч град/ккал};$$

$R_{l\,1,2}$ — дополнительное термическое сопротивление взаимного влияния теплопроводов для подающего теплопровода в *м ч град/ккал*;

$R_{l\,2,1}$ — то же, для обратного теплопровода в *м ч град/ккал*;

ψ_1 — безразмерный коэффициент, определяющий для подающего теплопровода дополнительное термическое сопротивление взаимного влияния теплопроводов при прокладке в двухъячейковых непроходных каналах или оболочках без воздушной прослойки;

ψ_2 — безразмерный — то же, для обратного теплопровода;

$\psi_{1кан}$ — коэффициент, определяющий для подающего теплопровода дополнительное термическое сопротивление взаимного влияния теплопроводов при двухтрубной прокладке в одноячейковом непроходном канале;

$\psi_{2кан}$ — то же, для обратного теплопровода.

Значения коэффициента теплоотдачи $\alpha_н$ от поверхности теплоизоляционной конструкции в окружающий воздух и коэффициент теплоотдачи от воздуха внутри канала к стенке канала $\alpha_{кан}$ принимают:

в непроходных каналах — $\alpha_н = \alpha_{кан} = 7$ *ккал/м² ч град*,
в проходных каналах и помещениях — $\alpha_н = 9$ *ккал/м² ч град*;
на открытом воздухе
при скорости ветра 5 *м/сек* $\alpha_н = 18$ *ккал/м² ч град*.
" " " 10 " $\alpha_н = 25$; "
" " " 15 " $\alpha_н = 30$ "

Термическое сопротивление основного слоя изоляционной конструкции определяют как разность по формуле

$$R_l^{из} = R_l - R_l^m \text{ м ч град/ккал}, \qquad (13.33)$$

где R_l^m — сумма частных термических сопротивлений изолированного теплопровода, за исключением термического сопротивления основного слоя изоляционной конструкции в *м ч град/ккал*.

Толщина основного слоя изоляционной конструкции определяется по значению параметра $\ln\frac{d_{из}}{d_н} = 2\pi\lambda_{из}R_l^{из}$:

а) аналитическим расчетом по формуле

$$\delta_{из} = \frac{e^{2\pi\lambda_{из}R_l^{из}} - 1}{2} d_н \text{ м}, \qquad (13.34)$$

где $e = 2{,}71828$ — основание натуральных логарифмов или

б) по графику рис. 13.1.

13.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗЛИЧНЫХ ТОЧКАХ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ИЗОЛИРОВАННОГО ТРУБОПРОВОДА

Температуру воздуха внутри непроходного канала $t_{н.к}$ определяют по формулам:

а) при многотрубной прокладке в одноячейковом канале

$$t_{н.к} = \frac{\frac{t_1}{R_{l\,тр1}} + \frac{t_2}{R_{l\,тр2}} + \cdots + \frac{t_n}{R_{l\,тр(n)}} + \frac{t_{гр}}{R_{l\,кан}}}{\frac{1}{R_{l\,тр1}} + \frac{1}{R_{l\,тр2}} + \cdots + \frac{1}{R_{l\,тр(n)}} + \frac{1}{R_{l\,кан}}} \text{ °C}; \qquad (13.35)$$

б) при однотрубной прокладке в одноячейковом канале и для каждой ячейки при двухтрубной прокладке в двухъячейковом канале

$$t_{н.к} = t - (t - t_{гр})\frac{R_{l\,тр}}{R_l} \text{ °C}. \qquad (13.36)$$

В этих формулах:

t, t_1, t_2, ..., t_n — температура теплоносителя в каждом трубопроводе в °С;

$t_{гр}$ — температура грунта на глубине заложения оси трубопроводов в °С;

$R_{l\,тр}$, $R_{l\,тр1}, \ldots, R_{l\,тр(n)}$ — термические сопротивления изоляционной конструкции каждого трубопровода в *м ч град/ккал*;

R_l — полное термическое сопротивление изолированного трубопровода в *м ч град/ккал*;

$R_{l\,кан}$ — суммарное частное термическое сопротивление канала и грунта вокруг канала *в м ч град/ккал*.

Температуру на поверхности основного слоя изоляционной конструкции определяют по формуле

$$t_{из} = t - (t - t_0)\frac{R_l^{из}}{R_l} \text{ °C}, \qquad (13.37)$$

где t_0 — температура окружающей среды в °С.

При надземной прокладке $t_0 = t_н = t_{нар}$; при подземной прокладке $t_0 = t_{гр}$.

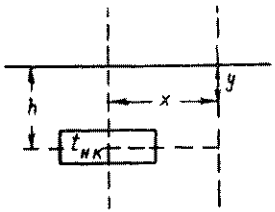


Рис. 13.2. Поперечное сечение расположения теплопровода подземной прокладки

Температуру на поверхности покровного слоя изоляционной конструкции определяют по формуле

$$t_{п} = t - (t - t_0)\frac{R_l^{из} + R_l^{п}}{R_l} \text{ °C}, \qquad (13.38)$$

где $R_l^{п}$ — частное термическое сопротивление покровного слоя изоляционной конструкции в *м ч град/ккал*.

Температуру в любой точке грунта t_{xy} (рис. 13.2) с координатами x и y определяют по формулам.

а) при бесканальной однотрубной прокладке в цилиндрической изоляции

$$t_{xy} = t_0 + (t - t_0)\frac{R_{l(xy-h)}^{гр}}{R_l} \text{ °C}; \qquad (13.39)$$

б) при бесканальной двухтрубной прокладке в цилиндрической изоляции и в общей литой изоляции прямоугольного сечения

$$t_{xy} = t_0 + (t_1 - t_0)\frac{R_{l(xy-h)}^{гр} + R_{l\,1,2}}{R_{l1}} \text{ °C}; \qquad (13.40)$$

в) при прокладке в одноячейковом непроходном канале

$$t_{xy} = t_0 + (t_{н.к.} - t_0)\frac{R_{l(xy-h)}^{гр}}{R_{l\,кан}} \text{ °C}; \qquad (13.41)$$

г) при прокладке в двухъячейковом непроходном канале

$$t_{xy} = t_0 + (t_{н.к1} - t_0)\frac{R_{l(xy-h)}^{гр} + R_{l1,2}}{R_{l\,кан} + R_{l\,1,2}} \text{ °C}. \qquad (13.42)$$

В этих формулах:

$t_{гр}$ — температура грунта на глубине заложения оси трубопровода в °C;

$t_{н}$ — температура наружного воздуха в °C;

h — глубина заложения трубопровода до оси в *м*;

x — расстояние от точки, для которой определяется температура, до вертикальной плоскости, проходящей через ось трубопровода с большей температурой теплоносителя или одноячейкового непроходного канала, в *м*;

y — расстояние от поверхности земли до точки с координатами xy в *м*;

$R_l^{гр}$; $R_{l\,1,2}$; $R_{l\,кан}$ — частные термические сопротивления, определяемые по выше приведенным формулам, в *м ч град/ккал*;

R_l — полное термическое сопротивление в *м ч град/ккал*;

t — температура теплоносителя в °C;

$t_{н.к}$ — температура воздуха в непроходном канале в °C;

t_0 — температура окружающей среды принимается:
при $h \geqslant 0{,}7$ *м* $t_0 = t_{гр}$ в °C;
при $h < 0{,}7$ *м* $t_0 = t_{нар}$ в °C;

$R_{l(xy-h)}^{гр}$ — термическое сопротивление внешнего слоя грунта за точкой с координатами x и y; определяется по формулам:

при $y \geqslant 0{,}7$ *м*

$$R_{l(xy-h)}^{гр} = \frac{\ln \sqrt{\dfrac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}}}{2\pi\lambda_{гр}} \text{ м ч град/ккал}; \qquad (13.43)$$

при $y < 0{,}7$ *м*

$$R_{l(xy-h)}^{гр} = \frac{\ln \sqrt{\dfrac{x^2 + \left(y+h+\dfrac{2\lambda_{гр}}{\alpha_{н}}\right)^2}{x^2 + (y-h)^2}}}{2\pi\lambda_{гр}} \text{ м ч град/ккал}. \qquad (13.44)$$

Обозначения с подстрочным индексом относятся к показателям для трубопровода с большей температурой теплоносителя.

При определении температуры в любой точке поверхности грунта t_x следует пользоваться приведенными выше формулами, принимая $t_0 = t_{нар}$ в °C, а величину $R_{l(xy-h)}^{гр}$ равной:

$$R_{l(xy-h)}^{гр} = \frac{\ln \sqrt{\dfrac{x^2 + \left(h+\dfrac{2\lambda_{гр}}{\alpha_{н}}\right)^2}{x^2 + h^2}}}{2\pi\lambda_{гр}} \text{ м ч град/ккал}. \qquad (13.45)$$

ГЛАВА 14

ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ

Электрокоррозия металлических сооружений проявляется в виде почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами.

Источником блуждающих токов для подземных металлических трубопроводов является в основном рельсовая сеть городского трамвая и электрических желез-

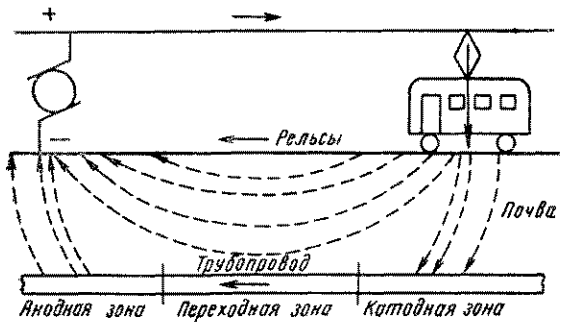


Рис. 14.1. Схема возникновения блуждающих токов в подземном трубопроводе

ных дорог постоянного тока, в которых рельсы служат обратным токопроводом (рис. 14.1).

Ответвившийся из рельсовой сети ток (обратный ток электротяги) через почву попадает на расположенный вблизи трубопровод, проходит по нему и снова выходит в почву, стремясь возвратиться к своему источнику, которым может быть рельс, отсасывающий пункт или шина отрицательной полярности тяговой подстанции.

Блуждающий ток в местах входа и выхода из металлического трубопровода вызывает его катодную и анодную поляризацию. Зона входа *называется катодной зоной,* в которой металл трубопровода имеет отрицательный потенциал относительно окружающих его слоев почвы. Зона выхода *называется анодной зоной,* в которой металл трубопровода имеет положительный потенциал относительно окружающих его слоев почвы.

Для подземных металлических сооружений опасность представляют анодные зоны, в которых происходит стекание тока в почву, что разрушает металл.

Методы предотвращения коррозии подземных трубопроводов тепловых сетей делятся на пассивные и активные.

Пассивными методами защиты *называются устройства и мероприятия, предотвращающие непосредственное соприкосновение подземного сооружения с окружающей средой и увеличивающие переходное сопротивление между ними.*

К пассивным методам относятся: покрытие металлической поверхности труб антикоррозийными материалами с высокими диэлектрическими свойствами; прокладка труб в каналах.

Активными методами *называются устройства, создающие на сооружении такой электрический режим, при котором трубопровод приобретает катодный потенциал относительно земли.*

Применяют следующие виды активной защиты трубопроводов: дренажную, катодную и протекторную.

Дренажная — основной вид электрической защиты. Катодная и протекторная защиты при этом выполняют вспомогательную функцию. Эти виды защиты в качестве основных применяются преимущественно при почвенной коррозии.

В сочетании с указанными видами защиты применяют электрическое секционирование трубопроводов, с помощью которого увеличивается продольное сопротивление сооружения.

Дренажной защитой называется способ защиты подземного трубопровода тепловых сетей от коррозии, вызываемой блуждающими токами, посредством отвода последних от защищаемого трубопровода к своему источнику (рис. 14.2). Схема выполняется в виде прямого или поляризованного электродренажа.

Прямой электродренаж обладает двусторонней проводимостью, что ограничивает его применение. Поляри-

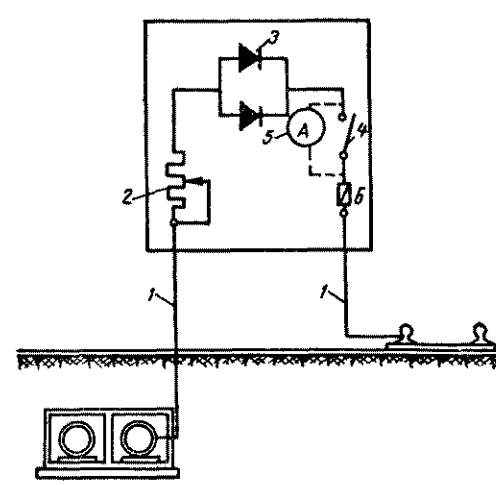


Рис. 14.2. Принципиальная схема дренажной защиты

1 — дренажный кабель, *2* — реостат; *3* — вентиль, *4* — рубильник *5* — амперметр; *6* — предохранитель

зованный электродренаж обеспечивает одностороннее протекание дренажного тока к источнику и имеет различное конструктивное исполнение.

В одних односторонняя проводимость достигается благодаря вентильным свойствам полупроводников (тип дренажа на германиевых диодах ПГД-200), в других используется принцип действия электромагнитных контакторов и поляризованных реле (дренажи типа ПЭД-АКХ, УПДУ-57 и др.).

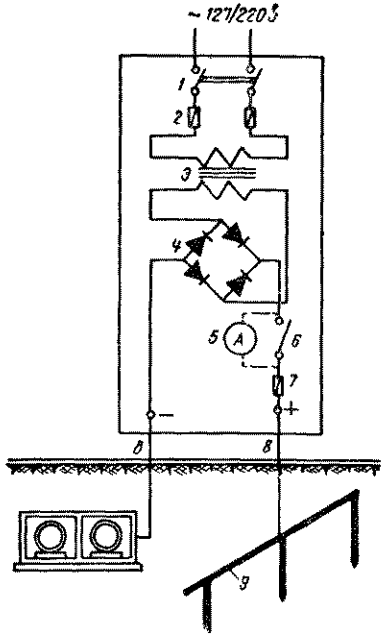


Рис. 14.3. Принципиальная схема катодной защиты

1 — рубильник (выключатель) двухполюсный; *2* и *7* — предохранители; *3* — трансформатор; *4* — выпрямитель; *5* — амперметр, *6* — рубильник однополюсный; *8* — дренажный кабель; *9* — анодное заземление

Поляризованный дренаж подключается: в сетях трамвая к шине отрицательной полярности тяговой подстанции, отсасывающему пункту или к рельсам, в сетях электрифицированной железной дороги — к рельсу при однониточных цепях СЦБ, к отсасывающему пункту или к средней точке путевого дросселя — при двухниточных рельсовых цепях СЦБ. Вариант подключения определяют в каждом конкретном случае

Катодной защитой называется защита сооружения, при которой отрицательный потенциал подземного металлического сооружения по отношению к земле создается с помощью специального источника постоянного тока — катодной станции (рис. 14.3). Ток с анодного заземления растекается в почве, поступает на защищаемое сооружение, поляризуя его катодно. При этой циркуляции тока разрушается анодное заземление катодной защиты.

Разновидностью катодной защиты является усиленный электродренаж, принцип действия которого аналогичен работе прямого дренажа с последовательным включением катодной станции, где в качестве анодного заземления используются рельсы электрифицированного транспорта.

Усиленный электродренаж применяют в случае влияния на сооружение нескольких источников блуждающих токов или когда сооружение находится в зонах переменной полярности

В качестве источников постоянного тока при устройстве усиленного электродренажа применяют катодные станции типа КСС-3 и селеновые выпрямители типа ВСГ-3М.

Протекторной защитой называется защита металлического сооружения подключением к нему металла с более отрицательным электрохимическим потенциалом.

В результате такого соединения образуется короткозамкнутый гальванический элемент протектор-трубопровод (рис. 14.4).

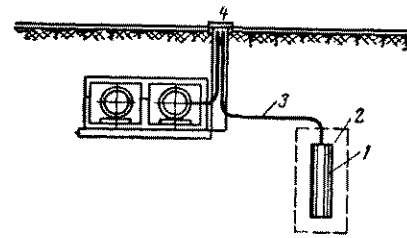


Рис. 14.4. Принципиальная схема протекторной защиты

1 — протектор из магниевого сплава; *2* — обмазка (наполнитель); *3* — дренажный кабель; *4* — контактный вывод

Катодом такого элемента является защищаемый трубопровод, анодом — протектор, электролитом — почва, окружающая трубопровод и протектор.

Протекторы применяют для защиты подземных металлических сооружений от почвенной коррозии и от коррозии, вызываемой блуждающими токами, если положительный потенциал на сооружении не превышает +0,3 *в*.

Для увеличения к. п. д. и отрицательного значения потенциала «протектор — сооружение», а также для уменьшения коррозии сплава протектора его помещают в обмазку (смесь из сернокислого магния, гипса и глины).

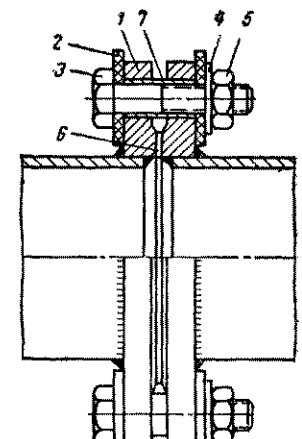


Рис. 14.5. Изолирующий фланец

1 — фланец; *2* — изолирующая шайба (паронит); *3* — болт; *4* — шайба, *5* — гайка; *6* — прокладка (паронит); *7* — изолирующая втулка (паронит)

Секционирование трубопроводов на электрически изолированные друг от друга участки осуществляется с помощью изолирующих фланцев (рис 14.5).

Секционирование, как правило, применяют при вводе трубопроводов на предприятия электрифицированного транспорта и в местах пересечения трубопроводов с рельсами электрифицированных дорог.

Секционирование применяют также на участках выхода трубопроводов подземной прокладки на металлические и железобетонные мосты и путепроводы.

Таблица 14.1

Сравнительная характеристика защитных устройств

Наименование защитной установки	Область применения	Достоинства	Недостатки
Поляризованный электродренаж	В зонах при разности потенциалов «сооружение — рельс» больше разности потенциалов «сооружение — земля» и положительном или знакопеременном потенциале «сооружение — рельс»	Односторонняя проводимость — исключается протекание обратного тока на сооружение; отключение защиты при появлении положительного потенциала в точке дренирования	При появлении положительного потенциала в точке дренирования сооружение не защищается
Усиленный электродренаж	В зонах влияния нескольких источников блуждающих токов	Постоянство отрицательного потенциала в точке дренирования	Появление дополнительных блуждающих токов; увеличение выхода тока из рельсов, способствующее их усиленному износу
Станция катодной защиты	В зонах небольших по абсолютной величине положительных потенциалов	Круглосуточное действие защиты в соответствии с заданным режимом	Возникновение дополнительных блуждающих токов
Протекторы	Для снятия небольших по протяженности анодных зон при положительном потенциале до +0,3 *в*	Простота конструкции	Неэффективность в случаях плохого состояния или отсутствия изоляционного покрытия на сооружении
Изолирующие фланцы (электросекционирование)	На вводах сооружений в здания и на объекты электрифицированного транспорта; при пересечениях с рельсами электрифицированных дорог, при подъеме на мосты, путепроводы и т. д.	Повышение продольного сопротивления сооружения и уменьшение величины блуждающих токов	Возможность повышения коррозийного процесса

Выбор методов защиты может производиться по табл. 14.1, в которой приведена сравнительная характеристика защитных устройств.

Номенклатура применяемой аппаратуры в схемах защиты подземных трубопроводов от электрокоррозии приведена в табл. 14.2.

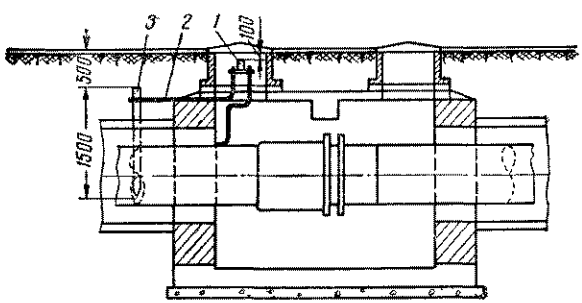


Рис. 14.6. Контрольно-измерительный пункт в теплофикационной камере

1 — пункт измерения; *2* — контрольный проводник (стальная проволока диаметром 4 *мм* в поливинилхлоридной трубке диаметром 5,5 *мм*); *3* — электрод (стальная труба диаметром 50 *мм*, *l*=1,5 *м*)

Для контроля за состоянием тепловой сети во время эксплуатации на участках, оборудованных средствами электрозащиты, в теплофикационных камерах устраиваются контрольно-измерительные пункты (рис. 14.6).

При применении дренажной и катодной защиты, а в отдельных случаях и протекторной целесообразно уменьшить продольное электрическое сопротивление трубопроводов С этой целью в местах установки сальниковых компенсаторов и задвижек устраивают продольные шунтирующие перемычки (рис. 14.7, 14.8).

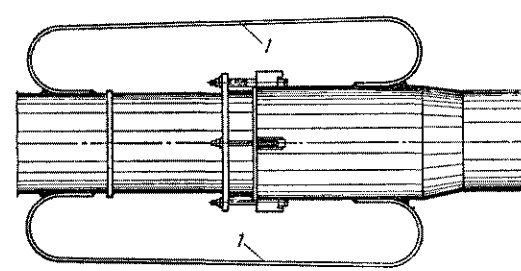


Рис. 14.7. Электроперемычки на сальниковом компенсаторе

1 — стальная полоса 25×4 *мм* в битумной обмазке

Наличие двух и более совместно прокладываемых трубопроводов с неодинаковым тепловым режимом создает разность потенциалов между трубами. Для выравнивания потенциалов устанавливают поперечные перемычки между трубами (рис. 14.9).

Для увеличения эффективности активных методов защиты при бесканальной прокладке применяют надежное антикоррозийное покрытие наружной поверхности

Таблица 14.2

Номенклатура применяемой аппаратуры в схемах защиты

Наименование	Тип	Средний дренажный ток в *а*	Допустимое обратное напряжение в *в*
Электродренажной			
Поляризованный электродренаж	ПГД-200	200	50
То же	УПДУ-60	300	100
»	ПДУ-62	300	100
»	ПД-3А	500	100
Усиленный дренаж[1]	УД-2400		

Наименование	Тип	Напряжение переменного тока в *в*	Напряжение выпрямленного тока в *в*	Выпрямленный ток в *а*
Катодной				
Катодная станция	КСС-1	127/220	24	12,6
То же	КСС-2	127/220	24	25
»	КСС-3	127/220	24	50
»	КС-400	110/220	40	20
»	КСГ-500-1	110/220	50	10
»	КСГ-1200-1	110/220	60	20
То же[1]	ВСГ-3м	220	3,5, 4,5; 6	до 200
Селеновый выпрямитель	ВСА-5	110/127/220	64	12

Наименование	Тип	Вес в *кг*	Средняя токоотдача в *ма*
Протекторной			
Протектор из магниевого сплава МЛ-4 или МЛ-5[2]	МГА	10	47,5

[1] Применяется только в схемах усиленного дренажа.

[2] Протектор устанавливается в обмазке (наполнителе), в состав которой входят:

сернокислый магний	17 *кг*
гипс	17 »
глина строительная сухая	30 »

Указанные материалы перемешиваются с добавлением 14 *л* воды до тестообразной массы.

труб, обладающее диэлектрическими свойствами. При прокладке в каналах применяют специальные подушки под подвижные опоры с электроизоляцией, которая выполняется в виде нескольких слоев паронита. В зарубежной практике применяется устройство опорных подушек в виде стеклянного блока.

В местах установки щитовых и каркасных неподвижных опор предусматривают изоляцию трубы от опорной конструкции с помощью паронитовых прокладок (рис. 14.10).

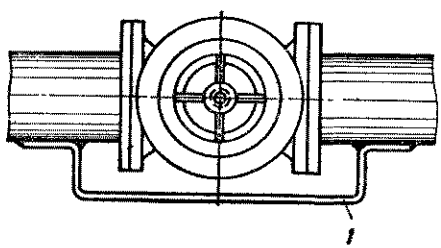


Рис 14 8. Электроперемычки на задвижке

1 — стальная полоса 50×4 *мм* в битумной обмазке

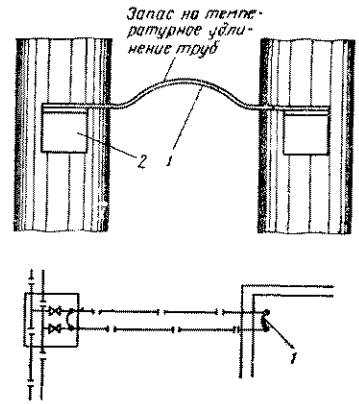


Рис 14 9 Электроперемычка между трубами

1 — стальная полоса 50×4 *мм*; *2* — уголок 50×50×5, *L*=50 *мм* (2 шт.);

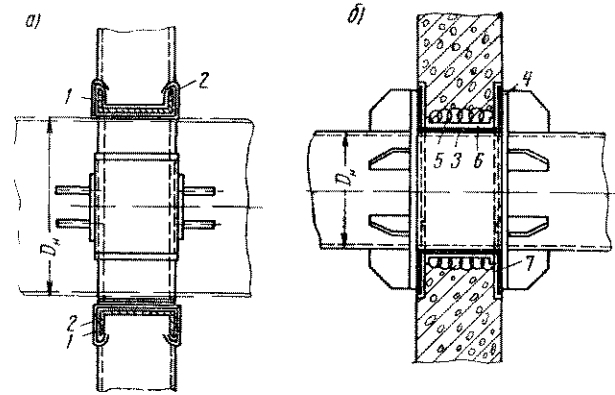


Рис 14.10 Неподвижная опора с электроизоляцией трубы

а — опора на каркасе; *б* — щитовая опора; *1* — паронитовая прокладка толщиной 1 *мм*, *2* — жесть нержавеющая, 1 *мм*, *3* — паронитовый цилиндр, *4* — паронитовая прокладка; *5* — асбестовый шнур, *6* — цилиндр из двух слоев бризола; *7* — прокладка из двух слоев бризола

Применение опор, обладающих диэлектрическими свойствами, значительно увеличивает зону электрической защиты одной установки. В случае вредного влияния активной защиты тепловых сетей на другие подземные коммуникации активная защита в виде поляризованного электродренажа выполняется комплексно для всей группы коммуникаций, которые соединяются между собой потенциаловыравнивающими перемычками. Разра-

ботка проекта защиты от электрокоррозии производится на основе специальных электрических коррозионных изысканий. Первым этапом изысканий является определение коррозийных условий по трассе тепловых сетей на основе сведений о существующих и проектируемых установках, которые могут служить источниками блуждающих токов и электрических измерений в характерных точках. Измерения разности потенциалов «рельс электрифицированного транспорта — земля» производят на электрифицированной железной дороге через 300—400 *м* при параллельной прокладке и в местах пересечения, а на трамвайной линии через 200—300 *м* в местах пересечения и вблизи отсасывающих пунктов. Измерения разности потенциалов «шина отрицательной полярности — земля» производят на близко расположенных тяговых подстанциях. По трассе тепловой сети определяют удельное сопротивление грунта. Для действующих тепловых сетей измеряют разность потенциалов «трубопровод — земля» и «сооружение — земля» (при параллельной прокладке с другими коммуникациями и при пересечениях).

Период измерений потенциалов «рельс — земля», «теплопровод — земля» и «сооружение — земля» в каждом пункте измерения принимается 10 *мин*, а «шина отрицательной полярности — земля» — 4—6 часов.

В характерных (в коррозийном отношении) пунктах на сооружении производятся многочасовые измерения, количество и продолжительность которых обусловливается местными условиями.

В выявленной опасной зоне в ряде пунктов произ-

Таблица 14.3

Электроизмерительные приборы для коррозийных изысканий

Наименование	Обозначение	Назначение	Погрешность в %	Пределы измерения	Исполнение
Многопредельный ампервольтметр	М231	Для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока	±1,5	По току: 0,005—0—0,005 *а* 0,05—0—0,05 „ 0,1—0—0,1 „ 1—0—1 „ 10—0—10 „ по напряжению: 75—0—75 *мв* 0,5—0—0,5 *в* 1—0—1 *в* 5—0—5 *в* 10—0—10 *в* 100—0—100 *в*	Переносный, изготовляется в металлическом штампованном корпусе
Самопишущий многопредельный милливольтмикроамперметр	Н373-2	Для измерения и записи малых токов и напряжений	+1,5	По току: 0,5—1,5—5—15—50—150 *Мка* 0,5—1,5—5—15—50—150 *ма* по напряжению: 5—15—45—75—150 *мв* 0,5—1,5—5—15—50—15 *в*	Переносный, изготовляется в металлическом корпусе. Питание от сети переменного тока 127/220 *в*
Самопишущий многопредельный микроампер — милливольтметр с автономным блоком питания	Н373-3	Для измерения и записи малых токов и напряжений	+2,5	То же	Переносный, изготовляется в металлическом корпусе. Питание от блока П373 и от сети
Измеритель заземления	МС-08	Для измерения сопротивления заземляющих устройств и удельного сопротивления грунта	±1,5	0—1000 *ом* 0—100 „ 0—10 „	Переносный, изготовляется в пластмассовом корпусе
Ампервольтметр	Ц20	Для измерения силы и напряжения постоянного тока, напряжения переменного тока и сопротивления постоянному току	+4 при измерении тока и напряжения ±2,5 при измерении сопротивления	Постоянный ток: 0—300 *Мка* 0—3 *ма* 0—300 „ 0—750 „ напряжение постоянного тока: 0—1,58 *в* 0—68 „ 0—308 „ 0—120 „ 0—600 „ сопротивление: 0—500 *ом* 0—0,5—5 *ком* 0,5—50 „ 5—500 „	То же

водятся синхронные замеры потенциалов в течение определенного периода времени при заданном режиме. Такая организация электрометрических работ позволяет получить сопоставимые результаты измерений, по которым можно делать выводы о распределении потенциалов в опасных зонах, границах этих зон и о взаимном влиянии подземных сооружений.

При производстве измерений разности потенциалов для осуществления контакта с землей при величине потенциала ниже 1 *в* применяется медносульфатный электрод, выше 1 *в* — стальной электрод.

Практически измерения потенциалов выполняют визуальным наблюдением за показаниями приборов (вольтметрами магнитоэлектрической системы с большим внутренним сопротивлением). Значительное упрощение методики измерений при одновременном повышении качества и надежности получаемых результатов вносит автоматическая регистрация измеряемых величин с использованием самопишущих приборов.

Следующим этапом коррозийных изысканий являются экспериментальные опробования на проложенной тепловой сети для уточнения оптимальных параметров электрозащиты.

Выбор пунктов подключения экспериментального электродренажа производится в зависимости от конфигурации защищаемой теплосети и места расположения источника блуждающих токов.

Для упрощения испытаний защиты дренажный кабель подключают к теплопроводу в доступных местах (в камерах и т. п.).

При опытном дренировании обычно используют гибкий медный кабель в резиновом шланге сечением не менее 100 *мм*^{2}.

Эффективность защитного действия опытного дренажа определяют по результатам нескольких циклов измерений потенциалов по трассе теплосети с отключенной и включенной защитной установкой при изменении режимов дренирования. Параллельно с измерениями потенциалов фиксируют величину дренажного тока.

Если измерениями установлено, что зона защитного действия опытного электродренажа при максимальном токе не распространяется на защищаемый участок тепловой сети, испытывают возможные варианты перемещения точки дренирования или включают дополнительные дренажи.

Для уточнения параметров катодной защиты используется экспериментальная катодная станция, состоящая из источника постоянного тока (выпрямителя), временного анодного заземления и соединительных кабелей. Катодную станцию подключают к трубопроводу в точке с наибольшими положительными потенциалами.

При устройстве анодного заземления следует учитывать влияние смежных подземных сооружений. Временное анодное заземление состоит из нескольких труб диаметром 50—70 *мм*, длиной 2—3 *м*. В качестве временных анодных заземлений можно использовать существующие металлические конструкции (пасынки опор, металлические ограды и т. д.), которые не имеют контактов с подземными сооружениями.

Определение эффективности катодной защиты сводится к измерениям, аналогичным испытанию электродренажа.

Оптимальные параметры для стационарной установки выбираются при различных режимах работы опытной катодной станции.

Заключительный этап электрических коррозийных изысканий — определение влияния электрозащиты на смежные подземные металлические сооружения путем измерений на подземных сооружениях при отключенной и включенной защите тепловой сети в выбранном режиме ее работы. В зависимости от результатов проверки принимают решение о совместной или раздельной защите.

Материалы изысканий обрабатывают и издают в виде диаграмм и графиков отдельным «Отчетом об электрических коррозийных изысканиях». В Отчете дается заключение о степени коррозийной опасности и рекомендация защитных мероприятий.

Аппаратура и приборы, применяемые при производстве электрических изысканий, приведены в табл. 14.3.

ГЛАВА 15

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

15.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчет прочности и устойчивости конструкций тепловых сетей производится по предельному состоянию на наиболее невыгодные возможные расчетные сочетания воздействий и нагрузок, определяемые с учетом очередности строительства, способов производства работ и технологических нагрузок в периоды пуска и эксплуатации трубопроводов.

Основные сочетания нагрузок на строительные конструкции слагаются из собственного веса, нагрузок от трубопроводов и оборудования, давления грунта и грунтовой воды и нагрузок от наземного транспорта. Дополнительные — из нагрузок, входящих в основные сочетания, с добавлением ветровой нагрузки и нагрузок от температурного воздействия на строительную конструкцию. Особые — из дополнительного сочетания нагрузок и особого воздействия (например, сейсмическая нагрузка).

При расчетах с учетом дополнительных или особых нагрузок величины расчетных нагрузок, кроме собственного веса, умножаются на коэффициент, равный: при учете дополнительных сочетаний — 0,9, а при учете особых сочетаний — 0,8.

Расчет элементов строительных конструкций тепловых сетей должен производиться по соответствующим техническим условиям и нормам с обязательной проверкой устойчивости сооружения в целом.

При проектировании сборных железобетонных элементов следует стремиться к ограничению их веса в пределах 5 *т*. Размеры сборных элементов не должны превышать габаритов, установленных для перевозки по улицам в населенных пунктах.

Глубину заложения подошвы фундаментов надземных опор и опор эстакад определяют расчетом устойчивости основания и условиями пучения грунтов при промерзании (СНиП II-Б.1-62).

Основание под фундаменты опор рассчитывается по первому предельному состоянию (по несущей способности) или по второму предельному состоянию (по деформациям) в зависимости от вида грунтов и допустимости неравномерной осадки двух ближайших опор под трубопроводами или эстакадой (СНиП II-Б.1-62).

Деление грунтов по гранулометрическому составу, плотности, числу пластичности и консистенции, а также нормативные давления на грунты основания, нормативные и расчетные характеристики песчаных и глинистых грунтов (сцепление, угол внутреннего трения и модуль упругости) принимают по таблицам СНиП II-Б.1-62.

15.2. ПОДЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА

Сборные конструкции каналов для подземной прокладки трубопроводов укладывают на выравнивающий песчаный слой толщиной 100 *мм*. При наличии дешевого щебня или гравия подготовка может выполняться из этих же материалов.

Чтобы предотвратить вынос песчаной подготовки из-под днища каналов поверхностными водами во время монтажа, ее по длине траншеи через каждые 10—20 *м* (в зависимости от крутизны уклонов дна каналов) рекомендуется прерывать поперечными замками шириной 40—60 *см* из местного глинистого грунта. Засыпку траншей под переездами и дорогами с усовершенствованными покрытиями следует выполнять из утрамбованных непросадочных грунтов.

Засыпку каналов, уложенных на лёссовидных грунтах, выполняют из плотных слабофильтрующих грунтов с обязательным их уплотнением. Применение дренирующих засыпок в лёссовых грунтах может привести к замачиванию основания и его просадке.

Планировка земли по трассе должна обеспечивать отвод поверхностных вод с зоны прокладки трубопроводов.

Поверхности сборных железобетонных конструкций каналов и камер, соприкасающиеся с грунтом, во всех случаях должны покрываться обмазочной гидроизоляцией.

При проектировании подземных сооружений тепловых сетей нормативные временные нагрузки от подвижного состава железных дорог и колонн автомобилей следует определять в соответствии с указанием СНиП II-Д 7-62. Нагрузки от подвижного состава железных дорог принимают по классу СК при K, равном 14.

Нагрузки от колонн автомобилей принимаются в виде нагрузки Н-30 от двух колонн, а при прокладке внутри кварталов — в виде нагрузки Н-10 (табл. 15.1).

Распределение вертикальной нагрузки от колес автомобилей при заглублении верха сооружений до 1,2 *м* принимается в пределах бетонного дорожного покрытия под углом 45°, а в грунте — под углом 30° к вертикали.

При наложении друг на друга площадей давления от отдельных колес интенсивность давления принимают равной суммарной нагрузке от этих колес, отнесенной к совмещенной площади давлений, $F=ab$ *м*² (рис. 15.1).

При заглублении верха сооружений на 1,2 *м* и более нормативную вертикальную нагрузку от колонн автомобилей принимают равной 2 *т*/*м*².

Горизонтальную нагрузку на подземные сооружения тепловых сетей от подвижных нормативных временных нагрузок, находящихся в пределах призмы обрушения грунта, определяют по формуле

$$P_г = P_в \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi_н}{2}\right) \text{ т/м}^2, \qquad (15.1)$$

Таблица 15.1

Основные показатели для автомобилей по схемам Н-30 и Н-10

Наименование показателей	Единица измерения	Схема нагрузки		
		Н-30	Н-10	
			утяжеленный автомобиль	нормальный автомобиль
Вес нагруженного автомобиля	*т*	30	13	10
Давление на заднюю ось	»	2×12	9,5	7
» » переднюю ось	»	6	3,5	3
Ширина заднего ската	*м*	0,6	0,4	0,3
» переднего ската	»	0,3	0,2	0,1
Длина соприкасания ската с покрытием проезжей части (по направлению движения)	»	0,2	0,2	0,2
Ширина кузова	»	2,9	2,7	2,7
База автомобиля	»	6+1,6	4	4
Ширина колеи по серединам скатов	»	1,9	1,7	1,7

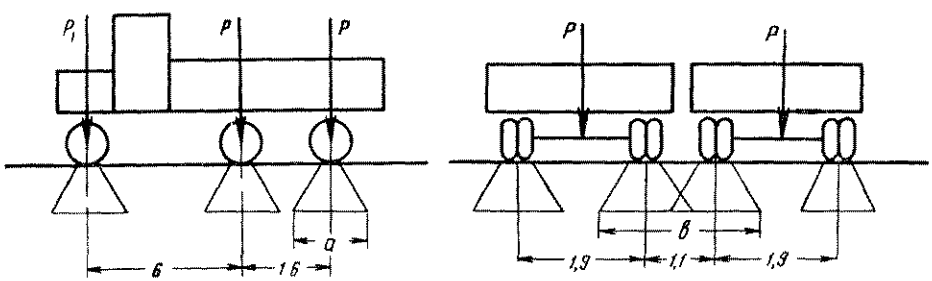


Рис 15 1. Схема распределения нагрузки в грунте

где $q_в$ — вертикальная нагрузка от давления грунта на горизонтальную проекцию сооружения в $т/м^2$;
$q_г$ — горизонтальная нагрузка от давления грунта на вертикальную проекцию сооружения в $т/м^2$;
γ_0 — объемный вес грунта в $т/м^3$;
h_0 — расстояние от верха сооружения до поверхности земли в *м* (рис. 15 3);
h — расстояние от рассматриваемого сечения до поверхности земли в *м*;
$\varphi_н$ — нормативный угол внутреннего трения грунта в градусах принимают в соответствии с указаниями СНиП II-Б 1-62.

Коэффициент перегрузки для нагрузок от давления грунта принимают равным 1,2 (0,8) *.

Горизонтальное давление $q_{г.в}$ от грунтовой воды на стенки каналов, тоннелей, камер и других сооружений на глубине y от ее горизонта определяют с учетом взвешивающего действия воды на грунт по формуле

$$q_{г.в} = y\left[1 - \frac{\operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)}{1-\varepsilon}\right] т/м^2, \qquad (15.4)$$

где ε — коэффициент пористости грунта;
y — расстояние от наивысшего уровня грунтовой воды до рассматриваемого сечения.

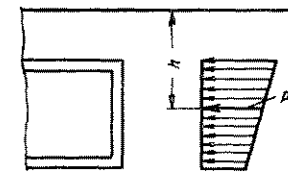


Рис. 15 2. Схема горизонтальной нагрузки на подземное сооружение от транспорта

где $P_г$ — нормативное горизонтальное давление в тоннах на 1 $м^2$ вертикальной проекции сооружения;
$P_в$ — вертикальное давление от нормативной временной нагрузки на глубине h (рис. 15 2);
$\varphi_н$ — нормативный угол внутреннего трения грунта в *град* принимают по СНиП II-Б 1-62.

Коэффициент перегрузки для подвижных временных нагрузок принимают от подвижного состава железных дорог n=1,3; от колонн автомобилей n=1,4

Динамический коэффициент $(1+\mu)$ для подвижных временных нагрузок принимают: при глубине заложения верха подземных сооружений тепловых сетей не менее 0,5 *м* $(1+\mu)$=1; при отсутствии засыпки $(1+\mu)$= =1,3; при промежуточных значениях высоты засыпки — по интерполяции.

Нормативные нагрузки от давления грунта на подземные сооружения тепловых сетей следует определять по формулам:

вертикальную

$$q_в = \gamma_0 h_0 \ т/м^2, \qquad (15.2)$$

горизонтальную

$$q_г = \gamma_0 h \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi_н}{2}\right), \qquad (15.3)$$

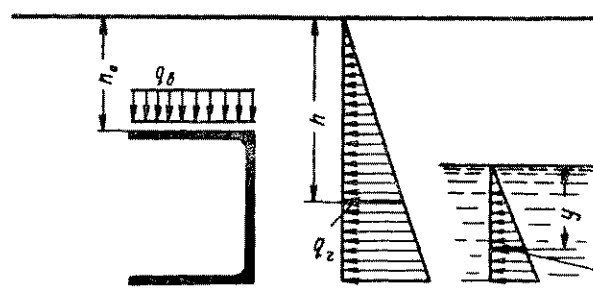


Рис 15 3 Схема нагрузки на подземное сооружение от грунта и грунтовой воды

Непроходные каналы

Непроходные каналы выполняют из сборного бетона и железобетона. При небольшой длине трассы и малых диаметрах труб стены непроходных каналов допу-

* Указанное в скобках значение коэффициента перегрузки принимают в тех случаях, когда уменьшение нагрузок вызывает ухудшение работы конструкций

скается выполнять из хорошо обожженного красного кирпича марки 100.

Непроходные каналы делятся на одноячейковые, двухъячейковые и многоячейковые.

В каналах серии ТС-01-01 (рис. 15.4) стены выполняются из сборных бетонных блоков или из кирпича, днище — из бетонных плит или монолитного бетона. Каналы перекрываются плоскими сборными железобетонными плитами. Высота каналов в свету от 190 до 1060 *мм*, ширина — от 250 до 1800 *мм*. Расход материалов на стены, днище и перекрытие одноячейковых каналов по ТС-01-01 приведен в табл. 15.2, 15.3.

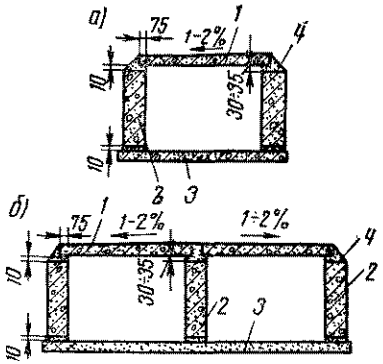


Рис. 15.4. Канал с бетонными стенками по ТС-01-01

а — одноячейковый; *б* — двухъячейковый; *1* — сборные железобетонные плиты покрытий; *2* — стеновые блоки; *3* — плиты основания или бетонная подготовка; *4* — цементный раствор

Таблица 15.2

Расход материалов для стен на 100 *пог. м* одноячейковых каналов

Высота канала в свету в *мм*	Стеновые бетонные блоки		Кирпичные стенки	
	расход материалов		толщина в *мм*	объем в $м^3$
	бетона в $м^3$	стали в *кг*		
190	4	—	120	4,6
235	5,2	—	120	5,6
310	7	—	120	7,4
385	8,8	34	120	9,2
460	10,6	34	120	11
535	12,4	34	250	26 8
610	14,2	34	250	30,5
685	21,2	34	250	34,3
760	23,6	34	250	38
835	26	34	250	41,8
985	38,4	34	250	49,3
1060	41,4	34	250	53

В 1963 г. Госстроем СССР введена в действие серия ИС-01-04 унифицированных сборных железобетонных непроходных каналов. 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*.

По конструкции каналы разделяются на два типа. Первый тип собирается из лотковых элементов и обозначается марками КЛ и КЛс (рис. 15,5, *а, б* и 15.6, *а, б*), второй — из сборных железобетонных плит и обозначается марками КС (рис. 15.7, *а, б*). Каналы марок КЛ высотой 300, 450 и 600 *мм* собирают из лотковых элементов, перекрываемых съемными плоскими плитами. Каналы высотой 900 и 1200 *мм* монтируют из лотковых элементов, уложенных друг на друга.

Таблица 15.3

Расход материалов на покрытие и днище на 100 *пог. м* одноячейковых каналов с бетонными стенками

Ширина канала в *мм*	Плиты перекрытия		Плиты основания	
	бетон в $м^3$	сталь в *кг*	бетон в $м^3$	сталь в *кг*
250	2,7	49	6,4	Плиты не армируются
300	2,7	49	8,2	
350	3,3	80	8,2	
400	3,3	80	8,2	
450	3,8	151	8,2	
500	3.8	151	10	
550	4,4	228	10	
600	4.4	228	10	
700	5,8	264	12,8	
800	6,4	410	12,8	
900	8,2	576	12,8	
1000	10,2	703	14.6	
1100	12,8	778	16,4	
1200	13,8	834	16,4	
1300	17,7	888	18,2	
1400	18,6	1252	18,2	
1500	21.4	1316	18,2	
1600	22,6	1388	20	
1700	25,8	1800	22,8	
1800	31	1546	22,8	

В каналах типа КС сборные стеновые панели устанавливают в пазы сборных плит днища и замоноличивают бетоном М-300 на мелком щебне.

Маркировка, габаритные размеры и расход материалов на каналы марок КЛс и КС приведены в табл. 15.4. 15.5, 15.6.

Номенклатура сборных изделий, разработанных в серии ИС-01-04, приведена в табл. 15.7, 15.8.

Таблица 15.4

Расход материалов на 3 *пог. м* одноячейковых каналов марок КЛ и КЛс (см. рис. 15.5, *а*; 15.6, *а*)

Марка канала	Габариты каналов в *м*		Бетон сборный (в $м^3$)	Сталь (в *кг*)
	А	*Н*		
КЛ60-30	0,6	0,3	0,47	29,2
КЛ60-45	0,6	0,45	0,53	30,6
КЛ90-45	0,9	0,45	0,76	56,2
КЛ60-60	0,6	0,6	0,61	40,1
КЛ90-60	0,9	0,6	0,84	58
КЛ120-60	1,2	0,6	1,12	101,9
КЛ150-60	1,5	0,6	1,62	143
КЛ210-60	2,1	0,6	2,56	240,2
КЛс90-90	0,9	0,9	0,84	87,4
КЛс120-90	1,2	0,9	1,24	139,4
КЛс150-90	1,5	0,9	1,76	177,8
КЛс120-120	1,2	1,2	1,38	148,6
КЛс150-120	1,5	1,2	1,94	188,6
КЛс210-120	2,1	1,2	2,82	299,2

Номенклатура сборных изделий, разработанных в серии ИС-01-04, приведена в табл. 15.7, 15.8.

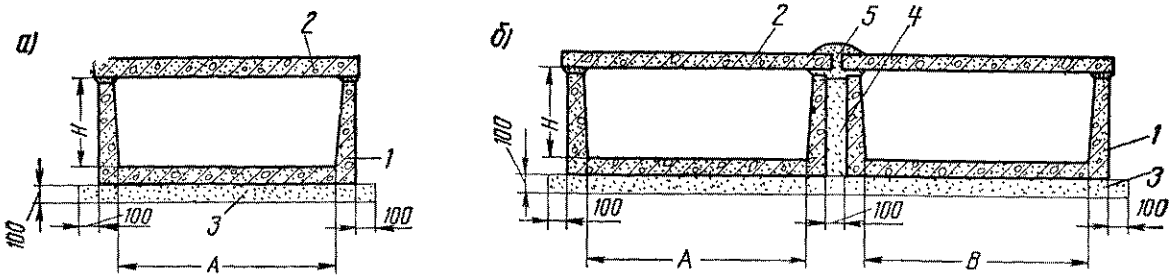


Рис. 15.5. Непроходные каналы типа КЛ

а — одноячейковый; *б* — двухъячейковый; *1* — лотковый элемент; *2* — плита перекрытия; *3* — песчаная подготовка; *4* — песок; *5* — цементная шпонка

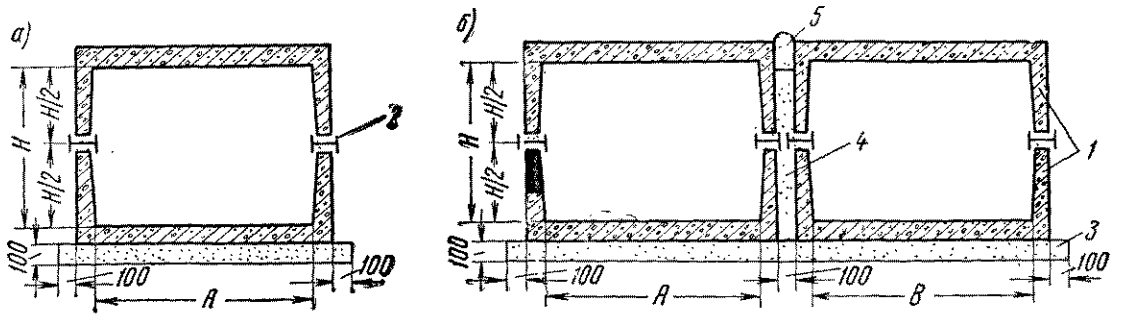


Рис. 15.6. Непроходные каналы типа КЛс

а — одноячейковый канал; *б* — двухъячейковый канал; *1* — железобетонный лотковый элемент; *2* — двутавр; *3* — песчаная подготовка; *4* — песок; *5* — цементная шпонка

Таблица 15.5

Габаритные размеры двухъячейковых каналов 2КЛ и 2КЛс (см. рис. 15.5, *б*; 15.6, *б*)

Марка канала	Габариты каналов в *м*		
	А	*Б*	*Н*
2КЛ 60-30	0,6	0,6	0,3
2КЛ 60-45	0,6	0,6	
2КЛ 90-45	0,9	0 9	0,45
2КЛ (60+90)—45	0,6	0,9	
2КЛ 60-60	0,6	0,6	
2КЛ 90-60	0,9	0 9	
2КЛ 120—60	1.2	1,2	
2КЛ (60+90)—60	0.6	0,9	0,6
2КЛ (60+120)—60	0.6	1,2	
2КЛ (60+150)—60	0.6	1.5	
2КЛс 90-90	0,9	0,9	
2КЛс 120-90	1,2	1,2	
2КЛс 150-90	1,5	1,5	
2КЛс (90+120)—90	0,9	1,2	0,9
2КЛс (90+150)—90	0,9	1,5	
2КЛс (120+150)—90	1,2	1,5	
2КЛс 120-120	1,2	1,2	
2КЛс 150-120	1,5	1,5	
2КЛс 210-120	2.1	2,1	
2КЛс (120+150)—120	1,2	1,5	1,2
2КЛс (120+210)—120	1,2	2,1	
2КЛс (150+210)—120	1,5	2,1	

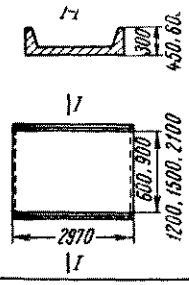
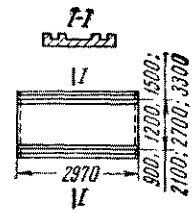
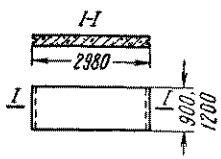
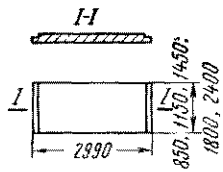
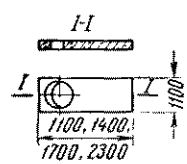
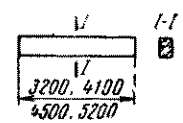
Таблица 15.6

Расход материалов на 3 *пог. м* каналов марок КС и 2КС (см. рис. 15.7)

Марка канала	Габариты каналов в *м*			Расход бетона в $м^3$		Расход стали в *кг*
	А	*В*	*Н*	сборного	монолитного	
КС 90-90	0,9	—		1,44	0,11	158,8
КС 120-90	1,2	—		1,62	0,11	193,4
КС 150-90	1,5	—		1,93	0,11	227,9
КС 210-90	2,1	—	0,9	2,84	0,11	322,5
КС 90-120	0,9	—		1,72	0,09	209,2
КС 120-120	1,2	—		1,9	0,09	243,8
КС 150-120	1,5	—	1,2	2,21	0,09	278,3
КС 210-120	2,1	—		3,12	0,09	372,9
2КС 120-90	1,2	1 2		2,9	0,11	310,5
2КС 150-90	1,5	1,5		3,5	0,11	375,7
2КС 210-90	2,1	2,1		5,34	0,11	599,9
2КС (90+120)—90	0,9	1,2	0,9	2,88	0,11	305,3
2КС (90+150)—90	0,9	1,5		3,03	0,11	317,3
2КС (90+210)—90	0,9	2,1		3,69	0,11	381,8
2КС (120+150)—90	1,2	1,5		3,12	0,11	332,4
2КС (120+210)—90	1,2	2,1		3,78	0,11	396,9
2КС 120-120	1,2	1,2		3,32	0,09	367,8
2КС 150-120	1,5	1,2		3,92	0,09	433
2КС 210-120	2,1	1,2	1,2	5,76	0,09	657,2
2КС (90+120)—120	0,9	1,2		3,3	0,09	362,6
2КС (90+150)—120	0,9	1,5		3,45	0,09	374,6
2КС (90+210)—120	0,9	2,1		4,11	0,09	439,1
2КС (120+150)—120	1,2	1,5		3,54	0,09	389,7
2КС (120+210)—120	1,2	2,1		4,2	0,09	454,2

Таблица 15.7

Номенклатура сборных железобетонных изделий для каналов и расход материалов на одно изделие

Наименование изделия	Эскиз	Марка изделия	Вес в *т*	Марка бетона	Расход материалов на 1 изделие		Лист выпуска 2-й серии
					бетон в $м^3$	сталь в *кг*	
Лотки		Л1	0,73	300	0,29	17,4	1
		Л2	0,88	300	0,35	18,8	2
		Л3	1,07	300	0,43	28,3	3
		Л4	1,05	300	0,42	37,3	4
		Л5	1,25	300	0,5	39,1	5
		Л6	1,55	300	0,62	63,3	6
		Л7	1,72	300	0,69	67,9	7
		Л8	2,2	300	0,88	81,7	8
		Л9	2,42	300	0,97	87,1	9
		Л10	3,52	300	1,41	141,2	10
Плиты днища		ПД-1	1,7	300	0,68	84,3	21
		ПД-2	1,7	300	0,68	78,5	21
		ПД-3	1,92	300	0,77	103,8	22
		ПД-4	1,92	300	0,77	91,5	22
		ПД-5	2,15	300	0,86	116,4	23
		ПД-6	2,15	300	0,86	103,1	23
		ПД-7	3,18	300	1,27	167,9	24
		ПД-8	3,18	300	1,27	136,7	24
		ПД-9	1,5	300	0,6	79	25
		ПД-10	1,5	300	0,6	64,4	25
		ПД-11	1,7	300	0,68	89,7	26
		ПД-12	1,7	300	0,68	77	26
		ПД-13	2,75	300	1,1	158,7	27
		ПД-14	2,75	300	1,1	129,4	27
Плиты стеновые		ПС-1	0,53	300	0,21	27,8	28
		ПС-2	0,88	300	0,35	53	29
		РС-1	1,05	300	0,42	28,9	30
		РС-2	1,4	300	0,56	35,8	31
Плиты перекрытий		П1	0,45	200	0,18	11,8	32
		П2	0,85	200	0,34	18,9	32
		П3	1,08	300	0,43	34	32
		П4	1,63	300	0,65	55,9	32
		П5	2,88	300	1,15	99	32
		П6	1,08	300	0,43	45,7	34
		П7	1,63	300	0,65	73,1	34
		П8	2,88	300	1,15	128	34
Плиты перекрытий с отверстиями		ПО1	0,25	300	0,1	34,4	46
		ПО2	0,4	300	0,16	29,4	47
		ПО3	0,63	300	0,25	34,2	47
		ПО4	1,18	300	0,47	60,6	48
Балки перекрытий		Б1	1	300	0,4	45,9	49
		Б2	1,28	300	0,51	63,2	49
		Б3	1,45	300	0,58	71,4	50
		Б4	1,63	300	0,65	93,8	50

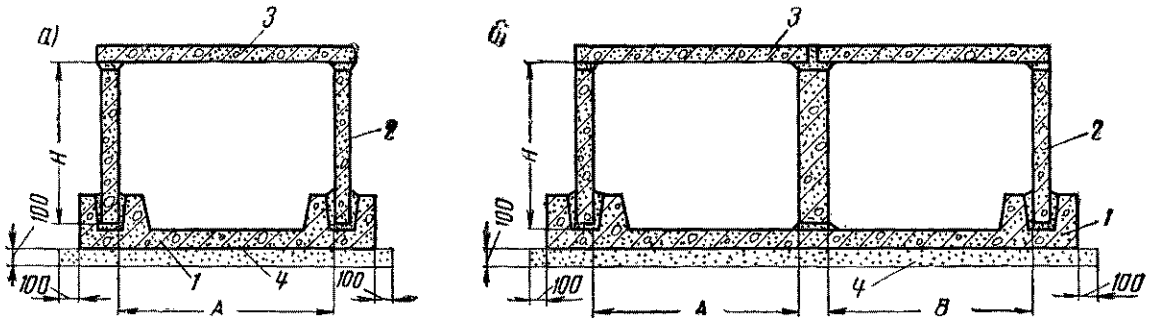


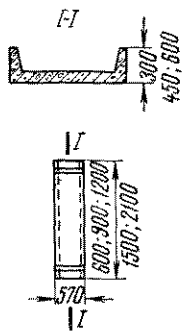
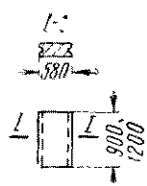
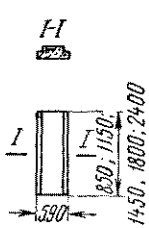
Рис. 15.7. Непроходные каналы типа КС

а — одноячейковый; *б* — двухъячейковый; *1* — железобетонная плита днища; *2* — железобетонные стеновые плиты; *3* — плиты перекрытия; *4* — песчаная подготовка

В серии ИС-01-04 также разработаны рабочие чертежи сборных каналов для строительства в районах с сейсмичностью выше 7 баллов, при просадочных грунтах и при наличии грунтовых вод.

Таблица 15.8

Номенклатура сборных железобетонных изделий для каналов и расход материалов на одно изделие (доборные элементы)

Наименование изделия	Эскиз	Марка изделия	Вес в т	Марка бетона	Расход материалов на 1 изделие		Лист выпуска 2-й серии
					бетон в $м^3$	сталь в кг	
Лотки		Л1д	0,15	300	0,06	4,8	11
		Л2д	0,18	300	0,07	5,2	12
		Л3д	0,2	300	0,08	7,5	13
		Л4д	0,2	300	0,08	9,1	14
		Л5д	0,25	300	0,1	9,5	15
		Л6д	0,3	300	0,12	14,3	16
		Л7д	0,43	300	0,13	15,5	17
		Л8д	0,43	300	0,17	20,1	18
		Л9д	0,48	300	0,19	21,6	19
		Л10д	0,68	300	0,27	29,1	20
Плиты стеновые		ПС1д	0,1	300	0,04	6,7	28
		ПС2д	0,18	300	0,07	11,6	29
		РС1д	0,2	300	0,08	8,5	30
		РС2д	0,28	300	0,11	10,3	31
Плиты перекрытий		П1д	0,1	200	0,04	3,5	33
		П2д	0,18	200	0,07	4,8	33
		П3д	0,23	300	0,09	7,9	33
		П4д	0,33	300	0,13	12,3	33
		П5д	0,58	300	0,23	21,7	33
		П6д	0,23	300	0,09	10,2	35
		П7д	0,33	300	0,13	15,6	35
		П8д	0,58	300	0,23	27,5	35

Тоннели (проходные каналы)

Госстроем СССР введена в действие серия ИС-01-05 «Унифицированные сборные железобетонные тоннели», в которой разработаны рабочие чертежи одно- и двухсекционных тоннелей, предназначенных для сооружения в непросадочных грунтах сухих и при наличии грунтовых вод при сейсмичности до 6 баллов. Ширина односекционных тоннелей — 1,5; 1,8; 2,1; 2,4; 3; 3,6; 4,2 *м*, высота 2,1; 2,4 и 3 *м*. Ширина двухсекционных тоннелей 5,2; 6,4; 7,6 и 8,8 *м*, высота 2,4 и 3 *м*.

Институтом Мосинжпроект разработаны железобетонные тоннели-коллекторы из сборных элементов. Коллектор собирается из звеньев рамной конструкции длиной 1,8 и 2,4 *м*. Секции выполняются нормальной и повышенной прочности. Секции нормальной прочности рассчитаны на подвижную нагрузку НК-80 при заглублении перекрытия до 2 *м*, повышенной — до 4 *м*. Основные характеристики коллекторов из рамных звеньев даны в табл. 15.9

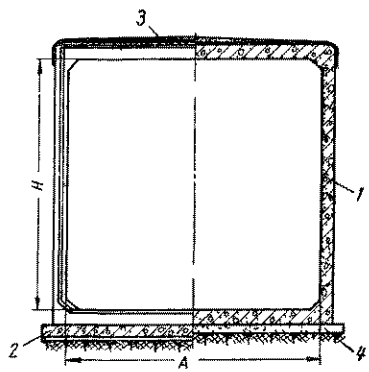


Рис. 15 8. Коллектор из замкнутых блоков по проекту Мосинжпроекта

1 — железобетонный блок; *2* — железобетонная подкладка под стык; *3* — оклеечная изоляция стыка; *4* — песчаная подготовка

Таблица 15.9

Расход основных материалов на 100 *пог. м* коллектора из замкнутых блоков по типовому проекту Мосинжпроекта (рис. 15.8)

Размеры секции в *м*		Объем железобетона в $м^3$	
A	*H*	сборного	монолитного
2,1	2,1	133,6	1,4
2,4	2,4	157,6	2,4
2,7	2,7	176,3	2,65

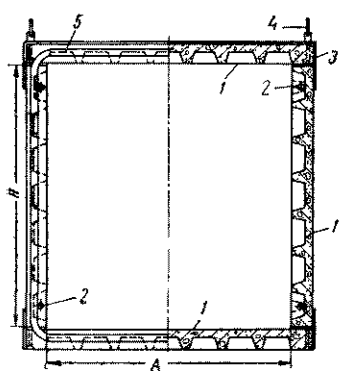


Рис. 15 9. Коллектор Мосинжпроекта из сборных часторебристых плит

1 — плиты; *2* — болт для соединения плит; *3* — оклеечная гидроизоляция; *4* — инвентарная петля для подъема плиты *5* — межсекционная прокладка из пароизола сечением 20×40 *мм*

Коллектор из часторебристых плит, изготовляемых способом непрерывного проката на станках системы инженера Н Я Козлова, рассчитан на действие подвижной нагрузки НК 80 при заглублении верха перекрытия до 2 *м*. Основные характеристики коллекторов из часторебристых плит даны в табл. 15.10.

Таблица 15.10

Расход основных материалов на 1 секцию (3,2 *пог. м*) сборного коллектора из часторебристых плит по типовому проекту Мосинжпроекта (рис. 15.9)

Размеры в *м*		Объем бетона в $м^3$	Вес стали в *кг*
A	*H*		
2,1	2,1	3,04	461
2,4	2,4	3,61	558
2,7	3	4,2	774
2,1	2,4	3,24	490
2,4	3	3,99	728

Коллектор из сборных железобетонных блоков монтируется из трех основных элементов: стеновых блоков Г-образной формы, плоских плит днища и плит перекрытия. Стык между стеновыми блоками и плитами днища омоноличивается. Коллекторы выполняются обычными и усиленными. Обычные коллекторы рассчитаны на подвижную нагрузку НК-80 при заглублении до 2 *м*, усиленные — до 4 *м*. Основные показатели коллекторов из сборных железобетонных блоков даны в табл. 15.11.

Таблица 15.11

Расход материалов на 100 *пог. м* коллекторов из сборных железобетонных блоков (рис. 15.10)

Размер в *м*		Объем сборного железобетона в $м^3$	Объем монолитного бетона в $м^3$
A	*H*		
1,7	1,8	103,9	20,6
1,9		110,6	11
2,1		116	11,2
2,3		120,7	11,4
2,5		128	11,7
2,7		133,3	11,9
1,7	2,1	110,5	22
1,9		117,2	11,4
2,1		122,5	11,6
2,3		127,2	11,8
2,5		134,5	12,1
2,7		139,9	12,3
1,9	2,4	123,7	12
2,1		129,1	12,2
2,3		133,8	12,4
2,5		141,1	12,7
2,7		146,4	12,9
1,9	3	141,2	12,9
2,1		146,6	13,1
2,3		151,3	13,3
2,5		158,6	13,6
2,7		163,9	13,8

Примечание. В зависимости от размеров коллекторов содержание арматурной стали в 1 $м^3$ сборного железобетона составляет при заглублении верха до 2 *м* — 100—120 *кг*, при заглублении верха от 2 до 4 *м* — 105—140 *кг*.

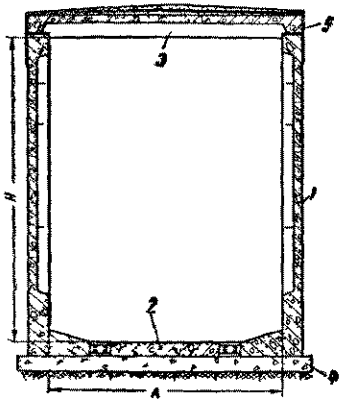


Рис 15 10 Коллектор Мосинжпроекта из сборных железобетонных блоков

1 — стеновой Г образный блок *2* — плита днища, *3* — плита перекрытия, *4* — бетонная подготовка, *5* — оклеечная гидроизоляция

Толщина (высота) опорных подушек определяется величиной наименьшего зазора между теплоизоляцией трубопроводов и полом канала

Размеры подушек в плане и их армирование определяют расчетом на прочность из условия передачи нагрузки от труб через бетонное дно канала на грунт.

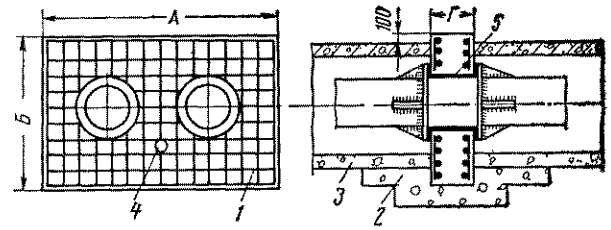


Рис 15 11 Щитовая неподвижная опора

1 — бетон М150, *2* — бетон М75, *3* — днище канала, *4* — отверстие для стока воды, *5* — асбестовая прокладка

Опорные конструкции

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* и обеспечивающие беспрепятственное скольжение стальных опор трубопроводов

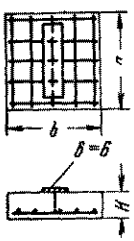
Характеристики подушек по серии ИС-01-04 приведены в табл 15 12

В случае выполнения защитного покрытия изоляции из асбоцементной штукатурки на месте высоту подушек под трубопроводом диаметром 350 *мм* и более рекомендуется принимать не менее 140 *мм*

В полупроходных каналах и проходных тоннелях нижний ряд трубопроводов также опирают на подушки, применяемые в непроходных каналах Верхние ярусы

Таблица 15.12

Характеристики опорных подушек

Эскиз	Марка подушки	Размеры подушки в *мм*		Объем бетона в $м^3$	Марка бетона	Расход стали в *кг*	Условный диаметр труб в *мм*	Максимальное расстояние между подушками в *м*
		a×*b*	*H*					
	ОП1	200×200	90	0,004	800	0,63	25 32 40 50 70	1,7 2 2,5 3 3
	ОП2	200×300		0,005		0,63	80 100 125 150 200	3,5 4 4,5 5 6
	ОП3	400×400		0,015		1,54	250 300	7 8
	ОП4	500×500	140	0,035		2,59	350 400	8 8,5
	ОП5	550×650		0,05		5,68	450	9
							500	10
	ОП6	650×750		0,07		10,08	600	10
	ОП7	750×850		0,09		14,59	700	10
							800	10

Примечание Подушки марок ОП-1 и ОП-2 изготовляют без армирования

труб опирают либо на металлические консоли и кронштейны, либо на рамы

Неподвижные опоры для трубопроводов в непроходных каналах выполняют щитовыми или в виде опорных подушек, бетонируемых совместно с днищем.

Щитовые неподвижные опоры представляют собой вертикальные железобетонные щиты с отверстием для прохода труб. Нагрузка от трубопроводов через щи-

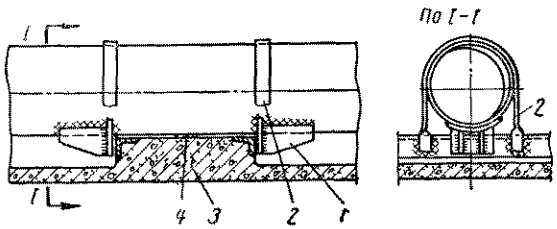


Рис. 15 12 Принципиальное решение неподвижного крепления трубопроводов хомутовыми опорами

1 — упор; *2* — хомут; *3* — опора *4* — прокладка из стальных листов

товые опоры передается на днище и стенки канала, а при бесканальной прокладке — на вертикальную плоскость грунта

Щитовые опоры в зависимости от грузоподъемности подъемного оборудования, имеющегося на строительной площадке, выполняют сборными или монолитными Армирование щитовых опор, как правило, двойное, симметричное

Для уменьшения температурного влияния труб на бетон между трубой и бетоном опоры устраивается асбестовая прокладка толщиной 10—30 *мм* в зависимости от температуры теплоносителя

В табл 15 13 приведены основные характеристики сборных железобетонных щитовых опор в непроходных каналах разработанные Мосэнергопроектом для труб диаметром до 400 *мм* и рассчитанных на нагрузку до 50 *т* (в зависимости от диаметров труб).

Таблица 15.13

Размеры и расход материалов на одну щитовую неподвижную опору (рис 15 11)

Диаметр трубопровода в *мм*	Размеры в *мм*			Расход материалов	
	А	*Б*	*Г*	железобетона в $м^3$	бетона в $м^3$
25	1000	700	100	0,07	0,15
32	1100	700	100	0,07	0,15
40	1100	700	100	0,07	0,15
50	1100	700	100	0,07	0,15
80	1400	900	150	0,18	0,24
100	1400	900	150	0,18	0,24
125	1400	900	150	0,18	0,24
150	1400	900	150	0,18	0,24
200	2000	1100	200	0,42	0,58
250	2000	1100	250	0,52	0,78
300	2500	1400	300	1	0,19
350	2500	1400	350	1,12	0,19
400	2500	1400	400	1,27	0,19

Конструкции неподвижных опор в виде подушек, выполняемых совместно с нижними элементами каналов, разработаны ВГПИ Теплоэлектропроект. Неподвижное крепление труб на них осуществляется хомутовыми опорами (рис. 15 12).

При больших осевых нагрузках от трубопроводов применяют монолитные опоры различных конструкций. Одна из таких опор приведена на рис. 15.13.

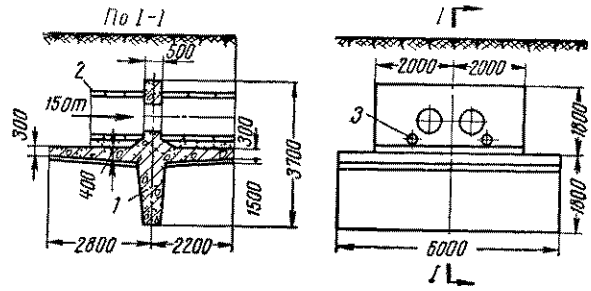


Рис. 15 13 Неподвижная опора из монолитного железобетона

1 — опора; *2* — канал; *3* — дренажное отверстие

Бесканальная прокладка

ВГПИ Теплоэлектропроект разработан альбом типовых рабочих чертежей бесканальной прокладки для двухтрубных тепловых сетей диаметром от 50 до 1000 *мм* для различных гидрогеологических условий.

При прокладке в сухих глинистых, песчаных и плотнослежавшихся грунтах изолированные трубопроводы укладывают на песчаную подушку (табл 15.14)

Таблица 15.14

Основные размеры сечения бесканальной прокладки в сухих грунтах (рис. 15.14)

Тип прокладки	Диаметр изоляции		Основные размеры в *мм*						
	подающей D_2	обратной D_1	*А*	*t*	*Б*	*В*	*g*	*К*	*h*
Б-50	249	99	1150	350	550	600	250	100	280
Б-70	249	118	1150	350	550	600	250	100	280
Б-80	301	131	1150	350	550	600	250	100	280
Б-100	311	160	1250	400	600	650	300	150	310
Б-125	361	185	1350	500	650	700	300	150	310
Б-150	411	211	1350	500	650	700	350	150	410
Б-200	464	271	1500	550	700	800	350	150	430
Б-250	516	325	1600	600	750	850	350	150	460
Б-300	567	377	1700	650	800	900	400	200	480
Б-350	612	429	1850	700	850	1000	400	200	510
Б-400	666	478	2000	800	950	1050	450	250	530
Б-450	712	530	2200	900	1050	1150	450	250	560
Б-500	756	581	2300	1000	1100	1200	450	250	580
Б-600	854	682	3100	1300	1500	1600	450	250	630
Б-700	952	772	3300	1400	1600	1700	450	250	680
Б-800	1050	872	3500	1500	1700	1800	500	300	730
Б-900	1152	972	3700	1600	1800	1900	500	300	780
Б-1000	1250	1072	3900	1700	1900	2000	500	300	830

При прокладке трубопроводов в мокрых грунтах или в зоне грунтовых вод устраивают попутный дренаж (рис 15 15, табл. 15 15)

В насыпных, торфянистых и других слабых сухих грунтах в основании песчаной подушки предусматрива-

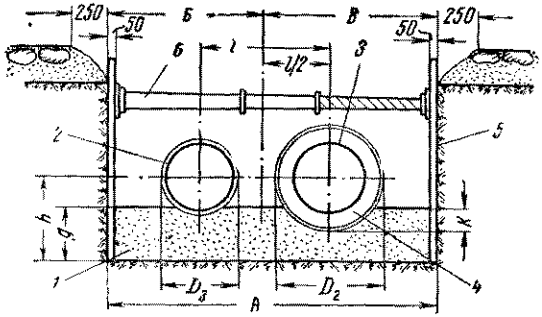


Рис. 15.14. Сечение бесканальной прокладки тепловых сетей типов Б-50—Б-1000 в сухих грунтах

1 — песок крупнозернистый, *2* — обратный трубопровод; *3* — прямой трубопровод; *4* — оболочка из автоклавного пенобетона; *5* — крепление траншеи досками; *6* — инвентарная распорка

Таблица 15.15

Основные размеры сечения бесканальной прокладки в мокрых грунтах (рис. 15.15)

Тип прокладки	Диаметр изоляции		Основные размеры в *мм*								
	подающей D_2	обратной D_3	*A*	*l*	*Б*	*В*	*Г*	*g*	*K*	*h*	h_1
Б-50	249	99	1600	350	550	1050	700	350	150	330	530
Б-70	249	118	1600	350	550	1050	700	350	150	330	530
Б-80	301	131	1600	350	550	1050	700	350	150	330	530
Б-100	311	160	1700	400	600	1100	750	350	150	360	550
Б-125	361	185	1800	500	650	1150	800	350	150	360	550
Б-150	411	211	1850	500	650	1200	850	350	150	410	600
Б-200	464	271	1950	550	700	1250	900	350	150	430	630
Б-250	516	325	2100	600	750	1350	1000	350	150	460	650
Б-300	567	377	2300	650	800	1500	1050	500	200	580	780
Б-350	612	429	2400	700	850	1550	1100	500	200	610	810
Б-400	666	478	2550	800	950	1600	1150	550	250	630	830
Б-450	712	530	2750	900	1050	1700	1250	550	250	680	850
Б-500	756	581	2850	1000	1100	1750	1300	550	250	680	880
Б-600	854	682	3500	1300	1500	2000	1500	550	250	730	930
Б-700	952	772	3700	1400	1600	2100	1600	550	250	780	980
Б-800	1050	872	3900	1500	1700	2200	1700	600	300	830	1030
Б-900	1152	972	4100	1600	1800	2300	1800	600	300	880	1080
Б-1000	1250	1072	4300	1700	1900	2400	1900	600	300	930	1130

ют дополнительную укладку сборных железобетонных плит (рис. 15.16) или замену слабого грунта уплотненной песчаной засыпкой на глубину не менее 500 *мм*.

При прокладке в мокрых слабых грунтах дополнительно к вышеупомянутым мероприятиям устраивают попутный дренаж (рис. 15.17). Объемы работ по устройству оснований для бесканальной прокладки приведены в табл. 15.16.

Неподвижные опоры при бесканальной прокладке на нагрузки до 100 *т* выполняются, как правило, в виде вертикальных железобетонных щитов прямоугольной формы.

При больших нагрузках устраивают тавровые опоры, состоящие из вертикального щита и фундаментной плиты. Для повышения устойчивости опоры против сдвига фундаментную плиту делают с одним или двумя зубьями. Для облегчения элементов тавровой опоры подошву и вертикальный щит рекомендуется соединять контрфорсами.

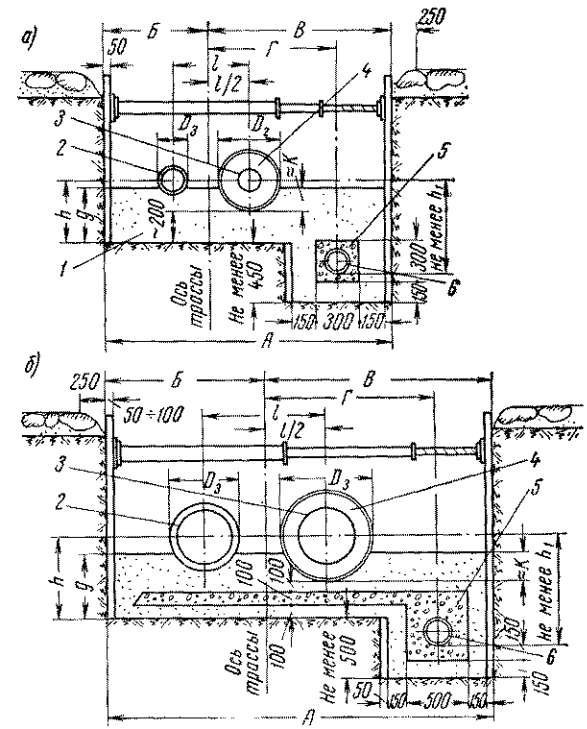


Рис. 15.15. Сечение бесканальной прокладки тепловых сетей в мокрых грунтах (размер по табл. 15.21)

а — для типов прокладки Б-50—Б-250; *б* — для типов прокладки Б-300—Б-1000; *1* — песок крупнозернистый; *2* — обратный трубопровод; *3* — прямой трубопровод; *4* — изоляция из автоклавного пенобетона; *5* — гравий; *6* — асбестоцементная труба

При размещении опоры в камере опору выполняют в виде стального каркаса, заделанного в пол и перекрытие камеры.

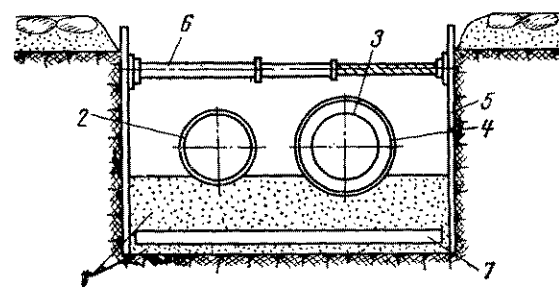


Рис. 15.16. Сечение бесканальной прокладки типов Б-50—Б-1000 в слабых сухих грунтах

1 — песок крупнозернистый; *2* — обратный теплопровод; *3* — прямой теплопровод; *4* — изоляция из автоклавного армопенобетона; *5* — крепление траншеи досками; *6* — инвентарная распорка; *7* — сборная железобетонная плита

Для обеспечения независимой осадки железобетонных опор и трубопроводов, а также для уменьшения теплового влияния трубопроводов на бетон на участке

Объемы работ по устройству оснований под трубопроводы при бесканальной прокладке (на 1 км трассы)

Тип основания	Характеристика грунта	Наименование	Единица измерения	Условный проход труб																
				50	70	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
I	Сухой	Песчаное основание	$м^3$	252	250	249	331	360	422	470	500	574	628	728	803	848	1188	1270	1436	1518	1598
II	Сухой слабый	Песчаная подготовка	„	58	58	58	63	68	68	75	80	85	93	100	110	115	155	165	175	185	195
		Песчаное основание	„	252	250	249	331	360	422	470	500	574	628	728	803	848	1188	1270	1436	1518	1598
		Сборные железобетонные плиты	„	115	115	115	125	135	135	150	160	255	277	300	330	345	465	495	525	555	585
III	Мокрый	Песчаное основание	„	314	312	311	340	375	388	418	465	494	528	615	693	729	1003	1080	1236	1318	1398
		Дренирующий горизонтальный гравийный слой	„	—	—	—	—	—	—	—	—	150	160	175	195	205	270	290	310	330	350
		Песчаная обсыпка дренажа	„	320	320	320	320	320	320	320	320	585	585	625	625	625	625	625	665	665	665
		Гравийная обсыпка дренажа	„	79	79	79	79	79	79	79	79	352	352	352	352	352	337	337	337	337	337
		Дренажные трубы	*м*	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
		Дренажные колодцы	шт.	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
IV	„	Песчаная подготовка	$м^3$	48	48	48	53		6	65	73	73	78	85	95	100	128	143	153	163	173
		Песчаное основание	„	314	312	311	340	375	388	418	465	494	528	615	693	729	1003	1080	1236	1318	1398
		Дренирующий горизонтальный гравийный слой	„	—	—	—	—	—	—	—	—	150	160	175	195	205	270	290	310	330	350
		Песчаная обсыпка дренажа	„	320	320	320	320	320	320	320	320	585	585	625	625	625	625	625	665	665	665
		Гравийная обсыпка дренажа	„	79	79	79	79	79	79	79	79	352	352	352	352	352	337	337	337	337	337
		Дренажные трубы	*м*	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
		Дренажные колодцы	шт.	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
		Сборные железобетонные плиты	$м^3$	95	95	95	105	115	120	130	145	218	233	255	285	300	398	428	458	488	518

Примечания. 1. Для труб с проходом 50—250 *мм* дренажные трубы приняты диаметром 100 *мм*, для труб с проходом свыше 250 *мм* — диаметром 150—200 *мм*.
2. На линейных участках дренажные колодцы выполняются диаметром 1 *м* и глубиной до 3 *м*.

прохождения труб в бетоне трубопроводы рекомендуется обертывать асбестовым шнуром. Независимая осадка труб и стальных каркасов достигается путем искусственного изменения количества стальных пластинок, положенных под трубопровод во время монтажа.

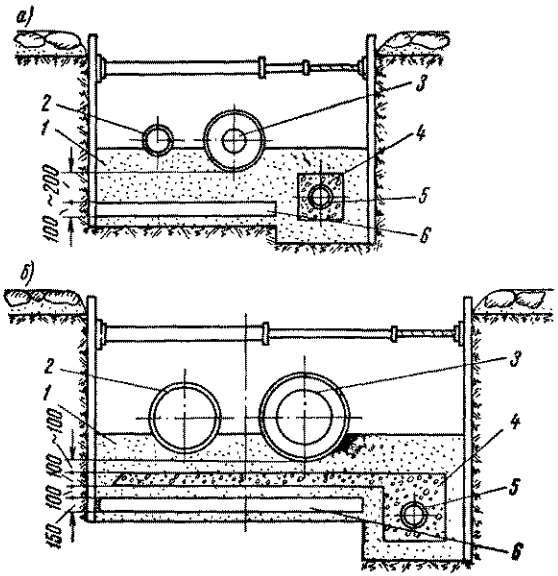


Рис. 15.17. Сечение бесканальной прокладки в мокрых слабых грунтах

а — для типов прокладок Б-50—Б-250; *б* — для типов прокладок Б-300—Б-1000; *1* — песок крупнозернистый; *2* — обратный трубопровод; *3* — прямой трубопровод; *4* — гравий; *5* — асбоцементная дренажная труба; *6* — сборная железобетонная плита

Основные характеристики щитовых опор, рассчитанных на восприятие осевой нагрузки от труб до 90 *т*, даны в табл. 15.17.

Таблица 15.17

Основные характеристики щитовых неподвижных опор для бесканальной прокладки трубопроводов

Условный диаметр труб в *мм* D_y	Расчетное усилие в *т*	Размеры щита в *м*			Глубина заложения в *м*		Расход материалов на один щит		
		А	*Б*	*С*	оси труб	щита *Н*	бетона марки 200 в $м^3$	арматурной стали в *кг*	
								Ст. 3	25Г2С
50—125	8 11 14	2	1	0,15	0,9 1,1 1,3	1,4 1,6 1,8	0,3	4	40
150—250	15 20 25	2,5	1,5	0,2	1 1,2 1,4	1,75 1,95 2,15	0,73	8	80
300—500	35 40 50	3,5	2	0,25	1,2 1,4 1,6	2,2 2,4 2,6	1,67	2	296
600—1000	70 80 90	4,5	2,5	0,35	1,45 1,65 1,85	2,7 2,9 3,1	3,19	6	525

Примечание. Отверстия в щите приняты больше внешних диаметров труб: на 40 *мм* — для труб с условным диаметром 50—150 *мм*; на 60 *мм* — диаметром 200—350 *мм*; на 80 *мм* — диаметром 400—1000 *мм*.

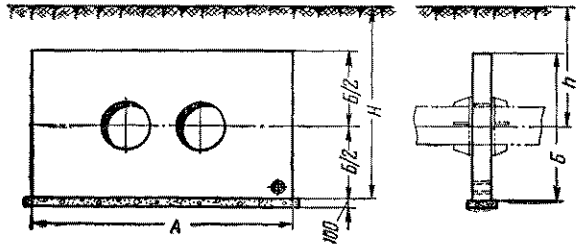


Рис. 15.18 Щитовая неподвижная опора при бесканальной прокладке

Попутный дренаж

Дренажные устройства прокладывают вдоль трубопроводов по одну или обе стороны. В первом случае дренажи называются односторонними, во втором — двусторонними. Односторонние дренажи прокладывают со стороны притока грунтовых вод.

Для обеспечения устойчивого понижения грунтовых вод на глубину не менее 200 *мм* от низа изоляции заглубление верха дренажных труб принимается не менее 300 *мм* от дна канала, а при бесканальной прокладке — от нижней поверхности изоляции трубопроводов. Конструкция дренажей зависит от коэффициента фильтрации грунтов.

При коэффициенте фильтрации более 20 *м/сутки* дренаж устраивают в виде дренажных труб без фильтрующей обсыпки. При этом в крупнозернистых песках (d=0,5—1 *мм*) применяют только керамические дренажные трубы (ГОСТ 8411—57), в гравелистых грунтах с диаметром частиц 4—10 *мм* и более могут применяться любые дренажные трубы.

В грунтах с коэффициентом фильтрации до 0,6 *м/сутки* и небольшом притоке грунтовых вод (в основном от «верховодки») продольный дренаж устраивают в виде фильтрующей обсыпки канала и водосборных приемников.

В грунтах с коэффициентом фильтрации более 0,5 *м/сутки* дренаж осуществляется в виде дренажной трубы, проложенной внутри фильтрующей обсыпки. Дренажи укладывают с продольными уклонами не менее 0,002 в глинистых грунтах и не менее 0,003 — в песчаных.

Трубы диаметром менее 125 *мм* в качестве дренажных не применяют.

В местах смены диаметров дренажных труб на поворотах и при перепадах уровней труб устанавливают колодцы канализационного типа.

На прямых участках расстояние между смотровыми колодцами на дренаже принимают:

для труб диаметром 125 *мм* . . . . . не более 40 *м*
то же, 150—300 *мм* . . . . . „ „ 50 „
„ более 300 *мм* . . . . . „ „ 75 „

Материал для дренажных труб выбирают в соответствии с данными, приведенными в табл. 15.18.

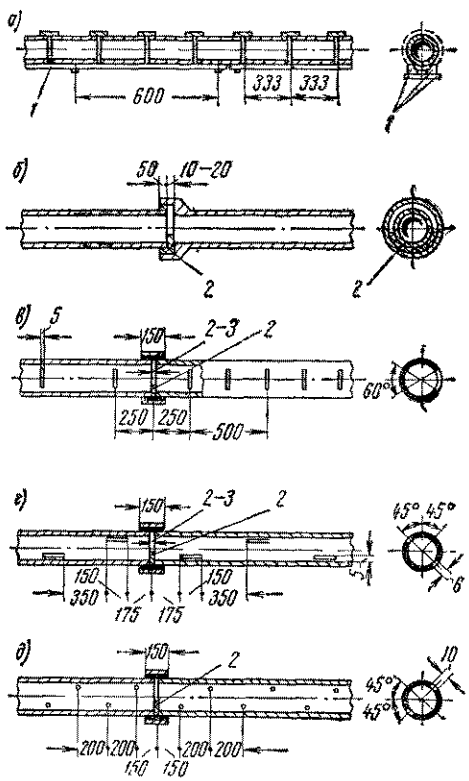
В качестве дренажной обсыпки применяют крупнозернистый песок, средний гравий, а также щебень изверженных горных пород и среднезернистый песок с коэффициентом фильтрации не менее 20 *м/сутки*.

Для дренажа компенсаторных ниш от основного дренажа устраиваются отдельные ответвления. Конструкцию ответвлений принимают аналогичной основному дренажу. В местах ответвлений устанавливают смотровые колодцы.

Таблица 15.18

Таблица применения дренажных труб (рис. 15.19, *а—д*)

Наименование	ГОСТ	Условия применения	Способ приема дренажных вод
Керамические дренажные трубы	8411—57	При заложении дренажей до 4 *м*	Через стыки труб
Керамические канализационные трубы	286—54	При заложении дренажей до 6 *м*	Через незаделанную часть
Керамические кислотоупорные трубы	585—41	При заглублении дренажей до 6 *м* и pH менее 5	То же
Бетонные безнапорные трубы	6482—53	При глубоких дренажах; при карбонатной жесткости не менее 3 градусов, при pH не менее 7; при допустимых нормах углекислой, сульфатной и магнезиальной агрессивности, определяемой по Н114-54. При pH равной 6, сульфатах 1—4 *г/л*, газах 10—50 *мг/л* все поверхности труб покрывают специальной антикоррозийной обмазкой	—
Асбестоцементные трубы	1839—48	При слабокислых водах (pH=5—6)	Через отверстия в стенках труб
Стальные трубы	3262—55; 8732—58	Только для напорных трубопроводов и под железнодорожными путями, а также при пропуске через камеры и на конечных участках сброса дренажа в открытые водоемы	—
Чугунные трубы	5525—50	Для напорных трубопроводов и под железнодорожными путями	—



При проходе дренажей в щитовых опорах оставляют отверстия для пропуска дренажных труб. Диаметр отверстия принимают на 200 *мм* больше внешнего диаметра труб.

На участке, где дренажные трубы проходят через камеры, трубы выполняют из металла. В этом случае в местах прохода труб сквозь стены устанавливают проходные сальники.

ВГПИ Теплоэлектропроект в типовом альбоме разработаны пять основных конструкций сечений дренажей.

На рис. 15.20 показано сечение дренажа типа I, рассчитанного на применение в грунтах при коэффициенте фильтрации более 10 *м/сутки* для дренирования каналов любого типа.

Сечение дренажа типов II и IIа (рис. 15.21, *а*) применяют для каналов любого типа при коэффициенте фильтрации менее 0,5 *м/сутки*, если уклон канала по направлению не совпадает со стоком воды к месту сброса.

Рис. 15.19. Дренажные трубы

а — керамические дренажные; *б* — керамические канализационные и бетонные безнапорные раструбные, *в*—асбестоцементные безнапорные с вертикальными отверстиями; *г* — то же, с горизонтальными отверстиями; *д* — то же, с круглыми отверстиями; *1* — бруски 50×50 *мм*, *2* — заделка асбоцементным раствором

Сечение типа III (рис. 15 21, *б*) применяют для каналов любого типа при коэффициенте фильтрации менее 0,5 *м/сутки*, если уклон дна канала соответствует направлению стока воды к сбросу

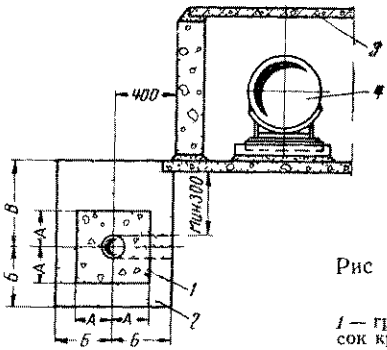


Рис 15 20 Сечение дренажа, тип I

1 — гравий средний, *2* — песок крупнозернистый; *3* — канал, *4* — трубопровод

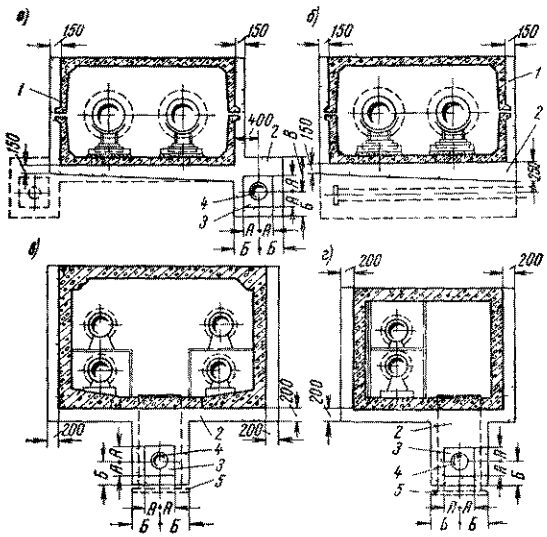


Рис 15 21 Сечение дренажей

а — типы II и IIа (двухсторонний), *б* — тип III; *в* — тип IV; *г* — тип V, *1* — канал, *2* — песок крупнозернистый, *3* — гравий средний, *4* — дренажная труба, *5* — дренажный колодец

Дренажное сечение типов IV и V (рис. 15 21, *в*, *г*) применяют для проходных и полупроходных каналов при коэффициенте фильтрации грунта до 10 *м/сутки* При коэффициенте фильтрации более 10 *м/сутки* обсыпка вокруг канала в сечениях IV и V не делается.

Для бесканальной прокладки тепловых сетей любого типа разработаны дренажные сечения VI, VIa и VII Дренажи типов VI (односторонний) и VIa (двухсторонний) (рис 15 22, *а*) рассчитаны на применение в грунтах с коэффициентом фильтрации более 0,5 *м/сутки*, а также в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,5 *м/сутки*, если уклон теплопроводов не совпадает с направлением сброса дренажных вод.

При совпадении уклона трубопроводов тепловых сетей с направлением сброса дренажных вод в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,5 *м/сутки* применяют дренажное сечение типа VII (рис 15 22, *б*)

Основные размеры фильтрующей обсыпки для дренажей типов I—VII приведены в табл. 15 19

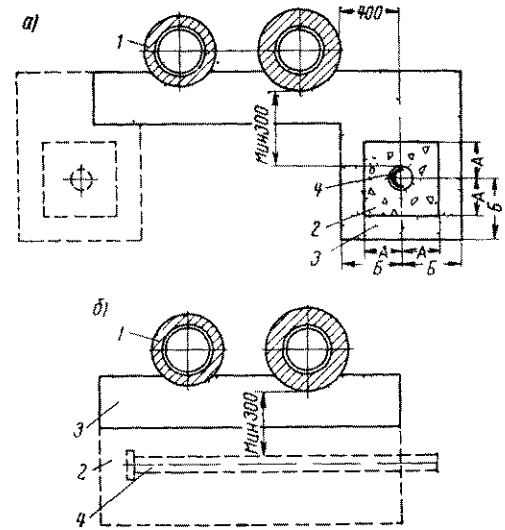


Рис. 15 22. Сечение дренажей

а — тип VI и VIa (двухсторонний); *б* — тип VII, *1* — трубопровод, *2* — гравий средний, *3* — песок крупный, *4* — дренажная труба

Объем 1 *пог. м* фильтрующей обсыпки приведен в табл 15.20.

Таблица 15.19

Размеры фильтрующей обсыпки дренажей типов I—VII (см. рис. 15 20—15.22)

Обозначение	Трубы канализационные керамические асбоцементные и бетонные				Трубы керамические дренажные
	D_y = 125–150	D_y = 200	D_y = 250	D_y = 300	
А	250	300	350	400	—
Б	400	450	500	550	250
В, не менее	375	400	525	450	375

Таблица 15 20

Объем 1 *пог. м* фильтрующей обсыпки дренажного сечения типа I

Материал обсыпки	Объем фильтрующей обсыпки при условном диаметре дренажной трубы в *мм*				
	125	150	200	250	300
Гравий средний сортированный	0,23	0,222	0,315	0,422	0,544
Песок крупнозернистый .	0,583	0,61	0,584	0,585	0,57

Примечание Объемы фильтрующей подсыпки подсчитаны для одностороннего дренажа при разнице отметок дна канала и лотка дренажных труб 70 *см*

15.3. НАДЗЕМНАЯ ПРОКЛАДКА

Надземную прокладку трубопроводов выполняют: на низких отдельно стоящих опорах; на высоких отдельно стоящих опорах (мачтах); на эстакаде с пролетным строением в виде прогонов, ферм или подвесных конструкций.

При прокладке на низких опорах расстояние в свету между тепловой изоляцией и поверхностью земли принимается не менее 0,5 *м* при ширине группы труб более 1,5 *м* и не менее 0,35 *м* при ширине группы труб до 1,5 *м*.

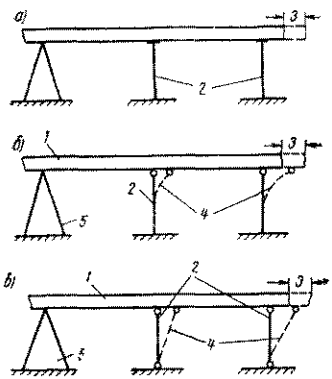


Рис. 15.23. Виды промежуточных опор

а — жесткая опора; *б* — гибкая опора; *в* — двухшарнирная (качающаяся) опора; *1* — трубопровод; *2* — промежуточные опоры; *3* — температурная деформация; *4* — положение промежуточных опор после температурной деформации; *5* — анкерная опора

Высокие отдельно стоящие опоры подразделяются на жесткие, гибкие и качающиеся (рис. 15.23, *а*, *б*, *в*).

Жесткие опоры представляют собой отдельные колонны или рамы, жестко соединенные с фундаментом. Гибкие опоры представляют собой стальные стойки, жестко заделанные в фундамент. Верхушка гибких опор шарнирно соединяется с трубопроводом и при температурном удлинении трубопровода перемещается совместно с трубой. Перемещение верхушки происходит за счет упругого изгиба стойки.

Качающиеся высокие опоры состоят из стальной или железобетонной стойки, шарнирно соединенной с фундаментом. Верхушка стоек шарнирно соединяется с опирающимся трубопроводом и за счет поворота стойки вокруг нижнего шарнира может свободно перемещаться в горизонтальном направлении при перемещении трубопроводов от изменения температуры.

При большой протяженности эстакаду разделяют температурными швами на температурные блоки, состоящие:

из промежуточных опор, воспринимающих вертикальные и горизонтальные нагрузки от пролетных строений и нагрузку от ветра на самую опору; одной анкерной опоры, воспринимающей нагрузки от пролетных строений, горизонтальные и вертикальные нагрузки от трубопроводов и боковые нагрузки от ветра.

Максимальные допустимые расстояния между температурными швами определяются по СНиП II-В.1-62 и СНиП II-В.3-62.

В целях уменьшения горизонтальных продольных нагрузок компенсаторы на трубопроводах, как правило, устанавливают в температурных швах между блоками эстакады, и в каждом температурном блоке предусматривается анкерная опора для неподвижного крепления трубопроводов.

В этом случае реакция трения опор трубопроводов воспринимается пролетным строением, и на анкерную опору передается только реакция упругости гибких компенсаторов. Схема расстановки компенсаторов и неподвижных опор приведена на рис. 15.24.

Трубопроводы больших диаметров, как правило, опираются на опоры эстакады, а трубопроводы мелких диаметров — на опоры и на траверсы, уложенные на пролетные строения эстакады.

При прокладке трубопроводов на отдельно стоящих опорах анкерные опоры устанавливают только в узлах неподвижного крепления трубопроводов. Эстакады с подвесными пролетными строениями состоят из мачт, растяжек и траверс, на которые опираются трубопроводы. В отдельных случаях применяется схема на растяжках с подвешиванием труб к поперечным траверсам.

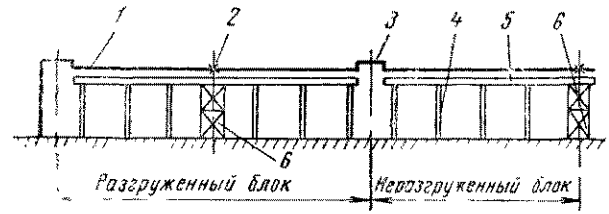


Рис. 15.24. Рекомендуемая схема расстановки компенсаторов и неподвижных креплений трубопроводов

1 — трубопровод; *2* — неподвижная опора; *3* — компенсатор; *4* — промежуточная мачта; *5* — пролетное строение; *6* — анкерная мачта

При числе подвесок в пролете более двух провес несущего каната определяют по уравнению

$$y = 4fx\left(\frac{l-x}{l^2}\right), \qquad (15.5)$$

где y — величина провеса в точке на расстоянии x от начала координат (рис. 15.25);

f — величина наибольшего провеса в середине пролета;

x — расстояние от начала координат до узла, у которого определяется провес;

l — длина пролета.

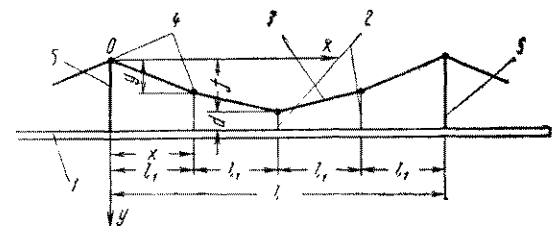


Рис. 15.25. Схема пролетного строения вантовой конструкции

1 — трубопровод; *2* — подвеска; *3* — ванта; *4* — траверса; *5* — пилон

Для обслуживания арматуры в узлах труб при прокладке на высоких опорах и на эстакадах устраивают площадки с ограждениями и постоянными лестницами. При устройстве площадок на высоте более 5 *м* от земли на лестницах делают ограждения.

Нагрузки на надземные конструкции

При надземной прокладке тепловых сетей строительные конструкции рассчитываются на нагрузки от собственного веса, снега, гололеда, действия ветра, нагрузки на площадки обслуживания и нагрузки от трубопроводов и оборудования на них.

Нагрузки от снега и ветра на единицу площади строительных конструкций принимаются по СНиП для конкретного района строительства. Нагрузки от гололеда принимаются по данным метеорологических станций. Нагрузки от снега и гололеда на трубопроводы не учитываются. Нагрузки на площадки обслуживания на эстакадах принимаются равными 250 *кг/м²*.

Нагрузки от трубопроводов см. в главе 11.

Расчетные нагрузки на траверсы промежуточных опор под трубопроводы слагаются из собственного веса, вертикальных и горизонтальных нагрузок от трубопроводов и горизонтальных нагрузок от ветра. Нагрузки от трубопроводов принимаются в виде сосредоточенных нагрузок в точках опирания труб.

Вертикальную расчетную нагрузку на траверсу промежуточной опоры от трубопровода определяют по формуле

$$P = nql \ m, \qquad (15.6)$$

где q — вес одного трубопровода с теплоносителем и изоляционной конструкцией в *т/м*;;
l — расстояние между опорами трубопровода в *м*;
n — коэффициент перегрузки на весовую нагрузку от трубопроводов принимается равным 1,2 (0,8).

При определении суммарных вертикальных нагрузок от паропроводов один из паропроводов, создающий невыгодную нагрузку на любой элемент опоры или эстакады, учитывается с заполнением водой, а остальные — без воды.

Горизонтальная расчетная нагрузка на траверсу подвижной опоры равна

$$H = nfql \ m, \qquad (15.7)$$

где f — коэффициент трения, принимаемый для катковых опор, 0,1; для скользящих опор 0,3; для подвесных опор $f = \frac{\Delta l}{S}$;
Δl — наибольшая величина температурного перемещения трубопровода в месте опоры в *м*;
S — длина подвески в *м*;
n — коэффициент перегрузки 1,1 (0,9).

Расчетную горизонтальную нагрузку на траверсу от действия ветра на трубопровод определяют по формуле

$$H_в = nCD_н q_0 l \ кг, \qquad (15.8)$$

где n — коэффициент перегрузки к ветровой нагрузке, равный 1,2;
l — расстояние между ближайшими точками опирания в *м*;
C — аэродинамический коэффициент, равный 1,4;
q_0 — нормативный скоростной напор ветра в *кг/м²*;
$D_н$ — наружный диаметр покровного слоя теплоизоляционной конструкции в *м*.

При прокладке двух и более трубопроводов, расположенных в одном ярусе и опирающихся на одну траверсу, давление ветра учитывается от одного трубопровода с наибольшим диаметром покровного слоя теплоизоляционной конструкции.

При прокладке трубопроводов в несколько ярусов давление ветра учитывается от одного наибольшего трубопровода в каждом ярусе.

Суммарная горизонтальная нагрузка на траверсу подвижной опоры при многотрубной прокладке определяется как сумма горизонтальных нагрузок от каждой трубы, умноженная на коэффициент неодновременности действия сил трения.

Траверсы в точках неподвижного крепления трубопроводов рассчитываются на действие собственного веса, вертикальные и горизонтальные нагрузки от трубопроводов и горизонтальные нагрузки от ветра.

Вертикальная нагрузка от трубопроводов определяется так же, как для траверс промежуточных опор по формуле (15.6).

Суммарные горизонтальные нагрузки от трубопроводов на траверсу анкерной опоры при многотрубной прокладке определяют:

от сил упругой деформации при гибких компенсаторах и при самокомпенсации и от неуравновешенных сил внутреннего давления по сумме сил от каждого трубопровода;

от сил трения в подвижных опорах и в сальниковых компенсаторах — по сумме сил от каждого трубопровода с коэффициентом, учитывающим неодновременность действия этих сил:

при двух системах трубопроводов	1
» трех » »	0,67
» четырех и более системах трубопроводов	0,5

Одной системой трубопроводов считаются подающий и обратный трубопроводы водяных тепловых сетей или паропроводы, транспортирующие от одного источника пар одного параметра, или конденсатопроводы.

При определении суммы сил трения для трех и большего количества систем трубопроводов с применением коэффициентов одновременности 0,67 или 0,5 необходимо делать проверочный расчет также и для случаев с меньшим количеством систем трубопроводов и принимать за расчетное большее из полученных значений.

Коэффициент перегрузки для горизонтальных нагрузок от трубопровода принимается $k_п$=1,1 (0,9).

Горизонтальная нагрузка от ветра определяется так же, как и для траверсы промежуточной опоры по формуле (15.8).

Расчетные нагрузки на жесткие пролетные строения эстакад слагаются из собственного веса, вертикальных нагрузок, передающихся траверсами, горизонтальных продольных нагрузок от сил трения опор трубопроводов, боковых нагрузок от ветра на пролетное строение нагрузок от гололеда, снега, площадок обслуживания и влияния внешней температуры на эстакаду.

Наибольшая продольная горизонтальная нагрузка на пролетное строение от сил трения опор трубопроводов возникает в ближайшем к анкерной опоре пролете и учитывается на участке от оси температурного разрыва эстакады до анкерного закрепления трубопроводов по формуле

$$H = nfqL \ m, \qquad (15.9)$$

где q — вес 1 *пог. м* трубопровода всех прокладываемых трубопроводов в *т/м*;
L — длина участка от оси неподвижного закрепления трубопроводов на эстакаде до оси температурного разрыва в *м*;
f — коэффициент трения опор;
n — коэффициент перегрузки, равный 1,1

Колонны жестких и качающихся отдельно стоящих стоек рассчитываются на действие собственного веса, нагрузок, передаваемых траверсами, и действие ветра на колонну.

Колонны гибких отдельно стоящих промежуточных опор рассчитываются на действие собственного веса, действие ветра на колонну, действие вертикальных и боковых нагрузок, передаваемых траверсами, и упругий горизонтальный прогиб верха колонны на величину максимального температурного перемещения трубопровода, шарнирно соединенного с верхом колонны.

Опоры (колонны) эстакад рассчитываются на нагрузки от собственного веса, нагрузки от траверсы, опирающейся на колонну, нагрузки, передаваемые пролетными строениями, и ветровые нагрузки на колонну.

Конструкции отдельно стоящих опор

Низкие опоры, собираемые из двух плоских железобетонных рам и плоской плиты, показаны на рис. 15.26. Опоры рассчитаны на катковое и скользящее опирание и неподвижное крепление труб.

Наименьшая высота промежуточных опор над поверхностью земли составляет 500 *мм*, неподвижных — 650 *мм*. Полная высота опор на трассе постоянна В зависимости от рельефа заглубление опор колеблется от 1,8 до 1 *м*. При заглублении менее 1,8 *м* вокруг опор устраивается местная грунтовая обваловка, препятствующая промерзанию грунта под опорой.

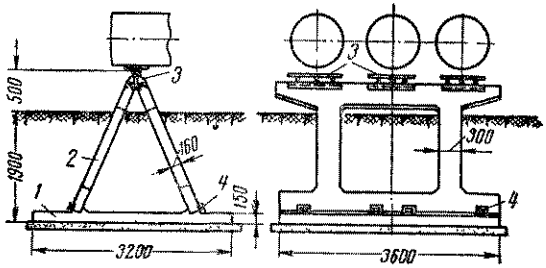


Рис. 15.26. Сборная низкая опора

1 — фундаментная плита; *2* — рама; *3* — опорные металлические столики для опирания трубопроводов; *4* — стальная накладка (на сварке)

ВГПИ Теплоэлектропроект разработан проект низких опор по типу «качающихся» фундаментов. Качающаяся опора (рис. 15.27, *а*, *б*, *в*) состоит из плоского

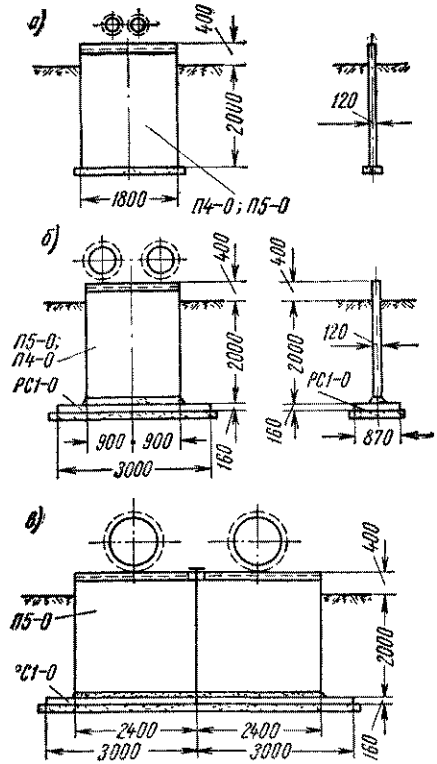


Рис. 15.27. «Качающиеся» опоры — фундаменты под трубопроводы

а — ОПВ-1, ОПВ-2; *б* — ОПВ-3; ОПВ-4; *в* — ОПВ-5

Таблица 15.21

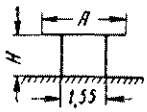
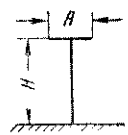
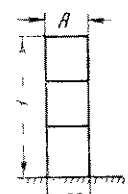
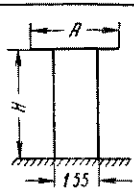
Показатели качающихся опор под трубопроводы

Тип опоры	Диаметр труб при двухтрубной прокладке в *мм*	Марка элементов	Количество элементов в шт.	Вес элемента в *т*	Марка бетона	Расход бетона на опору в $м^3$	Расход стали на опору в *кг*	Нормативная нагрузка в *т*		
								вдоль оси труб	боковая	вертикальная
ОПВ-1	До 200	П4-О	1	1,3	300	0,52	139,1	2	0,6	2
ОПВ-2	250—300	П5-О	1	2,3	300	0,92	192,5	3,5	1,5	5
ОПВ-3	350—450	РС1-О П4-О	1 1	1,05 1,3	300 300	0,94	198,2	2,6	2,6	9
ОПВ-4	500—700	РС1-О П5-О	1 1	1,05 2,3	300 300	1,34	251,6	5	5	15
ОПВ-5	800—1000	РС1-О П5-О	2 2	1,05 2,3	300 300	2,68	503,2	10	10	30

Примечание. Элементы П4-О, П5-О и РС1-О изготовляются соответственно в формах элементов П4, П5 и РС1 по серии ИС-01-04.

Таблица 15.22

Габаритные схемы отдельно стоящих опор под трубопроводы

Тип опоры	Схема	Размеры в *м* A	Размеры в *м* H	Нормативная суммарная вертикальная нагрузка на опору в *т*	Примечания
I		2,4, 3, 4,4, 6	0,4	5—20	
		1,2, 2,4	5,4, 6,6	5	Размер *H* дан в чистоте между уровнем земли и верхом колонны
II		1,9	5,4, 6,6, 7,8	10—40	
III		3, 4,2, 4,8, 6	5,4, 6,6, 7,8	10—60	Размер *H* дан в чистоте между уровнем земли и верхней гранью траверсы

железобетонного вертикального щита, установленного на цементном растворе на плоскую фундаментную плиту. В верхней части щита для опирания труб имеются закладные детали.

Высота опоры над планировкой принимается минимальной, заглубление определяется глубиной промерзания и расчетом на восприятие горизонтальной нагрузки Ширина щита, как правило, определяется конструктивным расположением трубопроводов. Показатели качающихся опор приведены в табл. 15 21.

Свайные низкие опоры применяют при мягких грунтах и состоят из сборных свай и ростверков.

Размеры свай и их количество в опоре определяют в зависимости от величины вертикальных и горизонтальных нагрузок.

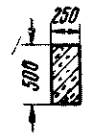
Неподвижные (анкерные) низкие опоры для больших осевых нагрузок, как правило, выполняют из монолитного железобетона.

Устройство зубьев, наклонных подошв и грунтовая пригрузка обеспечивают устойчивость опоры против сдвига при минимальном объеме железобетона. Низкая неподвижная опора под большие горизонтальные нагрузки показана на рис. 15 28.

Наилучшим конструктивным расположением зубьев считается. при одном зубе — в середине подошвы или у

Таблица 15 23

Показатели на 1 траверсу отдельно стоящих опор под трубопроводы (рис. 15.29)

Сечение траверсы в *мм*	Марка	Длина в *м*	Расчетные нагрузки от трубопроводов в *т/м* P_1	P_2	P_3	P_4	Объем бетона в $м^3$	Вес стали в *кг*
	ТОI-1	2,4	13	7	—	—	0,3	42
	ТОI-2	3	10,4	5,6	—	—	0,38	55
	ТОI-3	4,2	7,4	4	—	—	0,53	73
	ТОI-4	6	5,2	2,8	—	—	0,75	104
	ТОI-5	2,4	13	7	3,6	1,9	0,3	88
	ТОI-6	2,4	13	7	6,9	3,7	0,3	148
	ТОI-7	3	20,8	11,3	4,8	2,6	0,38	98
	ТОI-8	3	15,6	8,4	8,1	4,4	0,38	171
	ТОI-9	4,2	7,4	4	2,1	1,1	0,53	138
	ТОI-10	4,2	5,6	3	4,7	2,6	0,53	251
	ТОI-11	6	3,9	2,1	1,2	0,7	0,75	225
	ТОI-12	6	1,3	0,7	2,2	1,2	0,75	297
	ТОI-13	6	5,2	2,8	1,7	0,9	0,75	306
	ТОIII-1	3	31,2	16,8	7,2	3,9	0,38	142
	ТОIII-2	4,2	22,4	12	5,1	2,8	0,53	225
	ТОIII-3	4,8	4,9	2,6	1,5	0,8	0,6	148
	ТОIII-4	4,8	2,5	1,3	3	1,6	0,6	256

Примечания 1. В табличных нагрузках учтены коэффициенты перегрузки для вертикальных нагрузок от трубопроводов 1,2; для горизонтальных — 1,1.

2. Элементы ТОI-1; 2, 3, 4 рассчитаны как балки на упругом основании

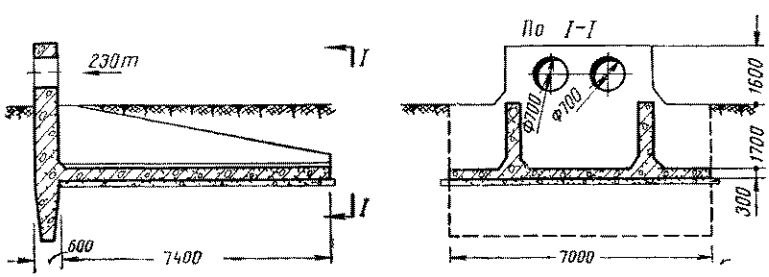


Рис. 15 28. Неподвижная опора из монолитного железобетона при низкой прокладке трубопроводов

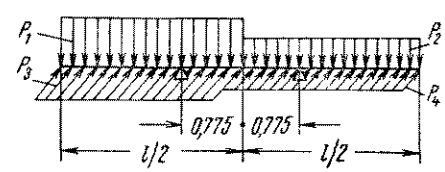
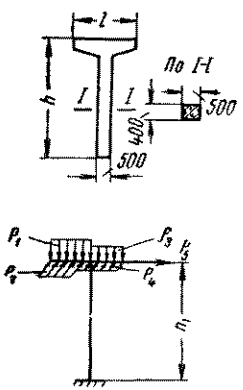


Рис. 15 29. Схема нагрузок на траверсу

Таблица 15.24

Показатели на 1 колонну отдельно стоящих опор под трубопроводы

Эскиз и схема нагрузок	Марка	Размеры в *м*			Расчетные нагрузки от трубопроводов и ветра в *т/м*; *т*					Объем бетона в $м^3$	Вес стали в *кг*
		l	*h*	h_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5		
	КОП-1	1,2	6,2	5,2	6,5	3,5	1,2	0,6	1,1	1,4	99
	КОП-2	1,2			6,5	3,5	2,4	1,3	2,2	1,4	177
	КОП-8	2,4			3,3	1,8	0,6	0,3	0,6	1,6	125
	КОП-9	2,4			3,3	1,8	1,2	0,6	1,7	1,6	202
	КОП-12	1,2	7,4	6,4	6,5	3,5	1,2	0,6	1,1	1,64	154
	КОП-13	1,2			6,5	3,5	2,4	1,3	2,2	1,64	267
	КОП-19	2,4			3,3	1,8	0,6	0,3	0,6	1,84	179
	КОП-20	2,4			3,3	1,8	1,2	0,6	1,7	1,84	293
	КОП-22	1,2	8,6	7,6	6,5	3,5	1,2	0,6	1,1	1,88	213
	КОП-23	1,2			6,5	3,5	2,4	1,3	2,2	1,88	336
	КОП-29	2,4			3,3	1,8	0,6	0,3	0,6	2,08	238
	КОП-30	2,4			3,3	1,8	1,2	0,6	1,7	2,08	362

переднего края, при двух — на расстояниях одной четверти от переднего и заднего краев подошвы [1].

Зубья рекомендуется делать трапецеидального сечения и бетонировать враспор.

Для более равномерного прилегания опорных частей на трубопроводах к бетону верхнюю часть опор целесообразно бетонировать после монтажа участка труб и приварки к ним опорных шайб.

Чтобы уменьшить тепловое влияние горячих труб на бетон, участки труб в опорах до бетонирования рекомендуется обертывать асбестовыми листами или шнуром толщиной до 40 *мм*. Обертка труб слоем асбеста особенно необходима при устройстве опор под паропроводы. В опорах под трубопроводы с температурой среды до 100° С асбестовый слой может быть заменен одним слоем толя, назначение которого — препятствовать сцеплению стенок труб с бетоном опоры.

В серии Госстроя СССР ИС-01-06 разработаны одноярусные опоры высотой в свету между уровнем земли и верхом траверсы от 0,4 до 7,8 *м*.

В зависимости от размеров, расчетных нагрузок и конструкции опоры делятся на три типа: I, II, III (табл. 15.22). Колонны и траверсы выполняются в унифицированных опалубках элементов промышленных зданий, фундаменты — по индивидуальным проектам.

Опоры каждого типа делятся на промежуточные, анкерные промежуточные и анкерные концевые.

На непучинистых грунтах промежуточная низкая опора типа I выполняется в виде ригеля, уложенного широкой стороной на балластную подушку. Основание балластной подушки заглублено на высоту растительного слоя.

Низкие опоры типа I, рассчитанные на посадку их в пучинистых грунтах, выполняются в виде ригеля, приваренного к двум коротким стойкам, входящим в состав фундамента и выполняемым по индивидуальному проекту.

Высокие опоры выполняются либо в виде Т-образных колонн, либо в виде траверс, уложенных на колонны. Анкерные опоры под большие нагрузки выполняются металлическими. Тип траверс и колонн по ИС-01-06 выбирается в зависимости от нагрузки и габаритов (табл. 15.23—15.25).

В серии Госстроя СССР ИС-01-07 разработаны рабочие чертежи сборных железобетонных двухъярусных эстакад с расстоянием в свету от отметки земли до низа прогона нижнего яруса 5,4; 6 и 6,6 *м*, для вертикальных нагрузок 3,5; 5; 4 *т/м*.

Институтом Госхимпроект по заданию Госстроя СССР разработаны рабочие чертежи высоких отдельно стоящих опор для прокладки труб в двух ярусах. Опоры рассчитаны на вертикальную нагрузку от 5 до 40 *т*.

15.4. ПЕРЕХОДЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ЧЕРЕЗ ПРЕПЯТСТВИЯ

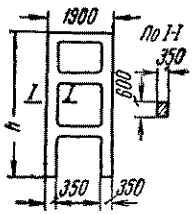
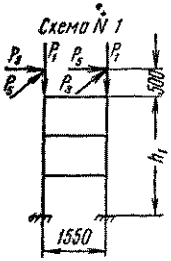
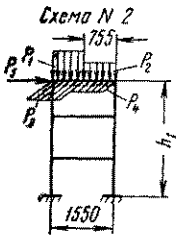
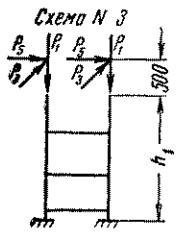
Способ перехода в каждом конкретном случае определяется местными условиями — возможностью остановки движения на время строительства и ремонта при эксплуатации, наличием подземных и надземных коммуникаций в районе перехода, способом компенсации тепловых удлинений трубопроводов на участке, технической оснащенностью строительной организации, архитектурными соображениями и пр.

На участках подземных переходов трубопроводы прокладывают в непроходных, полупроходных или проходных каналах, которые, как правило, сооружаются открытым способом (рис. 15.30, *а*). При невозможности производства работ открытым способом вместо каналов применяют оболочки из стальных или железобетонных труб диаметром 800 *мм* и выше, которые прокладывают способом продавливания. Длина продавливания обычно не превышает 60—80 *м*. При проходе сквозь высокие насыпи автомобильных или железных дорог трубопроводы прокладывают либо в оболочках, уложенных способом прокола или продавливания, либо в тоннелях,

[1] Передним считается край опоры по направлению действия нагрузки.

Таблица 15 25

Показатели на 1 колонну отдельно стоящих опор под трубопроводы

Эскиз колонн и схемы нагрузок	Марка колонн	Размеры в *м*		Номер схемы нагрузок	Расчетные нагрузки от трубопроводов и ветра в *т/м*, *т*					Объем бетона в $м^3$	Вес стали в *кг*
		h	h_1		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5		
	КОП-3 КОП-5 КОП-10	5,9	4,7		2 3,9 11,8	— — —	2 3,5 2,6	— — —	2,35 4,6 9,3	3,35	408 605 848
	КОП-14 КОП-16 КОП-8	7,	5,9	1	2 15,6 11,7	— — —	2 2,5 2,7	— — —	2,55 8,25 9,3	3,85	389 869 1001
	КОП-24 КОП-26 КОП-31	8,3	7,1		2 3,9 11,7	— — —	2,7 3,6 2,6	— — —	2,35 4,5 9,3	4,64	548 993 1484
	КОП-4 КОП-6 КОП-11	6,4	5,2		8,2 16,4 34	4,4 8,9 17,7	2,3 4,6 9	1,2 2,4 4,9	3,1 4,2 5,2	3,55	342 413 653
	КОП-15 КОП-17 КОП-21	7,6	6,4	2	8,2 16,4 33	4,4 8,9 17,8	2,3 4,5 9	1,2 2,4 4,8	3,1 4,2 4,9	4,06	418 352 901
	КОП-25 КОП-27	8,8	7,6		8,2 16,4	4,4 8,9	2,3 4,5	1,2 2,4	3,1 4,2	4,85	493 801
	КОП-7 КОП-18 КОП-28	5,9 7,1 8,3	4,7 5,9 7,1		4,5	—	3,9*	—	6,1	3,35 3,85 4,64	879 1189 1379
	КОП-1 КОП-2 КОП-3	5 9	4,7		9 18 36	— — —	2,2 3,9 8,2	— — —	1,7 2,6 3,5	3,35	318 477 799
	КОП-4 КОП-5 КОП-6 КОП-7 КОП-9 КОП-10	7,1	5,9	3	6 9 9 12 18 24	— — — — — —	1,1 2,2 2,8 2,8 3,9 5,5	— — — — — —	1,4 1,6 2 2 2,7 2,9	3,85	324 401 587 548 671 847
	КОП-11 КОП-12 КОП-13 КОП-14	8,3	7,1		6 9 18 24	— — — —	1,1 2,8 3,9 5,5	— — — —	1,4 2 2,7 3,2	4,64	421 730 888 1107

* При работе колонны в составе неподвижной опоры.

Примечание. Колонны изготовляются в опалубке колонн серии КЭ-01-52.

возводимых щитовым способом (рис. 15.30, *б*). Переходы через автодороги местного значения (в некоторых случаях) выполняются за счет поднятия отметок дороги с прокладкой труб под дорогой в непроходных каналах или круглых оболочках без вертикального излома осей труб тепловых сетей (рис. 15.30, *в*). Высота таких переездов обычно находится в пределах 1—2 *м*.

Надземный переход (рис. 15.30, г), представляющий вертикальный П-образный компенсатор, применяется в основном при пересечении железных и шоссейных дорог трубопроводами, позволяющими перекрывать пролеты, достаточные для пропуска транспорта.

По обе стороны перехода трубопроводы закрепляются в неподвижных опорах. Под вертикальными участками труб устраиваются подпятники скользящего типа. Горизонтальные нагрузки от ветра воспринимаются самим трубопроводом и через широкий подпятник и неподвижное крепление передаются на неподвижные опоры.

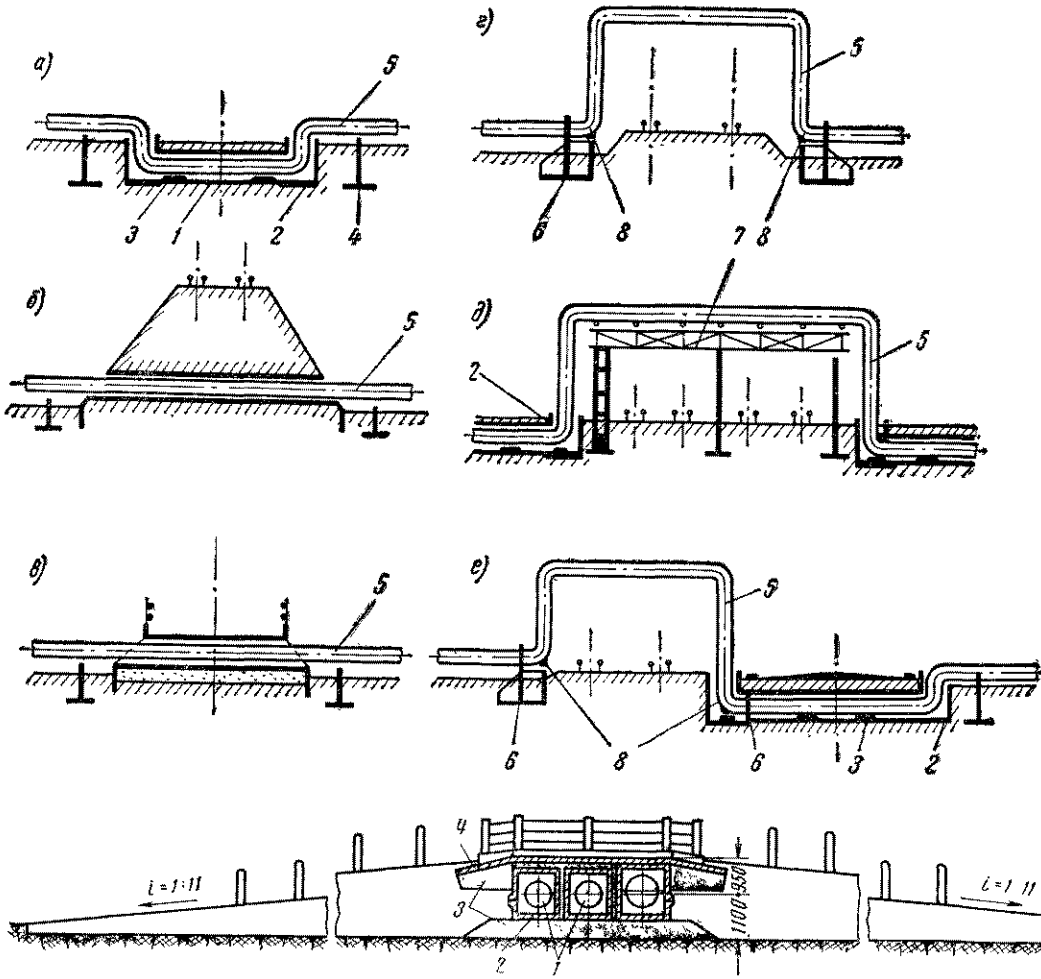
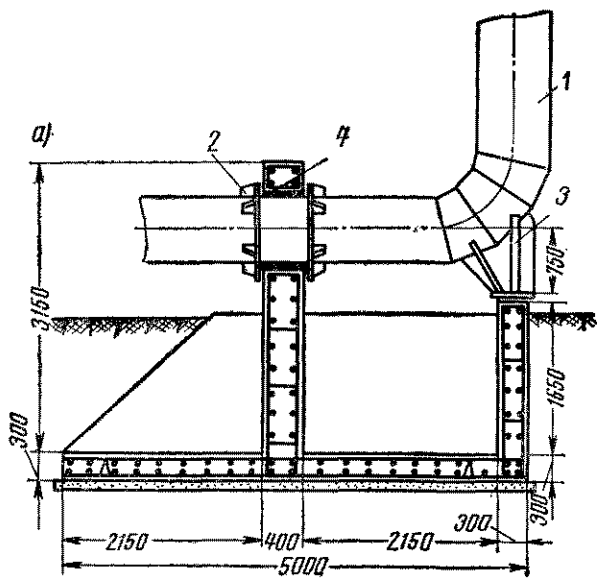


Рис. 15.30. Виды пересечений дорог тепловыми сетями

а, б, в — подземные; *г, д* — надземные; *е* — комбинированные; *1* — канал или оболочка из трубы; *2* — камера; *3* — опорная подушка; *4* — низкая промежуточная опора; *5* — трубопровод; *6* — неподвижная опора; *7* — эстакада; *8* — подпятник

Рис. 15.31. Переезд через тепловые сети

1 — трубопроводы; *2* — канал; *3* — балластный слой; *4* — железобетонный фартук



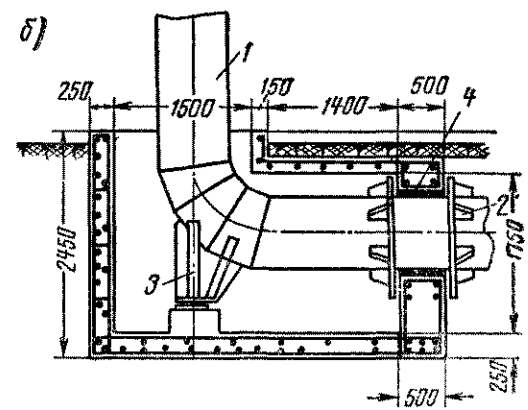


Рис. 15.32. Узлы опирания П-образных переходов

а — при надземной прокладке; *б* — при подземной прокладке; *1* — трубопровод; *2* — неподвижная щитовая опора; *3* — подпятник; *4* — асбестовая прокладка

При прокладке трубопроводов малого диаметра, а также при большом пролете, когда несущая способность трубопроводов недостаточна, применяют надземные переходы на отдельно стоящих высоких опорах или на эстакадах (рис. 15 30, *д*).

При пересечении станционных железнодорожных путей эстакады под трубопроводы часто совмещают с пешеходными мостиками В отдельных случаях при пересечении параллельно идущих железных и шоссейных дорог оказывается целесообразным устройство комбинированного перехода (рис 15 30, *е*), через железнодорожные пути — над землей, через шоссе — под землей.

Конструкция перехода теплопроводами через автодороги местного значения показана на рис. 15 31.

Узлы опирания вертикальных П-образных переходов приведены на рис. 15 32.

При пересечении водных преград для прохода тепловых сетей, как правило, используют автодорожные мосты Трубопроводы опираются на конструктивные элементы моста под проезжей частью или тротуарами или подвешиваются к ним. При прокладке по пешеходным мостам трубопроводы размещают под настилом моста (рис. 15 33).

ВГПИ Теплоэлектропроектом разработана подвесная конструкция перехода через реку пролетом 180 *м* (рис 15 34) По переходу проложены два теплопровода диаметром по 500 *мм*, один паропровод диаметром 500 *мм* и один конденсатопровод диаметром 150 *мм*. Переход состоит из четырех несущих тросов диаметром каждый 70 *мм*, двух ветровых тросов диаметром 40 *мм*, двух стальных береговых пилонов, опирающихся на бетонные фундаменты. Концы несущих и ветровых

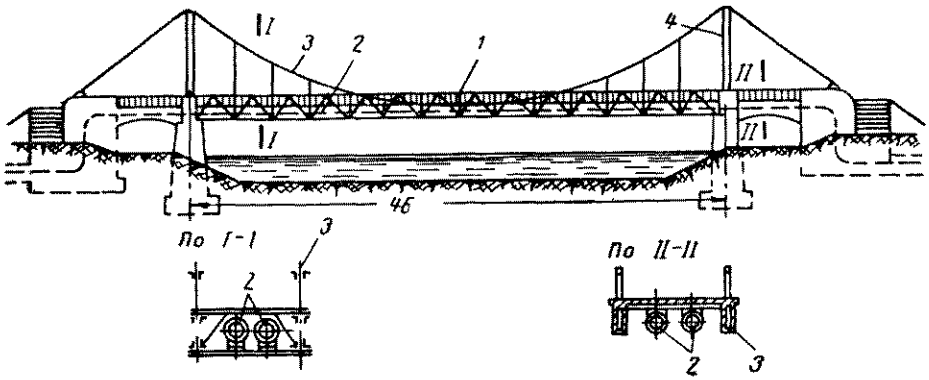


Рис. 15 33 Висячий пешеходный мост для теплофикационной магистрали

1 — ферма жесткости; *2* — трубопровод, *3* — стальной трос; *4* — пилон

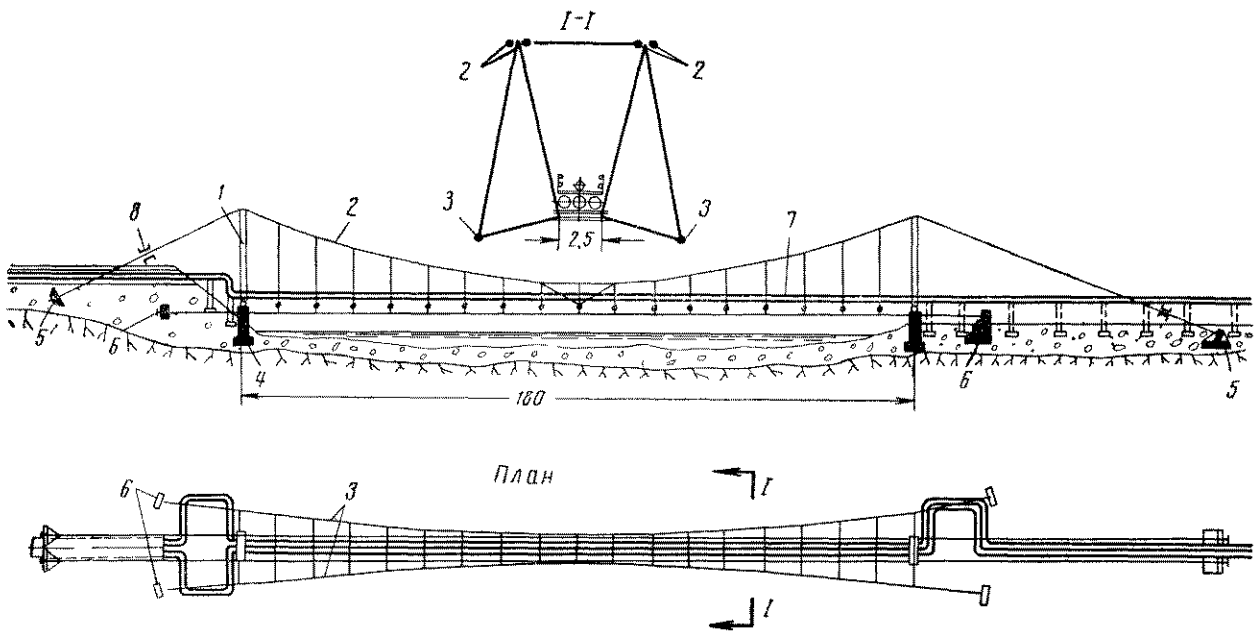


Рис 15 34 Переход подвесной конструкции

1 — пилон; *2* — несущие тросы, *3*—ветровые тросы; *4*—фундамент пилона; *5* — анкерная опора несущих тросов, *6* — анкерные опоры ветровых тросов, *7* — трубопроводы, *8* — натяжное устройство

тросов закреплены в береговых анкерных опорах. Вблизи анкерных опор на тросах предусмотрены натяжные устройства.

По комплексному проекту Мосэнергопроекта, Проектстальконструкции и Управления подводно-технических работ сооружен и пущен в эксплуатацию в 1950 г. дюкер через Москву-реку (рис. 15.35). Он имеет толщину стенки 12—16 *мм*, усиленную через каждые 3 *м* кольцевыми ребрами жесткости. Внутренний диаметр дюкера 2,5 *м*.

В середине реки дюкер заделан в бетонный массив, предназначенный для закрепления его от осевого смещения. На поверхность дюкера нанесено антикоррозийное покрытие.

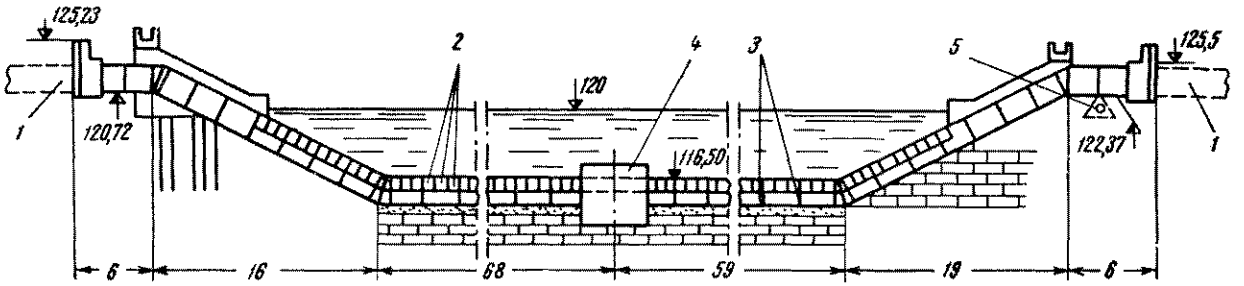


Рис. 15.35. Схематический продольный профиль дюкера

1 — железобетонный тоннель; *2* — чугунные пригрузочные полукольца; *3* — ребра жесткости; *4* — бетонная неподвижная опора; *5* — катковая опора

Для предотвращения всплытия дюкер пригружен чугунными полукольцами. В дюкере проложены два паропровода диаметром по 400 *мм*, два трубопровода водяной сети по 500 *мм* и два конденсатопровода диаметром по 150 *мм*.

По проекту ВГПИ Теплоэлектропроект в г. Свердловске построен четырехарочный переход двухтрубной теплосети через р. Исеть. Пролет каждой арки по 37,5 *м*, стрела подъема около 8 *м*, диаметр труб 400 *мм*.

15.5. РАСЧЕТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Определение напряжений в грунте под подошвой фундаментов опор

При центрально загруженном фундаменте средние напряжения в грунте под горизонтальной подошвой определяют по формуле

$$\sigma = \frac{P_н}{F} \leqslant R_{гр}\ т/м^2, \qquad (15.10)$$

где $P_н$ — сумма вертикальных нормативных нагрузок, включая собственный вес и вес грунта, в *т*;

F — площадь подошвы фундамента в $м^2$;

$R_{гр}$ — расчетное сопротивление грунта на глубине заложения подошвы фундамента в $т/м^2$.

При одновременном действии на фундамент вертикальных сил и момента в одном направлении напряжения под подошвой проверяются по формуле

$$\sigma_{\substack{макс\\мин}} = \frac{P_н}{F} \pm \frac{M_a}{W_a} \leqslant 1{,}2R_{гр}\ т/м^2. \qquad (15.11)$$

где M_a — момент от всех нормативных нагрузок относительно нейтральной оси подошвы, действующий параллельно стороне a, в *тм*;

W_a — момент сопротивления подошвы в направлении действия момента M_a в $м^3$.

Если $\frac{P}{F} > \frac{M_a}{W_a}$, эпюра напряжений имеет вид трапеции. Если $\frac{P_н}{F} = \frac{M_a}{W_a}$, эпюра имеет вид треугольника. При $\frac{P_н}{F} < \frac{M_a}{W_a}$ эпюра напряжений получается двузначной. При отсутствии вертикальной анкеровки хвостовой части фундамента будет наблюдаться отрыв части подошвы от основания. С учетом отрыва части подошвы наибольшие напряжения под прямоугольным фундаментом равны:

$$\sigma_{макс} = \frac{4P_н}{3b\,(a - 2e)} \leqslant 1{,}2R_{гр}\ т/м^2 \qquad (15.12)$$

или

$$\sigma_{макс} = \frac{2P_н}{3bk} \leqslant 1{,}2R_{гр}\ т/м^2, \qquad (15.13)$$

где a и b — ширина и длина фундамента в *м*;

e — эксцентрицитет нагрузки, равный $\frac{M}{N}$, в *м*;

k — расстояние от центра тяжести треугольной эпюры напряжений до переднего края подошвы в *м* (рис. 15 36).

При действии момента в одном направлении зона отрыва подошвы от полной площади фундамента допускается не более 33%.

В случае загружения подошвы моментами в двух направлениях краевые напряжения под подошвой определяют по формуле

$$\sigma_{\substack{макс\\мин}} = \frac{P_н}{F} \pm \frac{M_a}{W_a} \pm \frac{M_b}{W_b} \leqslant 1{,}2R_{гр}\ т/м^2, \qquad (15{\cdot}14)$$

где M_b — момент от расчетных нагрузок в направлении стороны b в *тм*;

W_b — момент сопротивления подошвы в направлении действия момента в $м^3$.

При действии моментов в двух направлениях отрыв подошвы в каждом направлении допускается не более 20% от полной площади фундамента.

В тех случаях, когда размеры подошвы диктуются только напряжениями, подошву рекомендуется делать прямоугольной формы, длинной стороной в направлении действия наибольшего момента.

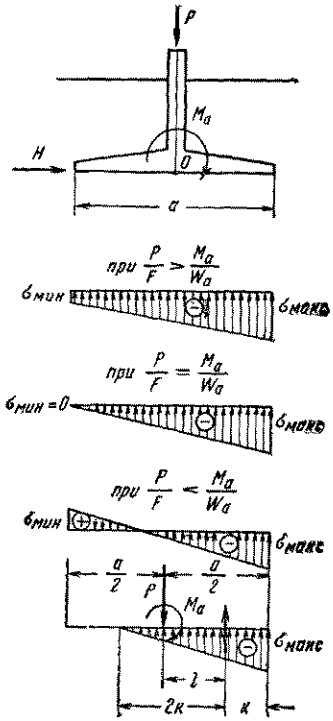


Рис. 15.36. Различные виды эпюр напряжений под подошвой фундамента

Наклонные подошвы (рис. 15.37) устраиваются в неподвижных опорах, воспринимающих большие горизонтальные нагрузки, и предназначены для повышения устойчивости опор против сдвига.

Для расчета определяются суммы вертикальных ($P_в$) и горизонтальных нагрузок ($H_в$), центры их приложения и моменты этих нагрузок относительно нейтральной оси подошвы.

Краевые напряжения, перпендикулярные подошве, определяют по формуле

$$\sigma^{макс}_{мин} = \frac{P_в \cos\alpha + H_в \sin\alpha}{F} \pm \pm \frac{M_a}{W_a} \leqslant 1{,}2R_{гр} \ т/м^3, \qquad (15.15)$$

где $P_в$ — сумма всех вертикальных нагрузок, включая вес грунта на обрезах фундамента, в $т$;
$H_в$ — сумма всех горизонтальных нагрузок в $т$;
α — угол наклона подошвы к горизонтали в *град*;
F — площадь наклонной подошвы $F=ab$ в $м^2$;
M_a — сумма моментов всех сил относительно нейтральной оси подошвы (точки O) в $тм$;
W_a — момент сопротивления подошвы в направлении момента M_a в $м^3$.

Для прямоугольной подошвы

$$W_a = \frac{a^2 b}{6} \ м^3, \qquad (15.16)$$

где a и b — длина и ширина наклонной подошвы в $м$;

$$M_a = H_в m - P_в n,$$

где m и n — расстояния от нейтральной оси подошвы до линий действия сил $H_в$ и $P_в$.

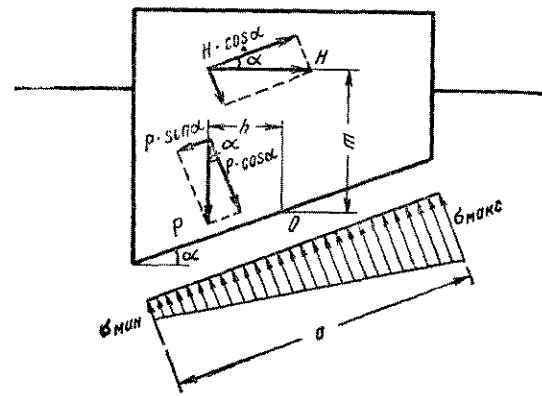


Рис. 15.37. Схема к определению напряжений под наклонной подошвой фундамента

При значительных наклонах подошвы ($\alpha > 30°$) наибольшие краевые напряжения $\sigma_{макс}$ не должны превосходить напряжений σ_n (рис. 15.38), определенных по формуле

$$\sigma_n = (\sigma_v + \gamma h) M_0 \ т/м^2, \qquad (15.17)$$

где

$$M_0 = \frac{1 + \sin\varphi \cos\zeta}{1 + \sin\varphi} e^{(\pi - 2\alpha + \zeta)\operatorname{tg}\varphi}, \qquad (15.18)$$

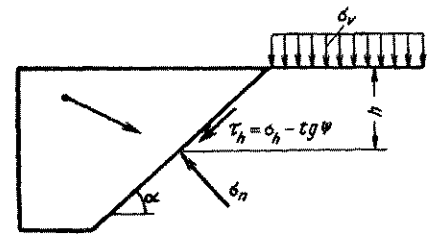


Рис. 15.38. Схема пассивного отпора грунта перед наклонной стенкой

где

$$\zeta = \psi + \arcsin\frac{\sin\psi}{\sin\varphi} \ град;$$

h — заглубление точки, в которой определяются напряжения, в $м$;
φ — угол внутреннего трения грунта в *град*;
α — угол наклона подошвы к горизонтали в *град*;

ψ — угол трения по контакту между грунтом и подошвой в *град*;

e=2,72.

Величина $\operatorname{tg}\psi$ численно равна коэффициенту трения материала подошвы по основанию.

При больших однозначных горизонтальных нагрузках наиболее напряженно работает основание под передней частью подошвы. Поэтому у фундаментов с наклонной подошвой для уменьшения ее заглубления

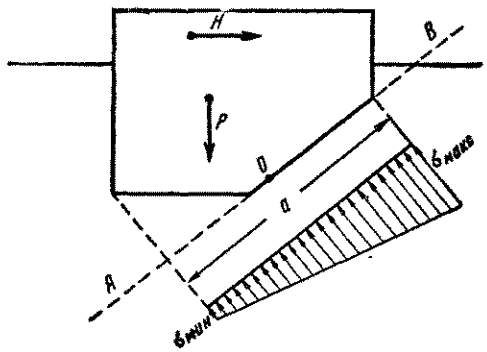


Рис. 15 39. Схема к определению напряжений перед наклонной стенкой

хвостовую часть подошвы в некоторых случаях целесообразно выполнять горизонтальной (рис. 15.39).

Напряжения в основании таких фундаментов можно определить аналогично напряжениям под фундаментами с наклонной подошвой.

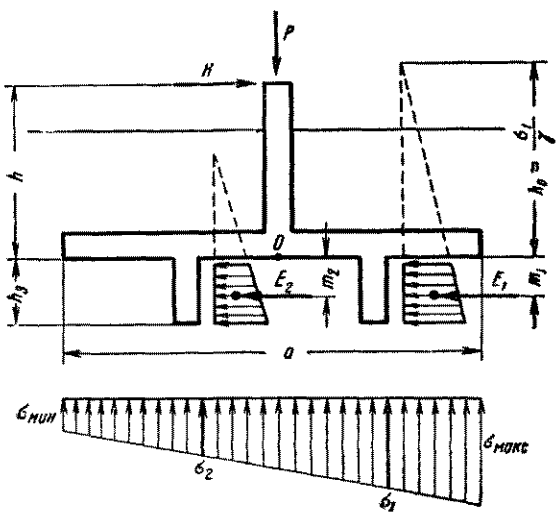


Рис. 15 40. Схема к определению напряжений под подошвой с зубьями

За условную плоскость всей подошвы принимается плоскость подошвы наклонной передней части фундамента, а за длину a принимается проекция крайних точек подошвы на условную плоскость подошвы AB

Напряжения в грунте под подошвой фундамента с зубьями (рис. 15.40), загруженного вертикальными и горизонтальными силами, проверяются по общей формуле

$$\sigma_{\substack{\text{макс}\\\text{мин}}} = \frac{P_н}{F} \pm \frac{M_a}{W_a} \leqslant 1{,}2R_{гр}\ т/м^2,$$

где $P_н$ — сумма всех вертикальных нагрузок в $т$;

F — площадь подошвы фундамента в $м^2$;

M_a — сумма моментов всех сил относительно нейтральной оси в направлении a в $тм$;

W_a — момент сопротивления подошвы в направлении момента M_a в $м^3$;

$R_{гр}$ — расчетное сопротивление грунта на глубине заложения подошвы фундамента в $т/м^2$.

Момент всех сил в направлении a равен

$$M_a = H_н h + E_1 m_1 + E_2 m_2\ тм,$$

где E_1 и E_2 — равнодействующие отпора грунта перед зубьями в $т$;

m_1 и m_2 — расстояния от равнодействующих E_1 и E_2 до подошвы в $м$;

h — расстояние от подошвы до горизонтальной нагрузки в $м$.

Из уравнения равновесия

$$H_н = T + E_1 + E_2$$

определяется

$$E_1 + E_2 = H_н - T,$$

где $T = Pf$ — удерживающая сила трения по подошве;

f — коэффициент трения подошвы по основанию.

С достаточной точностью можно принимать

$$m_1 = m_2 = \frac{h_з}{2}.$$

Расчет фундаментов на устойчивость против скольжения

Расчет фундаментов на устойчивость против скольжения производится по расчетным нагрузкам; при этом коэффициент перегрузки к величине удерживающей нагрузки принимается меньше единицы.

Для фундаментов с плоской горизонтальной подошвой без учета бокового и лобового сопротивления грунта устойчивость против сдвига обеспечивается при

$$H_р \leqslant P_р f\ т, \qquad (15.19)$$

где $H_р$ — сдвигающая расчетная горизонтальная нагрузка в $т$;

$P_р$ — сумма всех вертикальных расчетных нагрузок в $т$;

f — коэффициент трения бетона по основанию.

Для конструкций опор с широкой поперечной стенкой и зубьями под подошвой (рис. 15.41) устойчивость против сдвига проверяется по формуле

$$H_р \leqslant T + T_б + (E_п - E_а) + \Sigma (E_{пз} - E_{аз}), \qquad (15.20)$$

где $E_п$ и $E_а$ — равнодействующие расчетных пассивного и активного давления грунта на стенку в $т$;

$E_{пз}$ и $E_{аз}$ — равнодействующие расчетных пассивного и активного давления на зуб в $т$;

$T = P_p f$ — расчетная удерживающая сила трения по подошве в *т*;
$T_б$ — удерживающая сила бокового трения в *т*;
P_p — сумма всех вертикальных сил в *т*.

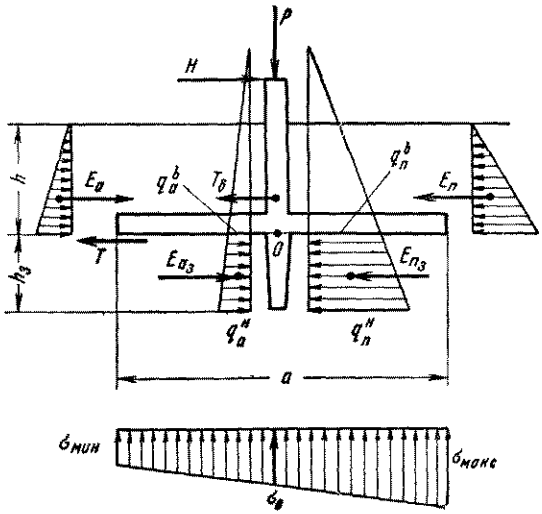


Рис. 15.41. Схема работы фундамента с одним зубом

Величины, входящие в формулу (15.20), определяются по приведенным ниже формулам:

$$T_б = \gamma h^2 a \operatorname{tg}\varphi M_a \ т;$$

$$E_a = \frac{\gamma b h^2}{2} M_a \ т;$$

$$E_п = \frac{\gamma b h^2}{2} M_п \ т;$$

$$E_{a_з} = \frac{q_a^в + q_a^н}{2} h_з b \ т;$$

$$E_{п_з} = \frac{q_п^в + q_п^н}{2} h_з b \ т;$$

$$q_a^в = \sigma_з M_a \ т/м^2;$$

$$q_a^н = (\sigma_з + \gamma h_з) M_a \ т/м^2;$$

$$q_п^в = \sigma_з M_п \ т/м^2;$$

$$q_п^н = (\sigma_з + \gamma h_з) M_п \ т/м^2;$$

$$M_a = \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right);$$

$$M_п = \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right);$$

где γ — расчетный объемный вес грунта в $т/м^3$;
φ — расчетный угол внутреннего трения в *град*;
b — ширина фундамента в *м*;
h — заглубление подошвы в *м*;
$h_з$ — высота зуба в *м*;
$\sigma_з$ — нормальное напряжение под подошвой в точке перед зубом в $т/м^3$.

Для фундаментов с одним зубом, расположенным в середине подошвы

$$\sigma_з = \frac{P_p}{ab} \text{ и } \Sigma(E_{п_з} - E_{a_з}) = h\left(\frac{P_p}{ab} + \frac{\gamma h_з}{2}\right) \times (M_п - M_a), \quad (15.21)$$

где P_p — сумма всех расчетных вертикальных сил, включая вес грунта;
a и b — стороны подошвы фундамента.

Для прямоугольных фундаментов с двумя зубьями, симметрично расположенными относительно середины подошвы,

$$\Sigma(E_{п_з} - E_{a_з}) = 2h_з\left(\frac{P_p}{ab} + \frac{\gamma h_з}{2}\right) \times (M_п - M_a). \quad (15.22)$$

Наименьшее расстояние между зубьями, а также расстояние от первого зуба до переднего края подошвы рекомендуется принимать не менее высоты $h_з$.

В фундаментах с двумя зубьями передний зуб воспринимает нагрузку, бóльшую, чем задний. Так как сопротивляемость грунта перед зубьями действию горизонтальных нагрузок зависит от вертикальных напряжений под подошвой, то распределение горизонтальных нагрузок между двумя зубьями на практике принимается пропорционально распределению напряжений, т. е.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \text{ или } E_1 = E_2 \frac{\sigma_1}{\sigma_2},$$

где E_1 и E_2 — нагрузки на первый и второй зубья в *т*;
σ_1 и σ_2 — напряжения под подошвой соответственно в точках перед первым и вторым зубьями в $т/м^2$.

Устойчивость фундаментов с плоской наклонной подошвой против скольжения определяют по формуле

$$H_p \leqslant \frac{f P_p \cos\alpha + P_p \sin\alpha}{\cos\alpha - f \sin\alpha} \tau. \quad (15.23)$$

Для повышения устойчивости фундаментов с плоской подошвой действию горизонтальных нагрузок подошву рекомендуется делать шероховатой. В этом случае коэффициент трения по подошве может быть принят равным:

$$f = \operatorname{tg}\varphi,$$

где φ — расчетный угол внутреннего трения грунта основания.

Расчет устойчивости щитовых опор

При прокладке в непроходных каналах горизонтальная осевая нагрузка от трубопроводов через щитовую опору передается на стенки или стенки и днище каналов. Железобетонный щит в этом случае рассчитывается, как плита, свободно опертая по двум или трем сторонам, а стенки каналов проверяются на смятие.

Участок канала от опоры до первого поворота проверяется на устойчивость против осевого сдвига по формуле

$$H_p \leqslant [b(2\gamma h + P_p) + \gamma L M_a (2h + L)]\, lf \ т, \quad (15.24)$$

где h — среднее заглубление верха канала на участке l в $м$;
b — полная ширина одноячейкового или многоячейкового канала в $м$;
l — высота канала в $м$;
P_p — расчетный собственный вес 1 *пог. м* канала в $т$;
f — коэффициент трения поверхности канала о грунт;
γ — расчетный объемный вес грунта в $т/м^3$;
L — длина канала в $м$;
H_p — суммарная расчетная осевая нагрузка в $т$

$$M_a = \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right).$$

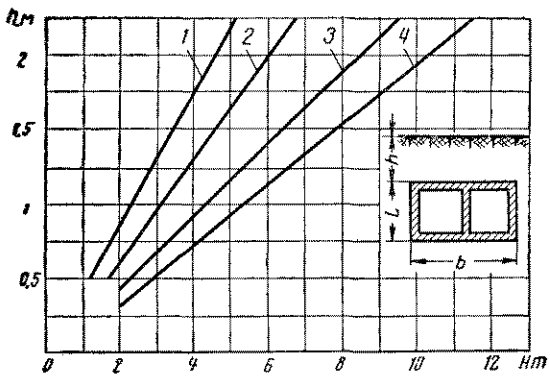


Рис. 15.42. График для определения величины сопротивления продольному сдвигу 1 *пог. м* канала

1 — для b=1,1 *м*; L=0,7 *м*; *2* — для b=1,5 *м*; L=0,9 *м*; *3* — для b=2,2 *м*; L=1 *м*; *4* — для b=2,6 *м*; L=1,3 *м*; h — заглубление перекрытия; H — нормативное сопротивление сдвигу 1 *пог. м* канала

Формула 15 24 выведена из условия возникновения удерживающих сил трения по всему периметру канала при усредненном коэффициенте трения материала канала о грунт.

Допустимую осевую нагрузку на 1 *пог. м* канала при толщине днища, стенок и перекрытия по 100 *мм* можно определять по графику рис. 15 42, построенному по формуле (15 24).

При расчете щитовых опор, передающих горизонтальную нагрузку от труб на вертикальную плоскость грунта, пользуются несколькими методами.

По первому методу несущую способность опоры определяют по формуле

$$H_p = F_{\text{нетто}} \cdot 0{,}5 R_{\text{гр}} \ т, \quad (15.25)$$

где $F_{\text{нетто}}$ — площадь щитовой опоры, соприкасающаяся с грунтом, в $м^2$;
$R_{\text{гр}}$ — расчетное сопротивление грунта на глубине заложения оси трубы в $т/м^2$.

По второму методу горизонтальные напряжение перед щитовой опорой определяют как для фундамента с вертикальной подошвой, эксцентрично загруженного горизонтальной силой,

$$\sigma^{\text{макс}}_{\text{мин}} = \frac{H_p}{F_{\text{нетто}}} \pm \frac{H_p e}{W} \ т/м^2, \quad (15.26)$$

где e — эксцентрицитет приложения горизонтальной силы в $м$;
W — момент сопротивления вертикальной «подошвы» щита в $м^3$.

Ординаты эпюры напряжения, определенные по формуле (15.26), не должны превосходить разности ординат эпюр пассивного и активного давления грунта, построенных по расчетным характеристикам.

Опоры, рассчитанные по второму способу, имеют значительный запас ввиду неполного использования не

В основу третьего способа расчета положено усло

В основу третьего способа расчета положено условие, чтобы объем эпюры напряжений перед опорой на высоте от верха опоры до любой точки C не превосходил объема эпюры пассивного давления, полученного на высоте от поверхности земли до той же точки (рис. 15.43).

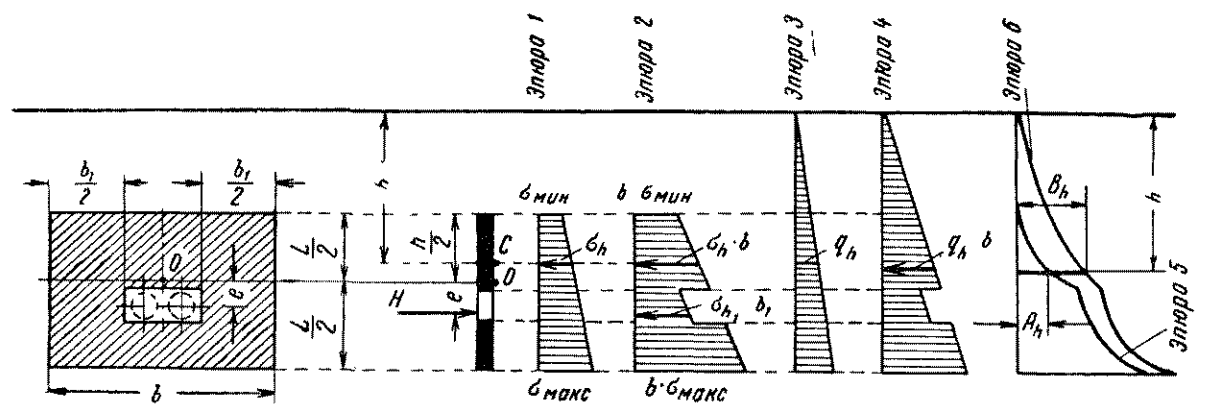


Рис. 15.43. Схемы к расчету устойчивости щитовых опор

По третьему способу расчет устойчивости ведется в следующем порядке:

по формуле (15.26) строится эпюра напряжений σ перед щитом (эпюра 1), которая, как правило, имеет вид прямоугольника или трапеции;

строится эпюра суммарного давления стенки по ширине опоры b и b_1 путем умножения ординат σ_h на ширину стенки (эпюра 2);

строится эпюра разности пассивного и активного давления (эпюра 3) по формуле

$$q_h = \gamma h (M_п - M_а) \ т/м^2;$$

строится эпюра суммарного давления путем умножения ординат q_h на b_1 и b (эпюра 4);

по эпюрам 2 и 4 строятся кривые эпюр 5 и 6. Любая произвольная ордината A_h эпюры 5, расположенная в точке C на глубине h от поверхности земли, определяется как площадь части эпюры 2, расположенной выше точки C.

Аналогично по эпюре 4 определяется любая ордината B_h (эпюра 6).

Устойчивость против выпирания грунта перед щитом по всей высоте будет обеспечена, если кривая эпюры 5 полностью окажется внутри кривой эпюры 6, т. е. когда в любой точке на глубине h обеспечивается условие

$$B_h \geqslant A_h .$$

Расчет устойчивости «качающихся» фундаментов

Расчет опор под трубопроводы по типу «качающихся» фундаментов с учетом пассивного отпора грунта заключается в определении смещения верхней грани под действием горизонтальной силы.

Величины наибольшего смещения верхней грани опор определяются по формуле

$$\Delta = \frac{2400 H L^3}{C_2 b h^4} \ см, \qquad (15.27)$$

где Δ — смещение верхней точки опоры в *см* (величину Δ рекомендуется допускать не более 2 *см*) (рис. 15.44);
L — полная высота щита в *см*;
h — заглубление щита в *см*;
b — ширина щита в *см*;
H — горизонтальная нагрузка, приложенная в верхней точке щита, в *кг*;
C_2 — коэффициент податливости грунта на глубине 2 *м* от поверхности в *кг/см*^{3}.

Коэффициент податливости C_2 можно принимать:

1,5—2 — для суглинистых и супесчаных грунтов средней плотности, а также для смесей перегноя, песка и гравия при $\gamma = 1{,}5$ *т/м*^{3};

0,5—0,75 — для обводненного суглинистого и супесчаного грунта при $\gamma = 1{,}8$ *т/м*^{3};

2—3 — для влажной плотной глины при $\gamma = 1{,}6$ *т/м*^{3};

4—5 — для очень плотной глины при $\gamma = 1{,}8$ *т/м*^{3};

2—3 — для сухого лёсса при $\gamma = 1{,}6$ *т/м*^{3};

1—1,55 — для мокрого чистого легкого песка при $\gamma = 2$ *т/м*^{3};

1,5—1,75 — для гравелистого крупного песка с водой при $\gamma = 1{,}9$ *т/м*^{3}.

При ширине щита, превышающей в 1,5—2 раза его заглубление, формула дает несколько заниженные величины смещения.

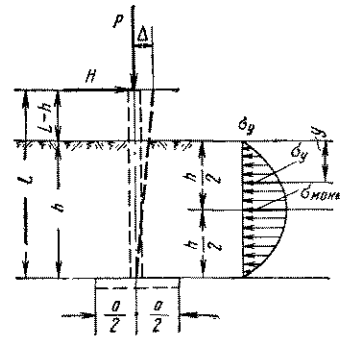


Рис. 15.44. Схема к расчету «качающегося» фундамента

Напряжения в грунте перед щитом на глубине y от поверхности земли определяют по формуле

$$\sigma_y = \frac{C_2 y \Delta}{200 L} (h - y) \ кг/см^2, \qquad (15.28)$$

где y — расстояние от точки, в которой определяют напряжения, до поверхности земли.

Для уменьшения величины «качания» котлованы под опоры рекомендуется отрывать в виде узких прорезей поперек оси трассы, обратную засыпку хорошо уплотнять, а верхнюю треть опор засыпать смесью местного грунта с балластом.

Последнее мероприятие в слабых грунтах позволяет сократить величину «качания» до 50%.

Приведенные формулы для определения Δ и σ выведены из условия поворота вертикального щита опоры вокруг своей нижней грани.

Поэтому они могут применяться только при соблюдении условия

$$P \geqslant \frac{H(2L - h)}{fh}, \qquad (15.29)$$

где P — вертикальная нагрузка на опору в *кг*;
H — горизонтальная нагрузка, приложенная в верхней точке, в *кг*;
L — полная высота щита в *см*;
h — заглубление щита в *см*;
f — коэффициент трения на контакте подошвы щита по фундаментной плите, а при отсутствии ее — по грунту.

РАЗДЕЛ IV

НАСОСНЫЕ И ПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

ГЛАВА 16

КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

16.1. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ

В зависимости от типа водонагревательного оборудования, источника тепла, расчетной температуры сетевой воды и принятой системы подпиточная вода по своим основным показателям должна соответствовать требованиям, приведенным в табл. 16.1.

Подпиточная вода для открытых систем, кроме того, должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2874—54.

Отступления от ГОСТа по содержанию железа до 0,7—0,8 *мг/л* и прозрачности до 20 *см* по шрифту допускаются по согласованию с местными органами Государственного санитарного надзора в следующих случаях: а) в период неполного освоения установок горячего водоснабжения — сроком до 1—2 месяцев; б) в период включения отопительных систем — сроком до 7 дней; в) в период паводков.

Использование для подпитки открытых систем воды из системы оборотного технического водоснабжения с градирнями или прудами-охладителями не допускается.

В табл. 16.1 не указана норма условной сульфатно-кальциевой жесткости, поскольку величина предельной жесткости, до которой исключается выпадение из воды $CaSO_4$, зависит от конкретного солевого состава исходной воды, методов ее обработки и величины произведения растворимости $CaSO_4$ при заданной температуре подогрева; она определяется в каждом отдельном случае расчетом.

Таблица 16.1

Нормативные требования к качеству подпиточной воды в зависимости от температуры сетевой воды

Наименование показателей	При установке стальных водогрейных котлов		При установке подогревателей с латунными трубками	
	при температуре сетевой воды в °С			
	до 100	150	до 100	150
Растворенный кислород в *мг/л*	0,05	0,05	0,05—0,1*	0,05—0,1
Карбонатная жесткость в *мг-экв/л*	0,7—0,9**	0,4—0,5***	0,7—1,5**	0,7
Общая жесткость при использовании для подпитки воды непрерывной продувки котлов** в *мг-экв/л*	0,05	0,05	0,01	0,05
Величина pH	7—9****			
Взвешенные вещества в *мг/л*	5			
Условная сульфатно-кальциевая жесткость в *мг-экв/л*	Не больше величины, при которой возможно выпадение из воды $CaSO_4$			

* Норма кислорода 0,05 *мг/л* принимается при открытых системах, а 0,1 *мг/л* — при закрытых.

** Норму карбонатной жесткости более 0,7 *мг-экв/л* допускается применять при окисляемости воды более 6 *мг/л* O_2.

*** Нижний предел нормы карбонатной жесткости 0,4 *мг-экв/л* принимается для газомазутных водогрейных котлов, а верхний 0,5 *мг-экв/л* для водогрейных котлов на твердом топливе.

**** При открытой системе использование для подпитки воды непрерывной продувки котлов не разрешается, а величина pH подпиточной воды не должна превышать 8,5.

Примечание. Норма карбонатной жесткости для промежуточных значений расчетной температуры сетевой воды от 100 до 150° С определяется интерполяцией.

Таблица 16.2

Произведение растворимости $CaSO_4$ в зависимости от расчетной температуры сетевой воды

Температура сетевой воды в °С	90	100	120	160	200
ПР $CaSO_4$ в *г-ионах/л*	$11{,}3\cdot10^{-6}$	$7\ 6\cdot10^{-6}$	$3{,}7\cdot10^{-6}$	$0{,}93\ 10^{-6}$	$0{,}24\cdot10^{-6}$

Стабильность воды по $CaSO_4$ может быть проверена по уравнению

$$\left[Ca^{2+}\right]\cdot\left[SO_4^{2-}\right]f_{II}^2 = ПР\ CaSO_4, \qquad (16.1)$$

где $[Ca^{2+}]$ и $[SO_4^{2-}]$ — предельно допускаемые концентрации иона кальция и сульфат-иона в *г-ион* в 1 *л*;

f_{II} — коэффициент активности двухвалентных ионов;

ПР $CaSO_4$ — произведение растворимости $CaSO_4$ в *г-ион* в 1 *л*.

Коэффициент активности определяют по формуле

$$\lg f = -0{,}5Z^2\frac{\sqrt{\mu}}{1+\sqrt{\mu}}, \qquad (16.2)$$

где Z — валентность иона;

μ — ионная сила раствора.

Для двухвалентных ионов

$$\lg f_{II} = -2\frac{\sqrt{\mu}}{1+\sqrt{\mu}}. \qquad (16.3)$$

Ионная сила раствора μ равняется полусумме произведений концентраций (в *г-ион/л*) всех ионов на квадрат их валентностей:

$$\mu = \frac{1}{2}\ 10^{-3}\left[\Sigma AZ^2 + \Sigma БZ_1^2\right], \qquad (16.4)$$

где ΣA — сумма концентраций всех двухвалентных ионов в *г-ион/л*;

$\Sigma Б$ — то же, одновалентных ионов;

Z и Z_1 — валентности.

Величина произведения растворимости $CaSO_4$ принимается по табл. 16.2.

В соответствии с составом исходной воды производится расчет по определению предельно допустимой величины сульфат-иона (условной сульфатно-кальциевой жесткости) в сетевой воде.

Для перевода полученной в результате расчета величины предельно допустимой концентрации сульфат-иона в сульфатно-кальциевую жесткость в *мг-экв/л* полученная величина умножается на $2\cdot10^3$ (где 2 — валентность сульфат-иона).

Пример 1. Определить предельную величину условной сульфатно-кальциевой жесткости (максимально допустимую величину сульфат-иона) для воды, подогретой до 150° С и имеющей начальный состав, приведенный в табл. 16.3.

Ионная сила раствора составит по формуле (16.4)

$$\mu = \frac{1}{2}\ 10^{-3}\left[(2{,}53+0{,}8+0{,}64)\,2^2+(0{,}3+5{,}4+0{,}23)\,1^2\right] = 0{,}0109$$

Таблица 16.3

Данные анализа воды

Наименование показателей	Концентрация в		
	мг/л	*мг-экв/л*	*г-ион/л*
Ca^{2+}	101,1	5,05	$2{,}53\ 10^{-3}$
Mg^{2+}	19,3	1,59	$0{,}8\cdot10^{-3}$
Na^{+}	7	0,3	$0{,}3\ 10^{-3}$
HCO_3^{-}	329,5	5,4	$5{,}4\cdot10^{-3}$
SO_4^{2-}	60,8	1,27	$0{,}64\cdot10^{-3}$
Cl^{-}	8	0,23	$0{,}23\ 10^{-3}$
Сумма ионов	525,7	13,84	$9{,}9\cdot10^{-3}$

Коэффициент активности двухвалентных ионов согласно формуле (16.3)

$$\lg f_{II} = -2\frac{\sqrt{0{,}0109}}{1+\sqrt{0{,}0109}} = -0{,}187 = \overline{1}{,}813,$$

откуда $f_{II} = 0{,}65$.

Из табл. 16.2 определяется ПР $CaSO_4$ при температуре сетевой воды $t = 150°$ С:

$$ПР\ CaSO_4 = 1{,}4\cdot10^{-6}\ г\text{-}ион/л.$$

Подставляя в уравнение (16.1) полученные величины, для предельно допустимого значения сульфат-иона в воде определяем значение

$$\left[SO_4^{2-}\right] = \frac{1{,}4\cdot10^{-6}}{2{,}53\cdot10^{-3}\cdot0{,}65^2} = 1{,}31\cdot10^{-3}\ г\text{-}ион/л,$$

или $1{,}31\cdot10^{-3}\cdot2\cdot10^3 = 2{,}62$ *мг-экв/л*,

что превышает содержание SO_4^{2-} в исходной воде. Следовательно, работа сети при температуре 150° С будет вполне надежна.

Пример 2. Определить предельно допустимую величину сульфат-иона для подпиточной воды при подогреве сетевой воды до 120° и 160° С. Состав воды приводится в табл. 16.4.

Ионная сила раствора по формуле (16.4)

$$\mu = \frac{1}{2}\ 10^{-3}[(3{,}10+1{,}07+2{,}58)2^2+(4\ 65+4{,}12+$$

$$+3{,}36)\,1^2] = 0{,}0196.$$

Коэффициент активности двухвалентных ионов согласно формуле (16.3)

$$\lg f_{II} = -2\ \frac{\sqrt{0{,}0196}}{1+\sqrt{0{,}0196}} = -0{,}246 = \overline{1}{,}754,$$

откуда

$$f_{II} = 0{,}568.$$

Таблица 16 4

Данные анализа воды

Наименование показателей	Концентрации в		
	мг/л	*мг-экв/л*	*г-ион/л*
Ca^{2+}	124,4	6,2	$3{,}10\ 10^{-3}$
Mg^{2+}	26	2,14	$1{,}07\ 10^{-3}$
Na^{+}	107	4,65	$4{,}65\ 10^{-3}$
HCO_3^{-}	252,6	4,12	$4{,}12\ 10^{-3}$
SO_4^{2-}	246,5	5,16	$2{,}58\ 10^{-3}$
Cl^{-}	119	3,36	$3{,}36\ 10^{-3}$
Сумма ионов	875,5	25,64	$18{,}88\ 10^{-3}$

Произведение растворимости $CaSO_4$ для температуры сетевой воды —120° С согласно табл. 16 2 составит $3{,}7 \cdot 10^{-6}$.

Предельное значение сульфат-иона из уравнения (16 1)

$$\left[SO_4^{2-}\right] = \frac{3{,}7 \cdot 10^{-6}}{3{,}1\ 10^{-3} \cdot 0{,}568^2} = 3{,}7\ 10^{-3}\ \text{г-ион/л},$$

или $3{,}7\ 10^{3} \cdot 2\ 10^{-3} = 7{,}4$ *мг-экв/л*.

Произведение растворимости $CaSO_4$ для температуры сетевой воды 160° С по табл 16 2 составит $0{,}93 \cdot 10^{-6}$ *г-ион/л* и предельное значение сульфат иона из уравнения 16 1.

$$\left[SO_4^{2-}\right] = \frac{0\ 93\ 10^{-6}}{3{,}10\ 10^{-3} \cdot 0{,}568^2} = 0{,}93 \cdot 10^{-3}\ \text{г-ион/л},$$

или $0{,}93\ 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{3} = 1{,}86$ *мг-экв/л*.

При работе сети при температуре сетевой воды 160° С предельное значение сульфат иона в воде получилось ниже его значения в исходной воде (5,16 *мг-экв/л*), поэтому вода будет нестабильна при такой температуре и будут выпадать сульфатно-кальциевые соли на оборудовании и трубопроводах теплосети. При температуре сетевой воды 120° С предельно допускаемая величина сульфат-иона будет 7,4 *мг-экв/л*, т е. значительно выше его значения в исходной воде (5,16 *мг-экв/л*), и сульфатно-кальциевые соли выпадать не будут.

16.2. КОЛИЧЕСТВО ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВОДОПОДГОТОВКИ

Количество подпиточной воды должно строго соответствовать величине утечки и количеству воды, отобранной в открытых системах горячего водоснабжения

Среднечасовая величина утечки за год согласно «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей» принимается равной 0,25% от объема воды в трубопроводах тепловых сетей и непосредственно присоединенных к ним местных систем зданий

Расчетная величина (норма) подпитки $G_{\text{п}}^{\text{у}}$ в *м³/ч*, учитывая возможные колебания утечки в течение года в зависимости от режимных условий работы системы, принимается равной 0,5% от объема воды в трубопроводах тепловых сетей и непосредственно присоединяемых к ним местных систем зданий

Объем воды в трубопроводах тепловых сетей определяют по сводной спецификации на трубы в зависимости от их протяженности и диаметра

Удельный объем воды в трубопроводах в зависимости от диаметра приведен в табл. 16 5

Таблица 16 5

Удельный объем воды в *м³/км* в зависимости от диаметра труб

Диаметр трубы $D_{\text{усл}}$ в *мм*	Объем воды в *м³/км*	Диаметр трубы $D_{\text{усл}}$ в *мм*	Объем воды *м³/км*
25	0,6	400	135
40	1,3	450	170
50	1,4	500	210
100	8	600	300
125	12	700	390
150	18	800	508
200	34	900	640
250	53	1000	785
300	75	1100	947
350	101	1200	1120

Удельный объем воды в местных системах отопления и вентиляции присоединяемых зданий принимают по табл. 16 6.

Таблица 16.6

Удельный объем воды в местных системах отопления и вентиляции в *м³* на 1 *Гкал/ч* расчетной тепловой нагрузки

Тип нагревательных приборов	Принятый перепад температур в местной системе в °С	
	95/70	130/70
Чугунные емкие радиаторы типов «Гамма», «Польза»	35	25
Радиаторы малой емкости Н и М	25	16
Ребристые трубы или конвекторы .	14	11
Панели со змеевиками из труб	10	—
Пластинчатые калориферы . .	8,5	6,5

Удельный объем воды в местных системах горячего водоснабжения принимают равным 6 *м³* на 1 *Гкал/ч* среднечасовой расчетной тепловой нагрузки горячего водоснабжения.

При отсутствии точных сведений 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*.

С учетом удельного объема воды в трубопроводах тепловых сетей и подогревательных установок общий объем воды в системе допускается ориентировочно принимать на 1 *Гкал/ч* суммарного расчетного расхода тепла: для жилых районов 45—50 *м³*; для промышленных предприятий 25—35 *м³* с уточнением полученных величин на последующих стадиях проектирования

Количество подпиточной воды для горячего водоснабжения определяют по расчетному расходу тепла на горячее водоснабжение:

среднечасовое

$$G_{\text{г в}}^{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{г в}}^{\text{ср}}}{t_{\text{р}} - t_{\text{х.в}}}\ \text{м}^3/\text{ч}; \qquad (16\ 5)$$

Таблица 167

Растворимость кислорода в воде в *мг/л* в зависимости от температуры

Температура в °С	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90	100
Содержание O_2 в *мг/л*	11,2	9	7,5	6,35	5,5	4,7	3,8	3,3	2,8	2,2	1,6	0

максимальночасовое

$$G_{г.в}^{макс} = \frac{Q_{г.в}^{макс}}{t_р - t_{х.в}} \; м^3/ч, \qquad (16\ 6)$$

где $Q_{г.в}^{ср}$ и $Q_{г.в}^{макс}$ — соответственно среднечасовой расчетный расход тепла за сутки наибольшего водопотребления и максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение, определяемый в главе 7;

$t_р$ — расчетная температура отбираемой из тепловой сети воды, принимаемая равной 60° С (при отсутствии особых требований).

$t_{х.в}$ — расчетная температура холодной воды, поступающей к источнику тепла и принимаемая равной 5° С (при отсутствии особых требований)

Производительность водоподготовки для обработки подпиточной воды $G_п$ в *м³/ч* принимается:

Для подпитки закрытых систем

$$G_п = G_п^у \; м/ч.$$

Для подпитки открытых систем или отдельных трубопроводов горячего водоснабжения:

а) при установке местных или центральных баков-аккумуляторов на обработанной воде

$$G_п = G_{г.в}^{ср} + G_п^у \; м^3/ч; \qquad (16.7)$$

б) при отсутствии баков-аккумуляторов или при установке центральных баков-аккумуляторов на необработанной холодной воде

$$G_п = G_{г.в}^{макс} + G_п^у \; м^3/ч. \qquad (16.8)$$

Обозначения по предыдущему.

16.3. ЦЕНТРАЛЬНЫЕ БАКИ-АККУМУЛЯТОРЫ

При больших количествах подпиточной воды в открытых системах тепловых сетей (от 150 *м³/ч* и выше) предусматривают установку центральных баков-аккумуляторов, выравнивающих график нагрузки бытового горячего водоснабжения за сутки наибольшего водопотребления.

В некоторых случаях предусматривают установку баков-аккумуляторов, выравнивающих нагрузку за неделю зимнего периода.

При отсутствии суточных или недельных графиков нагрузки горячего водоснабжения емкость баков-аккумуляторов $V_б$ для нагрузки жилых районов может приближенно определяться по формулам.

суточного

$$V_б^с = (4—6) G_{г.в}^{ср} \; м^3; \qquad (16.9)$$

недельного

$$V_б^н = (8—10)\, G_{г.в}^{ср} \; м^3, \qquad (16.10)$$

где $G_{г.в}^{ср}$ — среднечасовой расход воды на горячее водоснабжение за сутки наибольшего водопотребления в *м³/ч*.

В баках аккумулируется деаэрированная вода, поэтому она должна быть защищена от попадания в нее кислорода воздуха

Наиболее надежным является устройство паровой подушки с избыточным давлением пара 1,5—2 *м вод. ст*

Центральные аккумуляторные баки, как правило, размещаются на территории ТЭЦ или котельной и по схеме включаются последовательно с деаэратором.

В тепловых сетях некоторых городов аккумуляторные баки размещаются не на территории ТЭЦ, а в районе тепловых потребителей.

16.4. ПРИЛОЖЕНИЯ

Единицы жесткости воды

Немецкие градусы. $1^°_{нем} = 10$ *мг* CaO в 1 *л* воды.

Французские градусы $1^°_{франц} = 10$ *мг* $CaCO_3$ в 1 *л* воды.

Английские градусы: $1^°_{англ} = 10$ *мг* $CaCO_3$ в 0,7 *л* воды.

Американские градусы: $1^°_{амер} = 1$ *мг* $CaCO_3$ в 1 *л* воды.

Советская единица жесткости: 1 *мг-экв* = 28 *мг* CaO в 1 *л* воды.

Соотношения между указанными величинами: 1 *мг-экв* = $= 2{,}8^°_{нем} = 3{,}5^°_{англ} = 5^°_{франц} = 50^°_{амер}$.

1 *г-экв* = 1000 *мг-экв*

1 *мкг-экв* = 1/1000 *мг-экв*.

ГЛАВА 17

НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

17.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Сетевые насосные подогревательных установок источников тепла предназначаются для циркуляции воды в двух- и трехтрубных водяных тепловых сетях и для подачи воды потребителям по однотрубной водяной сети.

Количество сетевых насосов принимается не менее двух, из которых один резервный.

При числе параллельно работающих сетевых насосов более трех согласно СНиП II-Г.10-62 установка резервного насоса необязательна.

Производительность рабочих сетевых насосов принимается равной расчетному расходу сетевой воды в подогревательной установке (см. главу 9); производительность резервного насоса — производительности одного рабочего насоса.

Напор насосов для двухтрубных сетей принимается равным сумме гидравлических потерь напора (при расчетных расходах воды) в подогревательной установке, в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, считая от источника тепла до наиболее удаленного потребителя, и в местной системе этого потребителя.

Перед сетевыми насосами устанавливаются грязевики для улавливания посторонних предметов, случайно попавших в теплопроводы при монтаже и ремонте.

Сетевые подкачивающие насосные устанавливаются на подающем и на обратном трубопроводах водяных тепловых сетей.

На рис. 17.1 и 17.2 показаны принципиальные схемы подкачивающих насосных на обратном и подающем трубопроводах.

В насосных по условиям обеспечения надежности работы устанавливается по два рабочих насоса и по одному резервному.

Во избежание гидравлического удара при внезапной аварийной остановке подкачивающего насоса на обратном трубопроводе вокруг насоса предусматривается обводная линия с обратным клапаном.

В тех случаях, когда у потребителей при остановке подкачивающих насосных может повышаться давление выше допустимого, особое внимание уделяется надежности их работы, для чего предусматривается двухстороннее питание электродвигателей от двух разных источников или двух трансформаторных пунктов с возможностью переключения в случае необходимости с одного источника питания на другой.

Схема и оборудование для автоматизации насосных приведены в главе 20.

В табл. 17.1 приводятся основные характеристики сетевых подкачивающих насосных на подающем и обратном трубопроводах.

Сетевые смесительные насосные. Напор смесительных насосов должен превышать максимально возможный располагаемый напор в сети пункта размещения насосной на 5—10 *м вод. ст.*

В смесительных насосных рекомендуется устанавливать по три насоса, из которых один резервный. Для небольших насосных допускается устанавливать два насоса, из которых один — резервный.

Схема смесительной насосной для двухтрубных тепловых сетей приведена на рис. 17.3.

Примерные габариты и оборудование смесительных насосных установок даны в табл. 17.2.

Производительность смесительных насосных $G_{\text{см.н}}$ может быть определена по формуле

$$G_{\text{см.н}} = aG_{\text{под}}\ т/ч, \qquad (17.1)$$

где $G_{\text{под}}$ — расход воды в подающем трубопроводе до насосной в $т/ч$,

a — расчетный коэффициент смешения, определяемый по уравнению

$$a = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2}. \qquad (17.2)$$

Здесь τ_1, τ_2 и τ_3 — температуры соответственно в подающем и обратном трубопроводах до смешения и в подающем трубопроводе после смешения при расчетной температуре наружного воздуха для отопления.

Температура воды после смешения или заданный коэффициент смешения рекомендуется поддерживать автоматическими регуляторами (см. главу 20).

Подпиточные насосные (см. рис. 17.1) предназначаются для компенсации утечки и разбора воды из тепловой сети.

Напор подпиточных насосов определяется по статическому давлению в системе при температуре воды до 100° С с учетом давления воды на всасывающей линии и проверяется на обеспечение невскипания воды в подающем трубопроводе при циркуляции воды в системе.

При установке в открытых системах баков-аккумуляторов для подбора производительности насосов учитываются среднечасовые расходы воды на горячее водоснабжение, а также утечка воды (см главы 9 и 17).

Примерные характеристики подпиточных насосных приведены в табл 17.3.

В крупных системах теплоснабжения рекомендуется установка отдельных групп подпиточных насосов для летнего и зимнего периодов.

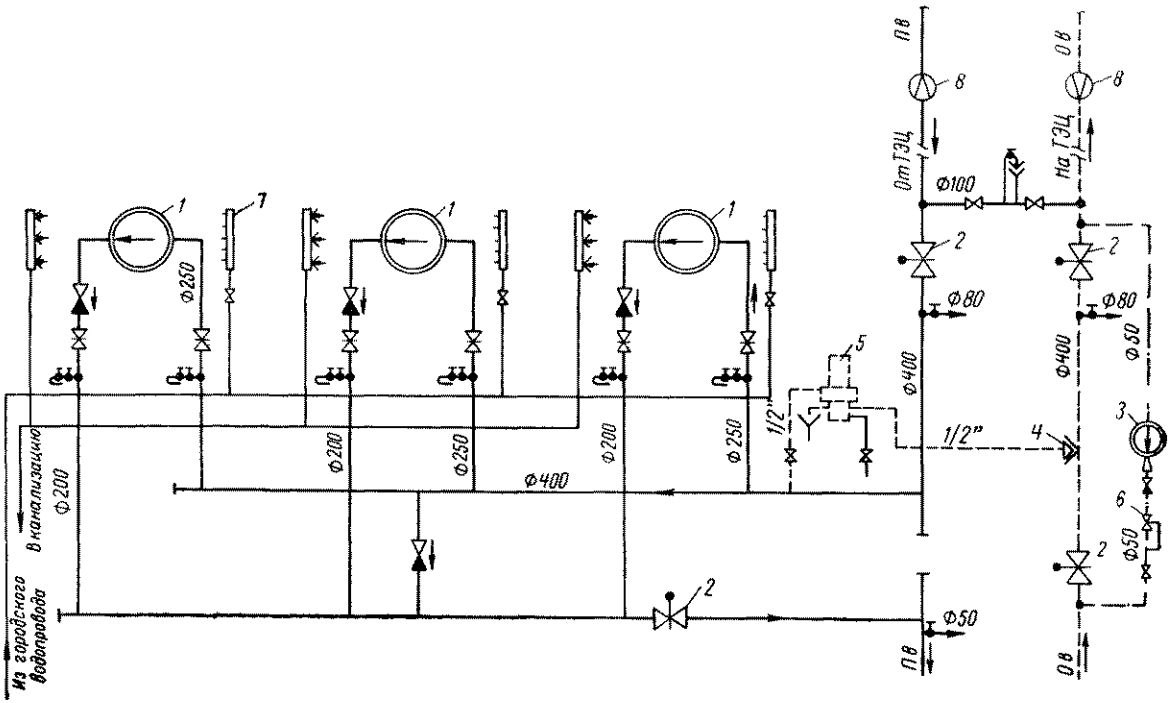


Рис. 17.1. Схема подкачивающей насосной на подающем трубопроводе

1 — сетевые подкачивающие насосы; *2* — электрифицированные задвижки; *3* — подпиточный насос для закрытых сетей; *4* — клапан рассечки; *5* — реле давления; *6* — регулятор давления; *7* — подача воды для охлаждения подшипников; *8* — измерительные диафрагмы, устанавливаемые на прямом участке трубы (вне насосной); *п. в* — подающая вода; *о. в* — обратная вода

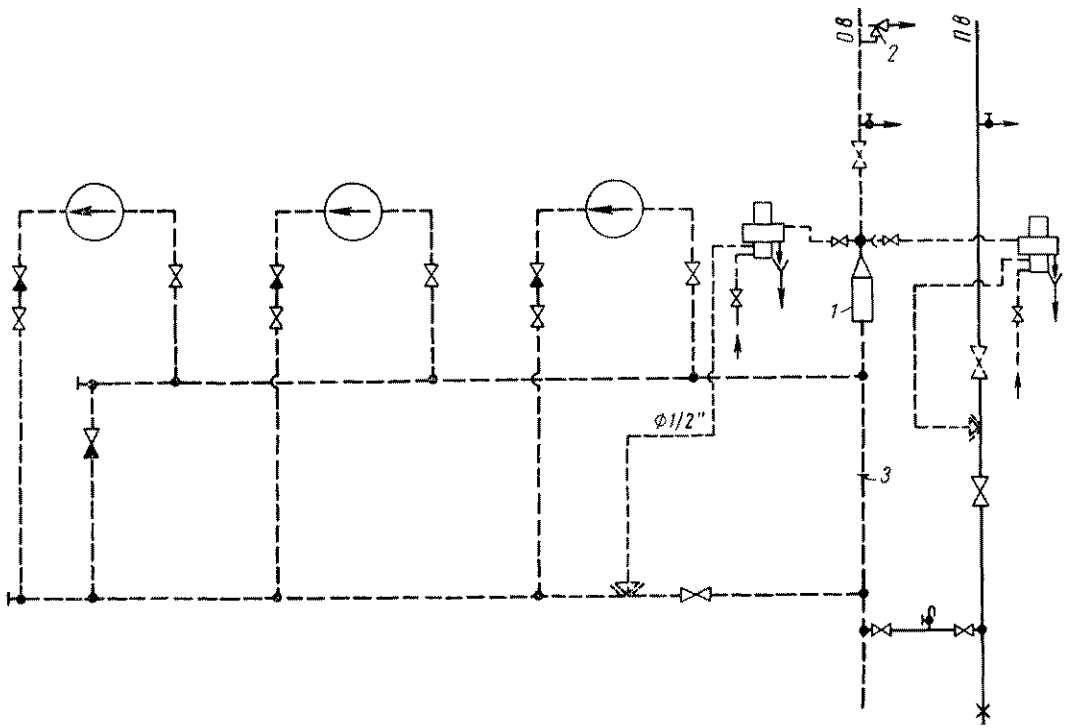


Рис. 17.2. Схема подкачивающей насосной на обратном трубопроводе

1 — грязевик, *2* — предохранительные клапаны (2 шт.), *3* — заглушка

Таблица 17.1

Характеристики и основные размеры сетевых подкачивающих насосных на обратном и подающем трубопроводах по данным Харьковского отделения ВГПИ Теплоэлектропроект

Место установки насосов	Диаметр трубы тепловой сети в *мм*	Насосы (3 шт.)				Электродвигатели (3 шт.)					Пределы применения		Размеры помещения в *м*	
		тип	производительность в *м³/ч*	напор в *м вод. ст.*	вес в *т*	тип	мощность в *квт*	число оборотов в *мин*	напряжение тока в *в*	вес в *т*	по производительности в *м³/ч*	по напору в *м вод ст.*	длина	ширина
На обратной трубе	300	6НД$_в$	250	54	0,3	А-82-4	55	1500	220/380	0,4	400—800	55—43	12	9
	350	8НД$_в$	400	32	0,95	А-91-6	55	1000	220/380	1	300—600	34—24	12	9
	600	12НД$_с$	1260	64	1,4	А-111-4	250	1500	220/380	1,5	1800—2800	70—58	18	12
	400	10СД-6	485	65	1,4	А-102-4	160	1500	220/380	1,1	500—1200	78—61	18	9
На подающей трубе	500	12СД-9	790	54	1,6	А-103-4	200	1500	220/380	1,2	600—1000	62—45	18	9
	500	12СД-10×2	790	90	3,2	А-112-4	320	1500	220/380	1,6	1200—1800	—	18	12
	700	14СД-10×2	1260	123	4,9	ДАМСО-157-4	600	1480	6000	1,5	—	—	24	12
						ДАМСО-1410-4	680	1480	3000	3,55	—	—	—	—

Таблица 17.2

Примерные размеры смесительных насосных в зависимости от количества подмешиваемой воды

Количество подмешиваемой воды в *м³/ч*	Насосы (3 шт.)		Примерные размеры насосных в *м*	
	производительность в *м³/ч*	напор в *м вод. ст.*	длина	ширина
500	250	35	9	6
1000	500	45	12	9
2000	1000	60	18	9
3000	1500	70	18	9
4000	2000	80	18	12

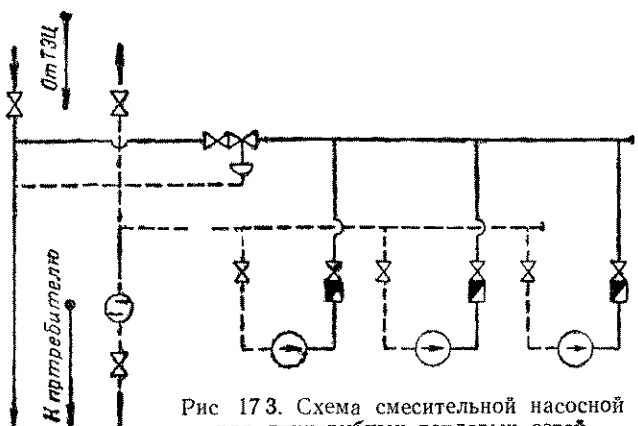


Рис 17.3. Схема смесительной насосной для двухтрубных тепловых сетей

Таблица 17.3

Примерные характеристики подпиточных насосных

Система горячего водоснабжения	Место установки подпиточных насосов	Производительность насосной в *м³/ч*	Напор насосов в *м вод. ст.*	Количество насосов (не менее) в шт.
Закрытая	В узлах рассечки сети на зоны	30—60	20—70	1
Открытая		100—500	20—70	2
	В подогревательных установках сетевой воды источника тепла	30—250	30—70	2
		100—1000	30—70	3

Конденсатные насосные предназначаются для откачки конденсата из сборных баков; они обычно сооружаются у потребителей пара, имеющих большой выход конденсата (более 3 *т/ч*)

Размещение конденсатных насосных в отдельно стоящих подземных помещениях не рекомендуется.

В конденсатной насосной (рис 17.4 и 17.5) устанавливается не менее двух насосов, из которых один резервный.

Производительность насосов для перекачки конденсата выбирается по максимальному часовому возврату конденсата от потребителей.

При работе нескольких конденсатных подстанций на один общий конденсатопровод напоры насосов всех подстанций должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы статическое давление, создаваемое насосами с учетом геодезических отметок, было одинаковым.

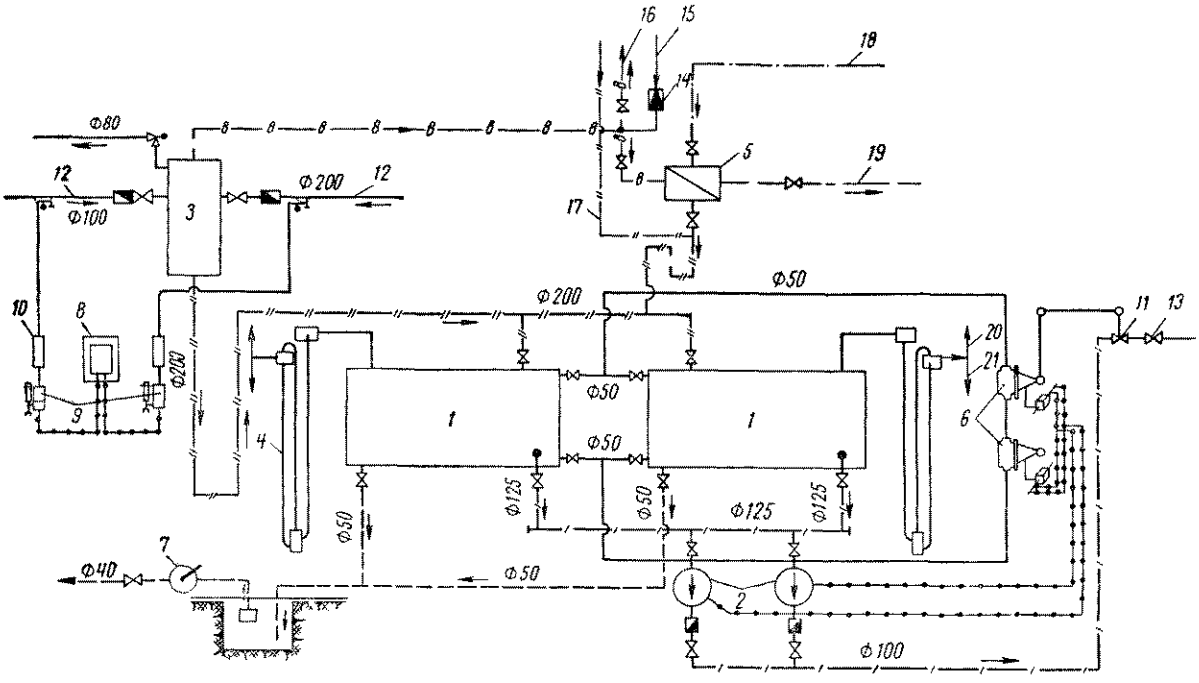


Рис. 17.4 Схема конденсатной насосной с расширительными баками

1 — конденсатные баки; *2* — насосы; *3* — расширительный бак; *4* — гидравлический предохранитель; *5* — теплообменник вторичного пара (p=1,2 *ama*); *6* — поплавковые реле; *7* — ручной насос для откачки дренажной воды; *8* — солемер; *9* — датчик солемера; *10* — холодильник, *11* — регулирующий клапан; *12* — конденсатопровод от потребителей; *13* — напорный конденсатопровод, *14* — редуктор, *15* — пар из цеха; *16* — пар на отопление и вентиляцию (p=1,2 *ama*), *17* — конденсатопровод пара из цеха (p=1,2 *ama*); *18* — холодная вода; *19* — горячая вода для использования; *20* — выброс в атмосферу; *21* — выпуск в канализацию

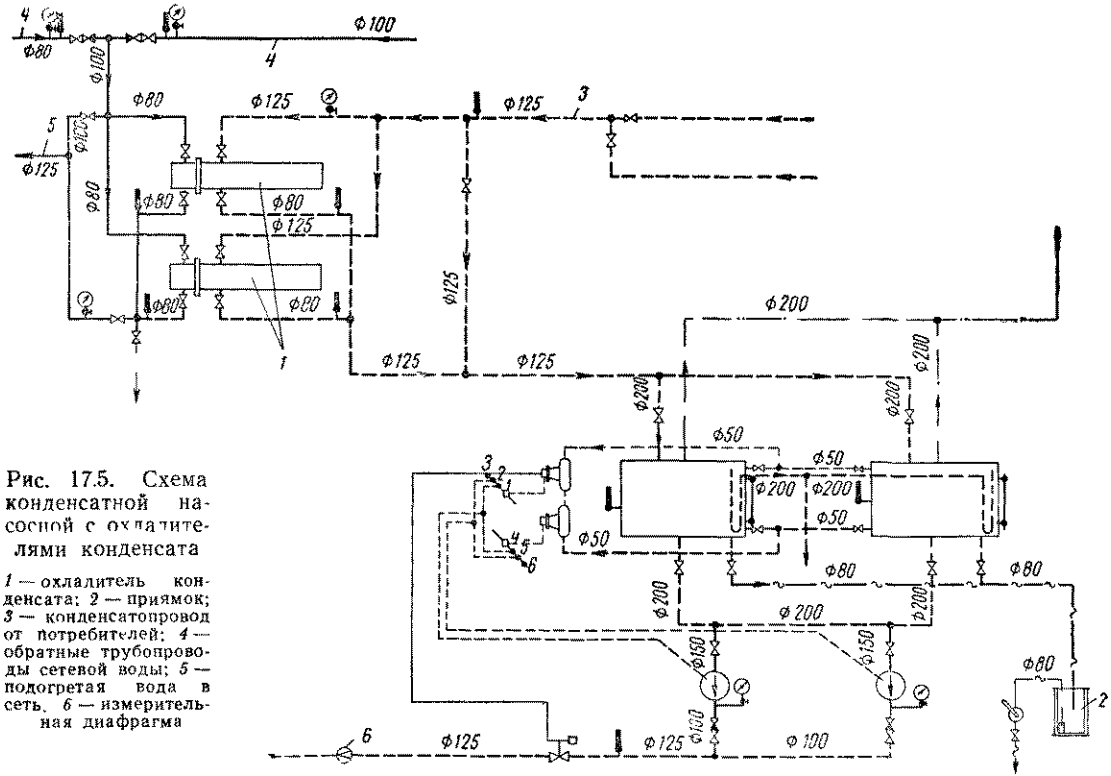


Рис. 17.5. Схема конденсатной насосной с охладителями конденсата

1 — охладитель конденсата; *2* — приямок; *3* — конденсатопровод от потребителей; *4* — обратные трубопроводы сетевой воды; *5* — подогретая вода в сеть, *6* — измерительная диафрагма

Таблица 17.4

Характеристики и основные размеры конденсатных насосных подстанций с расширительными бачками по данным ВГПИ Теплоэлектропроекта

Тип насосных	Количество откачиваемого конденсата в *м³/ч*	Диаметр напорных конденсатопроводов в *мм*	Насосы (2 шт.)			Электродвигатели (2 шт.)				Конденсатные баки (2 шт.)		Размеры подстанции в *м*			Помещение подстанции
			тип	производительность в *м³/ч*	напор в *м вод. ст.*	тип	мощность в *квт*	число оборотов в *мин*	емкость расширительного бачка в *м³*	емкость (рабочая) бака в *м³*	номер междуведомственной нормали	длина	ширина	высота	
I	До 5	50	2-К6	5	34,5	А-41-2	2,8	2900	0,25	1	—	5	5	3,5	Закрытое
II	» 10	80	2-К6	10	34,5	А-42-2	4,5	2900	0,25	2	2102-01	5 7	5 5	3,8 3,8	Полузакрытое Закрытое
III	» 25	100	3-К9	25	35	А-51-2	7	2900	0,7	4	2102-02 или 2120-01	5 7,5	6,5 6,5	4,2 4,2	Полузакрытое Закрытое
IV	» 50	125	3-К6а	50	37,5	А-61-2	14	2900	1	10	2102-05 или 2107-01	5 7,5	7 7	4,7 4,7	Полузакрытое Закрытое
V	» 100	150	6К-8	100	37	А-72-4	28	1450	1	15	2102-06 или 2107-02	9 12	9 9	5 5	Полузакрытое Закрытое
VI	» 200	200	6НДС	250	66	А-82-2	75	2950	1 (2 шт.)	25	746-01 или 775-01	9 12	12 12	5,5 5,5	Полузакрытое Закрытое

Примечание. Расстояние от пола до низа конденсатного бака принято равным 1 *м*.

Таблица 17.5

Характеристики и примерные размеры конденсатных насосных подстанций с охладителями конденсата (для закрытых помещений)

Количество откачиваемого конденсата в *т/ч*	Подогреватели (охладители конденсата)		Размеры помещений в *м*		
	суммарная поверхность в *м²*	номер междуведомственной нормали	длина	ширина	высота
До 5	4,54	1436-01	7	6	3,5
» 10	7,18	1436-02	8	5	3,8
» 25	19,9	1436-05	9	6	4,2
» 50	30,6	1436-06	9	9	4,7
» 100	30,6×2	1436-06	12	12	5
» 200	62,3×2	1437-06	18	12	5,5

Примечания: 1. Типы подогревателей определены из условия охлаждения конденсата на 50—60° С.
2. Характеристики насосов, электродвигателей и конденсатных баков принимаются по табл. 17.4.

Количество баков в насосных принимается, как правило, не менее двух емкостью по 50% каждый. При сезонной работе насосной допускается установка одного бака.

Рабочая емкость сборных баков конденсата при автоматизированной его откачке должна быть не менее 10-минутного максимального поступления конденсата от потребителей, а при необходимости проверки качества конденсата — не менее 20-минутного.

При возврате конденсата по закрытой системе в сборном конденсатном баке должно поддерживаться избыточное давление в пределах 0,05—0,2 *кгс/см²*. Избыточное давление может создаваться за счет отсепарированного пара или пара от источников тепла.

Допускается сброс конденсата в системы канализации; при этом: а) при постоянном сбросе в систему бытовой канализации следует предусматривать охлаждение конденсата до 40° С; при аварийном сбросе конденсат не охлаждается; б) при постоянном и аварийном сбросе в систему дождевой канализации конденсат не охлаждается.

Конденсатные баки должны иметь переливные трубы с гидрозатвором в виде петли для защиты бака от переполнения и от повышения давления паровой подушки.

Характеристики и размеры нескольких типов конденсатных подстанций, по данным ВГПИ Теплоэлектропроект, приведены в табл. 17.4 и 17.5.

При температурах собираемого конденсата выше 120° С его тепло рекомендуется использовать у потребителей.

Тепло конденсата возможно использовать: а) охлаждением горячего конденсата в теплообменниках (охладителях) до 95—100° С; б) получением из горячего конденсата пара вторичного вскипания в расширительных бачках с использованием его в различного рода теплообменниках, включая отопительно-вентиляционные приборы.

Расширительные бачки устанавливаются выше конденсатных баков с таким расчетом, чтобы низ расширительного бачка был не менее чем на 0,3—0,5 *м* выше уровня входящей в бак конденсатной трубы.

Подвод конденсата к баку должен производиться в нижнюю часть бака под минимальный уровень конденсата на расстоянии от низа трубы до дна бака не менее 100 *мм*.

Отметки установки конденсатного бака и насосов должны обеспечивать разность высот между минимальным уровнем конденсата в баке и осью насоса, достаточную для предупреждения кавитации во всасывающей части насоса.

Необходимая разность высот определяется по формуле

$$H \geqslant \frac{p_н + \Delta p_т + \Delta p_к - p}{\gamma_к} \text{ м}, \qquad (17.3)$$

где $p_н$ — давление насыщения, соответствующее температуре перекачиваемого конденсата t_s, в *кгс/м²*;

Таблица 17.6

Характеристика и примерные размеры дренажных насосных по данным ВГПИ Теплоэлектропроекта

Наименование и место размещения дренажной насосной	Насосы (2 шт.)			Электродвигатели (2 шт.)			Вес насоса и электродвигателя с плитой в *кг*	Размеры насосных в *м*		
	тип	производительность каждого насоса в $м^3/ч$	напор в *м вод. ст.*	тип	мощность каждого электродвигателя в *квт*	число оборотов в *мин*		длина	ширина	высота
Подземная насосная рядом с камерой или тоннелем (одноэтажная)	2К-6а	10—30	28—20	А-42-2	4,5	3000	80,7	3	2,5	3,5
Надземная насосная рядом с камерой или тоннелем (двухэтажная)	3К-9а	25—45	24,2—19,5	А-42-2	4,5	3000	97,7	5,9	2,5	5,1

$\Delta p_т$ — падение давления во всасывающем трубопроводе в *кгс/м²*;

$\Delta p_к$ — запас давления для предупреждения кавитации в *кгс/м²*;

p — давление над уровнем конденсата в баке в *кгс/м²*;

$\gamma_к$ — удельный вес конденсата в *кгс/м³*.

Величина $\Delta p_к$ определяется по запасу температуры для предупреждения кавитации по формуле

$$\Delta p_к = p_к - p_н \ кгс/м^2, \qquad (17.4)$$

где $p_к$ — давление насыщения, соответствующее температуре t_s', в *кгс/м²*.

Температура t_s' может быть определена по формуле

$$t_s' = t_s + \Delta t_к \ °C. \qquad (17.5)$$

Величину $\Delta t_к$ рекомендуется принимать равной 2—3° С.

Пример. По заданным $t_s = 104°$ С, $p_н = p = 2000$ *кгс/м²*; $\Delta p_т = 200$ *кгс/м²*, $\Delta t_к = 2°$ С и $\Delta p_к = 2800 - 2000 = 800$ *кгс/м²* определяем $H \geqslant \frac{2000 + 200 + 800 - 2000}{960} = 1{,}04$ *м* ≈ 1 *м*.

Насосные редукционно-охладительных установок (РОУ) предназначаются для подачи химически очищенной воды или конденсата к соплам увлажнительной установки.

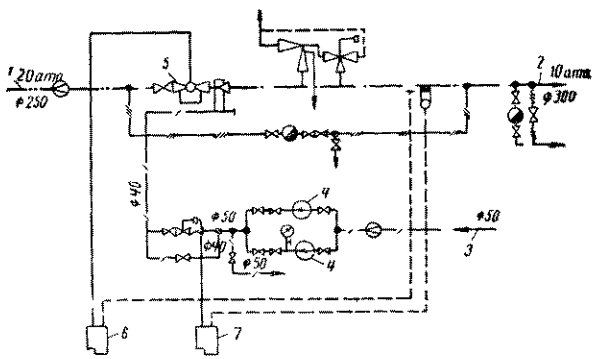


Рис. 17.6. Схема насосной для редукционно-охладительной установки в цехе

1 — паропровод дросселируемого пара; *2* — паропровод сдросселированного пара, *3* — умягченная вода или конденсат, *4* — насосы, *5* — дроссельный клапан, *6* — колонка регулирования давления; *7* — колонка регулирования температуры

На рис. 17.6 приведена схема насосной для РОУ давлением 20/10 *ата*. В насосной устанавливаются, как правило, два насоса, из которых один резервный. Каждый насос подбирается по максимальному часовому расходу охлаждающей воды. Напор насосов определяется из условия обеспечения давления в точке подвода на 10 *кгс/см²* выше давления пара

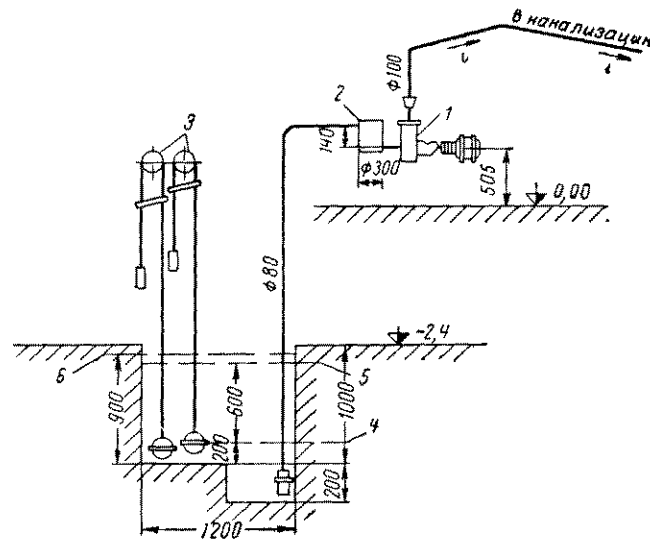


Рис. 17.7. Схема дренажной насосной для дренажа помещений

1 — насос; *2* — бачок для залива насоса; *3* — поплавковые реле; *4* и *5* — уровни соответственно выключения и включения дренажного насоса, *6* — уровень сигнализации о невключении дренажного насоса

Дренажные насосные предназначаются для откачки подземных вод из системы попутного дренажа подземной прокладки тепловых сетей, из зданий насосных и подогревательных.

Число насосов в этих насосных принимается не менее двух, из которых один резервный.

Производительность рабочего насоса принимается равной максимальному часовому поступлению воды, величина которого определяется согласно указаниям главы 15

При превышении притока сверх максимальной расчетной производительности количество откачиваемой дренажной воды может быть увеличено за счет пуска резервного насоса.

В помещении дренажной насосной устраивается приямок емкостью не менее 30% от максимального часового поступления грунтовых вод.

Практика проектирования дренажных насосных тепловых сетей ряда городов показала, что производительность этих насосных при хорошо фильтрующих грунтах составляет 200—250 *м³/ч*, а при плотных грунтах 20—60 *м³/ч*. Напор дренажных насосов, как правило, колеблется в пределах 20—25 *м вод. ст.*

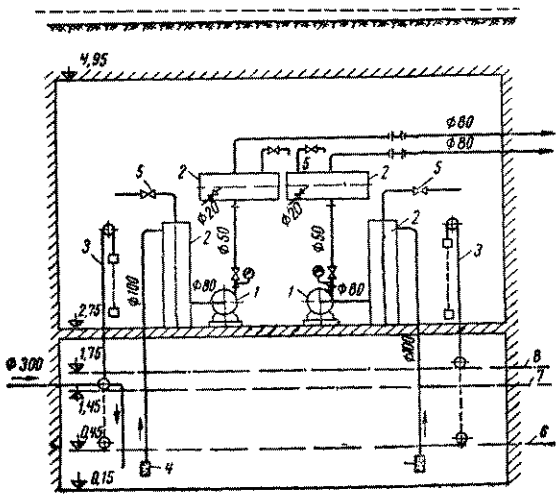


Рис. 17.8. Схема дренажной насосной для удаления воды из системы попутного дренажа

1 — насосы, *2* — бачки для залива; *3* — поплавковые реле; *4* — приемные клапаны с сеткой, *5* — вентили (при включении насосов автоматически закрываются), *6* — уровень выключения насосов, *7* — уровень включения I насоса; *8* — уровень включения II насоса

На рис. 17.7 показана схема дренажной насосной для дренажа помещений, а на рис. 17.8 — схема дренажной насосной на сети для удаления воды из системы попутного дренажа.

Дренажные насосные для откачки воды из зданий рассчитаны на поступление случайных вод через неплотность гидроизоляционной защиты подземной части зданий и неплотности арматуры и оборудования. Для этих насосных допускается установка одного насоса без резерва.

Производительность таких насосных обычно составляет 10—20 *м³/ч*, а напор — 20—30 *м вод. ст.*

Характеристика и примерные размеры дренажных насосных для тепловых сетей приведены в табл. 17.6.

17.2. ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Насосы и электродвигатели к ним.

Мощность устанавливаемых насосов может быть определена по формуле

$$N = \frac{VH\gamma}{367\,000\,\eta_{эл}\eta_{н}} \quad квт, \qquad (17.6)$$

где V — производительность насоса в *м³/ч*;

H — напор насоса в *м вод. ст*;

γ — удельный вес воды;

$\eta_{эл}$ и $\eta_{н}$ — к. п. д. электродвигателя и насоса.

Число оборотов насосов не может быть увеличено без согласования с заводом-изготовителем.

Допускается работа насосов с пониженным числом оборотов, при этом пересчет производят по уравнению

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N_2}}. \qquad (17.7)$$

Мощность электродвигателей, как правило, задается заводом — изготовителем насосов.

При отсутствии заводских данных мощность электродвигателей определяется по формуле

$$N_э = rN \quad квт, \qquad (17.8)$$

где N — мощность насоса, определяемая по формуле (17.6);

r — числовой коэффициент, принимаемый при мощности насосов до 50 *квт* равным 1,2—1,3, а выше 50 *квт* — равным 1,1—1,2.

Таблица 17.7

Техническая характеристика сетевых насосов для установки на горячей воде с температурой до 180° С

Марка насоса	Подача в *м³/ч*	Напор в *м вод. ст*	К. п. д. в %	Подпор сверх упругости паров в *м вод. ст.*	Число оборотов в *мин*	Температура в °С
10СД-6	490	67,5	76,5	4	1450	До 180
12СД-10×2 (12СД-6)	790	90,2	77	5,5	1450	„ 180
12СД-9	790	60	77	5,5	1450	„ 150
14СД-10×2 (14СД-6)	1260	123	77	7,5	1480	„ 180

Примечание. Данные по указанным маркам насосов приведены по заводским испытаниям или по проектам.

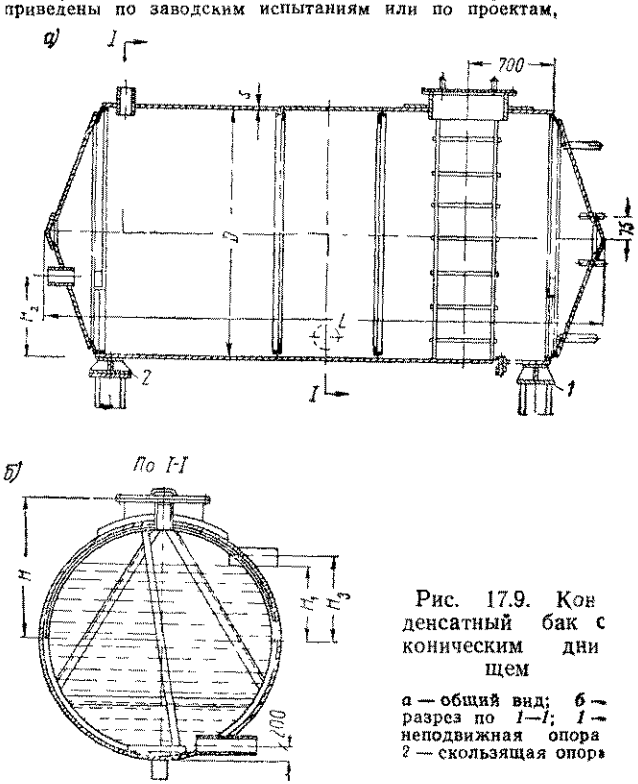


Рис. 17.9. Конденсатный бак с коническим днищем

а — общий вид; *б* — разрез по *I—I*; *1* — неподвижная опора *2* — скользящая опора

Таблица 17.8

Габаритные размеры насосов типа СД с электродвигателями на одной фундаментной плите

Марка насоса	Размеры в *мм*											
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Е*	*Ж*	*З*	*И*	*К*	*Л*	*М*	*Н*
12СД-9	2795	1480	755	1310	80	1000	565	80	950	2655	660	450
10СД-6	2780	1470	765	1310	80	1000	560	80	950	2650	660	450
12СД-10×2	3397	2182	743	1215	80	1600	580	80	880	3300	1260	480
14СД-10×2	3569	2507	1062	1877	80	1880	659 / 684	80	1420 / 1370	4199	1540	1020 / 970

Марка насоса	Размеры в *мм*								Условный диаметр патрубков в *мм*		Тип электродвигателя
	Х	X_1	*Ц*	$Ц_1$	*Ч*	*Щ*	*Ю*	*Я*	*D*	D_1	
12СД-9	160	180	660	400	645	—	—	900	300	300	А-103-4
10СД-6	160	180	660	400	645	—	—	900	250	150	А-102-4
12СД-10×2	180	200	680	500	1155	635	560	900	300	250	А-112-4
14СД-10×2	180	190	800	630 / 560	1440	—	—	900	350	300	ДАМСО 157-4 / ДАМСО 1410-4

Примечание. Общий вид насосов 10СД-6 сходен с общим видом насосов 12СД-9, а общий вид насосов 14СД-10×2—с общим видом насосов 12СД-10×2.

Таблица 17.9

Технические характеристики и размеры конденсатных и деаэраторных баков

Наименование баков	Емкость в $м^3$		Основные размеры в *мм*		Дополнительные габаритные размеры в *мм*					Вес в *кг*	Номер междуведомственной нормали
	рабочая	геометрическая	диаметр *D*	длина *L*	*Н*	*S*	H_1	H_2	H_3		
Конденсатные с коническими днищами	2	2,45	1400	2 050	820	4	420	500	495	607	2102-01
	4	4,6		3 450					525	834	2102-02
	6	7,23		3 000						1280	2102-03
	8	9,26	2000	3 700	1145	4	600	650	705	1419	2102-04
	10	11,5		4 400						1585	2102-05
	15	15,8	2600	3 950	1458	6	780	800	885	2310	2102-06
То же, с эллиптическими днищами	10	12	2000	4 190	1145	4	600	650	705	1477	2107-01
	15	17,7	2600	3 790	1458	6	780	800	885	2333	2107-02
То же, с цилиндрическими днищами	4	4,62	1400	3 208	820	4	420	500	525	735	2120-01
	8	9,11	2000	3 208	1145	4	600	650	705	1071	2120-02
	10	11,3		3 908						1211	2120-03
	25	28,8	2600	6 210	1450	8	800	1400	155	4226	746-01
											746-02
Деаэраторные с коническими днищами (p=1,3 *ата*)	35	40,1	2600	8 370	1450	8	800	1600	155	5340	746-03
										5338	746-06
	50	57,9	3200	8 165	1750	8	1000	1650	360	6736	746-07
										6727	746-10
	75	86,5	3200	11 715	1750	8	1000	3250	360	9185	746-11
										9176	746-14
То же, с выпуклыми днищами (p=1,3 *ата*)	25	28,7	2600	5 870	1450	8	800	1400	155	3868	775-01
											775-02
	35	40,4	2600	8 070	1450	8	800	1600	155	5172	775-03
											775-04
										5170	775-05
											775-06
										6131	775-07
											775-08
	50	57,2	3200	7 670	1750	8	1000	1650	360		
											775-09
										6122	775-10
	75	86,1	3200	11 270	1750	8	1000	3250	360	8612	775-11
											775-12
											775-13
										8602	775-14

Таблица 17.10

Технические характеристики и размеры расширительных баков

Геометрический объем в $м^3$	Рекомендуемые типы подстанций	Номер междуведомственной нормали	Размеры в *мм*									Вес в *кг*
			$D_н$	H	H_1	H_2	d	d_1	d_2	d_3	d_4	
0,125	I	2091-01	426	1000	600	400	108	57	57	89	15	93,6
0,25	I и II	2091-02	529	1200	700	500	133		89	133		145
0,5	III	2091-03	630	1700	1100	700	159		108	159	18	257
0,75	III и IV	2091-04	820	1500	900	650	219	89	133	219		453
1	IV, V и VI	2091-05		2000	1300	1000	273					593

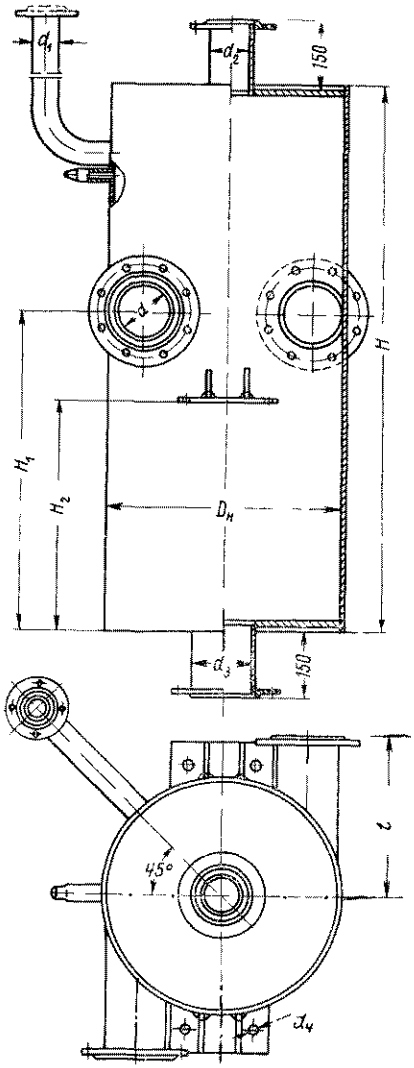


Рис 17.10 Общий вид расширительного бака

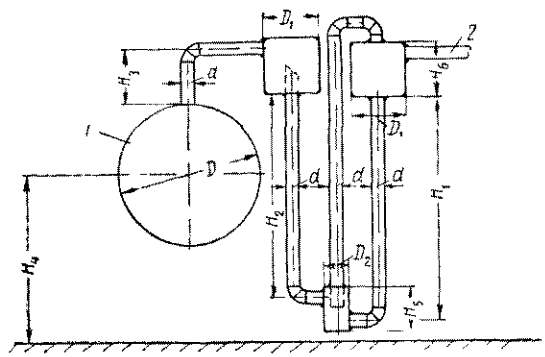


Рис. 17.11. Схема гидравлического предохранителя для закрытых конденсатных подстанций

1 — конденсатный бак; *2* — труба для выпуска пара и перелива конденсата

Таблица 17.11

Размеры предохранительных гидрозатворов на конденсатных баках для закрытых систем сбора конденсата

Тип насосных	Диаметр бака D в *мм*	Размеры в *мм*								
		d	D_1	D_2	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
I	1000	80	350	150	2000	2000	750	1500	330	400
II	1400	100	450	200	2200	1900	400	1700	390	500
III	1400	125	500	200	2200	1800	400	1700	420	550
IV	2000	150	600	250	2400	2200	400	2000	470	650
V	2600	200	700	300	2400	2600	400	2300	570	750
VI	2600	250	800	400	2400	2400	400	2300	670	850

Примечание. Выбор диаметра гидрозатвора d произведен из условия установки по одному гидрозатвору для насосных I, II и III типов и двух гидрозатворов для насосных IV, V и VI типов

Размеры насосов типа СД приведены в табл. 17.8.

Баки. Для конденсатных, расширительных и деаэраторных баков Ленинградским филиалом Оргэнергостроя разработаны междуведомственные нормали (МВН). Объем и основные размеры конденсатных и расширительных баков по МВН приведены в табл. 17.9 и 17.10, а общий вид баков — на рис. 17.9 и 17.10.

Действительный объем конденсатного бака по МВН выбирается из расчета заполнения его конденсатом не более 80% от его геометрической высоты или диаметра, что соответствует коэффициенту заполнения бака около 0,86.

Штуцера баков предусмотрены без фланцев с учетом соединения их с трубами и арматурой стыковой сваркой. Толщина стенок штуцеров рассчитана на плоские приварные фланцы. Штуцера на баке устанавливаются согласно проектам.

Конденсатные баки устанавливаются на опорные балки, расположенные поперек продольной оси бака.

Опоры рекомендуется размещать симметрично с расстоянием между ними около 0,5—0,55 от длины бака.

Объем расширительных баков V_6 рекомендуется определять из расчета 1 $м^3$ бака на 2000 $м^3/ч$ сепарируемого пара по формуле

$$V_6 = 0{,}5\,vxG\ м^3, \qquad (17.9)$$

где v — удельный объем пара в $м^3/кг$;

G — расход конденсата в $т/ч$;

x — весовое паросодержание конденсата в долях единицы.

Объем водяного пространства в расширительных баках рекомендуется принимать равным 20% от парового объема бака.

Рабочее давление для баков по МВН принимается для конденсатных и расширительных равным 0,5 *ати*, а для деаэраторных — 0,3 *ати*.

Для закрытых систем сбора конденсата на конденсатных баках или вблизи них на стене устанавливаются гидравлические предохранители-гидрозатворы.

Схема гидрозатвора показана на рис. 17.11, а габаритные размеры для разных типов конденсатных насосных, указанных в табл. 17.4 и 17.5, приведены в табл. 17.11.

Диаметры труб d гидрозатвора определяются из условий свободного слива конденсата по формуле

$$d = 0{,}025\sqrt{G}\ м, \qquad (11.10)$$

где G — количество возвращаемого конденсата в $т/ч$.

Для расчета размеров бачков при условии $D_1 = H_1$

$$D_1 = \sqrt[3]{nH_1 d^2}\ м, \qquad (11.11)$$

где n — коэффициент, учитывающий увеличение емкости бачков; принимается равным 3—4.

ГЛАВА 18

ПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

18.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В системах теплоснабжения сооружаются центральные подогревательные установки у источников тепла (ТЭЦ, ГРЭС, котельных и др.), промежуточные — в тепловой сети и местные — у тепловых потребителей.

Подогревательные установки предназначаются для подогрева сетевой, подпиточной, водопроводной воды в местных и районных системах горячего водоснабжения, для охлаждения конденсата.

В зависимости от первичного (греющего) теплоносителя установки подразделяются на пароводяные, где греющей средой является пар, и водоводяные, где греющей средой является вода.

На рис. 18.1 и 18.2 даны схемы пароводяной и водоводяной подогревательных установок.

Технические характеристики скоростных пароводяных и водоводяных вертикальных и горизонтальных поверхностных подогревателей приведены в табл. 18.1—18.8, а общие виды их на рис. 18.3—18.5.

Таблица 18.1

Пароводяные вертикальные подогреватели сетевой воды

Показатели	Тип подогревателя									
	БП-300-2М	БО-200М	БП-200	БП-200У	БО-350-2	БО-130М	БО-90М	БП-90М	БП-65М	БП-43М
Поверхность нагрева в $м^2$	300	200	200	200	350	130	90	90	65	43
Расчетный расход воды в $м^3/ч$	1100	335	1000	1000	1000	250	160	500	320	100
Рабочее давление в *ати*:										
парового пространства	14	15	7	13	0,7—2,5	1,5/5	1,5/8	6/8	5/8	7
водяного »	14	14	14	14	15	14	14	14	14	12
Пробное давление в *ати*:										
парового пространства	14,5	2,5	10	16,5	2,5	8	11	11	11	10
водяного »	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	15
Температура среды в °С:										
парового пространства	350	150	250	350	133	175	175	250	250	164
водяного »	170	120	135	150	116	110	110	130	130	120
Сечение для прохода воды в $м^2$	0,137	0,0615	0,123	0,123	0,158	0,042	0,029	0,058	0,043	0,0145
Число ходов воды	2	4	2	2	2	4	4	2	2	4
» трубок	1143	1018	1018	1018	1320	708	488	488	360	236
Диаметр корпуса в *мм*	1540	1228	1228	1212	1520	1020	920	920	820	720
Общая высота подогревателя в *мм*	6460	5390	5575	5586	6655	4800	4570	4646	4624	4044
Сопротивление водяной части в *м вод. ст.*	5	4,4	4,5	4,5	4,5	3,8	2,8	3,4	2,5	6,5
Вес в *т*:										
без воды	10	5,3	5,6	6,6	8,1	3,2	2,8	2,9	2,1	1,6
с водой	11,5	7,39	7,53	8,2	—	—	—	—	3,05	2,1
	19,4	8,9	9,1	11,5	17,8	6,6	4,1	4,2	3,6	3 9
Длина пути конденсата вдоль поверхности теплообмена до промежуточной горизонтальной перегородки в *м*	1,59	1,72	1,72	1	—	—	—	—	—	1,47

Примечания: 1. Материал трубок—латунь, диаметр трубок 17,5/19 *мм*.

2. В числителе вес подогревателя дан с учетом воды в трубном пучке, в знаменателе с учетом полного заполнения водой подогревателя.

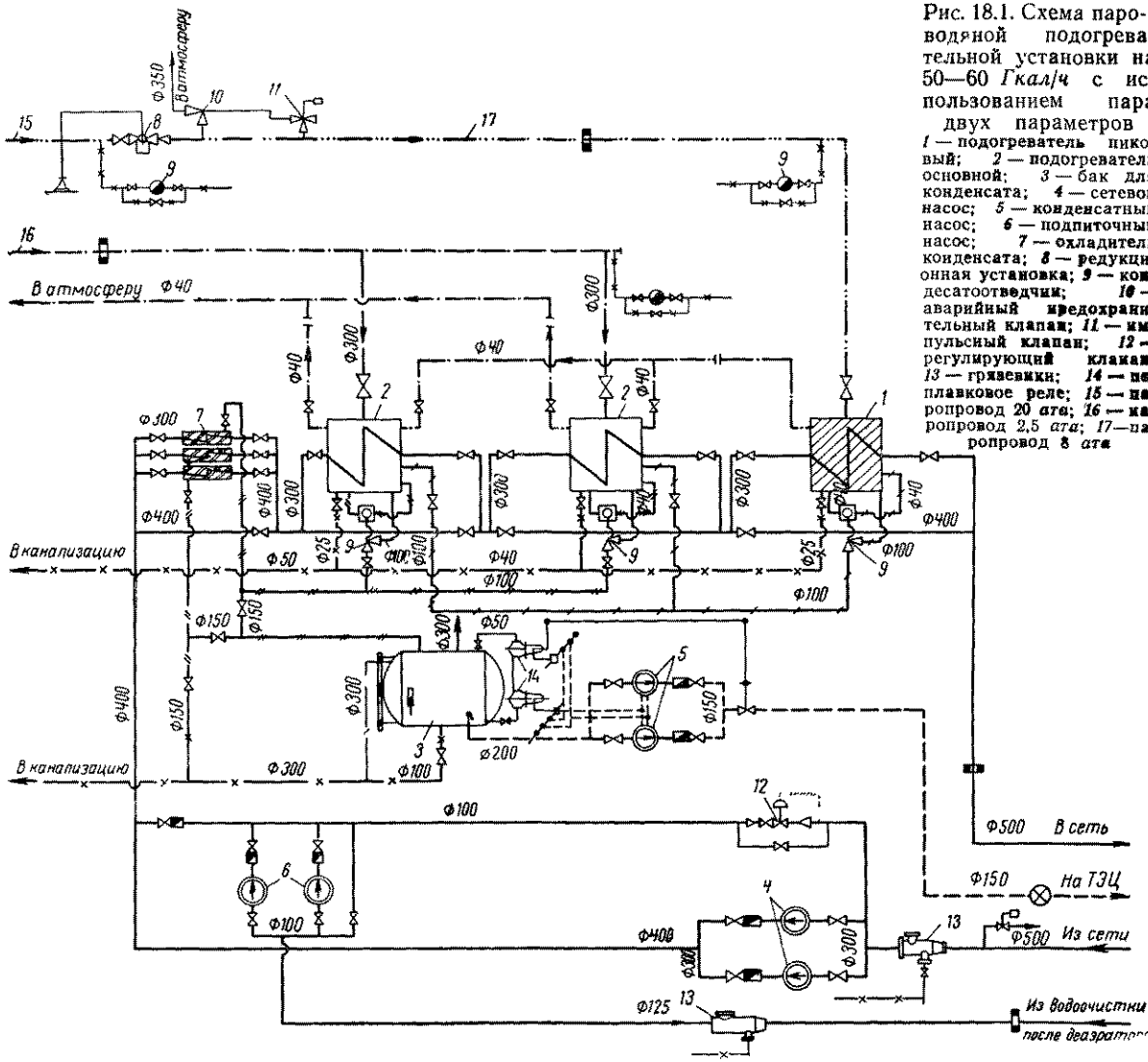


Рис. 18.1. Схема пароводяной подогревательной установки на 50—60 *Гкал/ч* с использованием пара двух параметров

1 — подогреватель пиковый; *2* — подогреватель основной; *3* — бак для конденсата; *4* — сетевой насос; *5* — конденсатный насос; *6* — подпиточный насос; *7* — охладитель конденсата; *8* — редукционная установка; *9* — конденсатоотводчики; *10* — аварийный предохранительный клапан; *11* — импульсный клапан; *12* — регулирующий клапан; *13* — грязевики; *14* — поплавковое реле; *15* — паропровод 20 *ата*; *16* — паропровод 2,5 *ата*; *17* — паропровод 8 *ата*

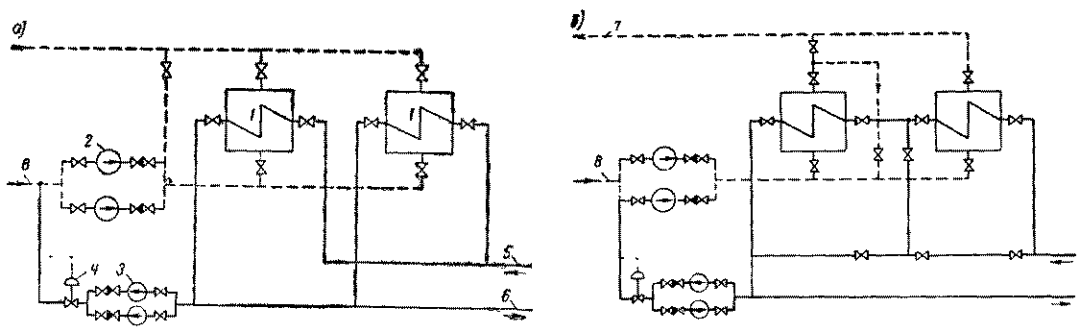


Рис. 18.2. Схема водоводяной секционирующей подогревательной установки

а — с параллельно соединенными подогревателями; *б* — с последовательно соединенными подогревателями; *1* — подогреватели, *2* — сетевые насосы; *3* — подпиточные насосы; *4* — регулятор давления; *5* — подающий трубопровод; *6* — обратный трубопровод греющей воды; *7* — подающий трубопровод; *8* — обратный трубопровод нагреваемой воды

Таблица 18.2

Охладители конденсата ОГ (горизонтальные), ОВ (вертикальные)

Тип охладителя	Поверхность нагрева в $м^2$	Производительность расчетная в $т/ч$	Диаметр корпуса в $мм$	Длина в $мм$	Количество корпусов и трубок в шт.	Рабочее давление в $кгс/см^2$		Рабочая температура в °С		Вес в $т$	Примечание
						в корпусе	в трубном пучке	в корпусе	в трубном пучке		
ОГ-6	6	98	273	2328	1/56	4	4	100	130	0,43	Один ход
ОГ-12-1А	12	98	273	2000	2/56	4	13	130	100	0,74	Всего 4 хода
ОГ-24	24	182	273	2000	4/56	4	13	150	140	1,45	8 ходов
ОГ-32	32	335	426	3904	1/36	10	2,5	24	104	1,3	8 »
ОГ-35	35	45	325	2170	4/164	13	13	90	130	2,04	8 »
ОГ-130	130	110	426	4310	4/162	2,5	10	80	70	5,6	8 »
ОВ-140	140	—	846	—	—	3	23 / 25	45 / 40,9	37 / 35	3,85	2 хода
ОВ-40	40	—	672	4487	1/92	1,5 / 1,18	23 / 25	125 / 119,8	100 / 105	2,39	2 »
ОГ-24-1н	24	9,6 / 17	273	1994	4/56	4	6	35 / 52	70 / 40	1,33	Всего 8 ходов
ОГ-130-1М	130	90 / 144	426	4270	4/162	4	6	35 / 60	80 / 40	4,24	8 »

Примечания: Трубки стальные 22×2 *мм*.

2. В графе производительности в числителе дано количество воды первичного контура (в трубном пучке), в знаменателе — количество воды вторичного контура (в межтрубном пространстве); в графе температур в числителе дана температура входящей воды, в знаменателе — температура выходящей воды.

Таблица 18.3

Пароводяные подогреватели тепловых сетей

Показатели	Подогреватели короткие по МВН 1436—58						Подогреватели длинные по МВН 1437—58					
	двухходовые		четырехходовые				двухходовые		четырехходовые			
	1436-01	1436-02	1436-03	1436-04	1436-05	1436-06	1437-01	1437-02	1437-03	1437-04	1437-05	1437-06
Поверхность нагрева в $м^2$	4,54	7,18	8,09	9,39	19,9	30,6	9,15	14,5	16,35	19	40,5	62,3
Наружный диаметр корпуса $D_н$ в $мм$	273	325	377	426	529	630	273	325	378	426	529	630
Условный проход штуцера для входа и выхода воды $d_{н2}$ в $мм$	76	89	76	76	108	133	76	89	76	76	108	133
Условный проход штуцера для пара $d_н$ в $мм$	89	108	108	133	159	219	89	108	108	133	159	219
Условный проход штуцера для выхода конденсата $d_{н1}$ в $мм$	76	76	76	89	108	159	76	76	76	89	108	159
Длина трубок в $мм$	2040	2040	2040	2040	2040	2040	4080	4080	4080	4080	4080	4080
» корпуса L в $мм$	2515	2562	2566	2568	2625	2705	4555	4602	4606	4608	4666	4745
Площадь сечения в $м^2$:												
межтрубного пространства	0,042	0,06	0,083	0,113	0,169	0,223	0,042	0,06	0,083	0,113	0,169	0,223
всех трубок	0,01	0,015	0,017	0,02	0,041	0,066	0,01	0,015	0,017	0,02	0,041	0,066
трубок одного хода	0,005	0,0075	0,0042	0,005	0,0102	0,0165	0,005	0,0075	0,0042	0,005	0,0102	0,0165
Общее количество трубок в шт.	48	76	86	100	214	330	48	76	86	100	214	330
Максимальное количество трубок в вертикальном ряду в шт.	4	6	6	6	10	10	4	6	6	6	10	10
Вес без воды в $кг$	299	380	523	571	920	1344	447	573	781	803	1285	1839

Таблица 18.4

Пределы применения пароводяных подогревателей по МВН 1436—58 и МВН 1437—58

Наименование	Условное давление в $кгс/см^2$	Рабочее давление при температуре среды в °С					
		до 200	250	300	350	400	425
Паровое пространство	10	10	9,2	8,2	7,3	6,4	5,8
Водяное пространство	16	—	—	—	—	—	—

Примечание. Трубки латунные диаметром 16×14 *мм*.

Таблица 18.5

Водоводяные подогреватели тепловых сетей для отопления

Показатели	Тип (марка) подогревателя по МВН 2050—62 (взамен 2050—57)							
	2050-29/z	2050-30/z	2050-31/z	2050-32/z	2050-33/7	2050-34/z	2050-35/z	2050-36/z
Поверхность нагрева в $м^2$	3,38	6,84	6,33	12,75	9,93	20,13	13,73	27,86
Наружный диаметр корпуса $D_н$ в *мм*	168	168	219	219	273	273	325	325
Входной и выходной штуцеры в трубное пространство $d_{н1}$ в *мм*	114	114	168	168	219	219	219	219
Входной и выходной штуцеры в межтрубное пространство $d_н$ в *мм*	133	133	168	168	219	219	273	273
Длина секции трубок L в *мм*	2040	4080	2040	4080	2040	4080	2040	4080
Длина корпуса подогревателя с одной секцией L_1 в *мм*	2322	4362	2402	4442	2422	4462	2492	4532
Длина корпуса подогревателя с двумя секциями L_2 в *мм*	2502	4542	2640	4680	2729	4769	2840	4880
Длина корпуса подогревателя с тремя секциями L_3 в *мм*	2682	4722	2877	4917	3035	5075	3187	5227
Площадь сечения трубок в $м^2$	0,00507	0,00507	0,00935	0,00935	0,0147	0,0147	0,0204	0,0204
Площадь межтрубного пространства в $м^2$	0,0122	0,0122	0,0198	0,0198	0,0308	0,0308	0,0446	0,0446
Количество трубок в одной секции в шт.	37	37	69	69	109	109	151	151
Вес без воды одной секции в *кг*	147	225	228	363	333	613	448	733
То же, двух секций в *кг*	271	425	427	702	635	974	865	1432

Примечание. Трубки стальные диаметром 16×1,4 *мм*.

Таблица 18.6

Водоводяные подогреватели тепловых сетей для горячего водоснабжения без линз

Показатели	Тип подогревателя															
	2052-21/z	2052-22/z	2052-23/z	2052-24/z	2052-25/z	2052-26/z	2052-27/z	2052-28/z	2052-29/z	2052-30/z	2052-31/z	2052-32/z	2052-33/z	2052-34/z	2052-35/z	2052-36/z
Поверхность нагрева в $м^2$	0,38	0,77	0,67	1,35	1,15	2,32	1,8	3,66	3,53	7,14	6,58	13,3	10,4	21	14,3	29,1
Наружный диаметр корпуса $D_н$ в *мм*	57	57	70	70	89	89	114	114	168	168	219	219	273	273	325	325
Входной и выходной штуцеры в трубное пространство $d_{н1}$ в *мм*	45	45	57	57	70	70	89	89	114	114	168	168	219	219	219	219
Входной и выходной штуцеры в межтрубное пространство $d_н$ в *мм*	45	45	57	57	70	70	89	89	133	133	168	163	219	219	273	273
Длина секции L в *мм*	2040	4080	2040	4080	2040	4080	2040	4080	2040	4080	2040	4080	2040	4080	2040	4080
Длина корпуса подогревателя с одной секцией L_1 в *мм*	2322	4362	2322	4362	2322	4362	2322	4362	2322	4362	2402	4442	2422	4462	2492	4532
Длина корпуса подогревателя с двумя секциями L_2 в *мм*	2346	4386	2373	4413	2392	4432	2425	4465	2502	4542	2640	4680	2728	4768	2840	4880
Длина корпуса подогревателя с тремя секциями L_3 в *мм*	2369	4409	2424	4464	2463	4503	2528	4568	2682	4722	2877	4917	3035	5075	3187	5227
Площадь сечения трубок в $м^2$	0,00066	0,00066	0,00116	0,00116	0,00198	0,00198	0,00314	0,00314	0,00612	0,00612	0,0114	0,0114	0,018	0,018	0,025	0,025
Площадь межтрубного пространства в $м^2$	0,00116	0,00116	0,00181	0,00181	0,00287	0,00287	0,005	0,005	0,0122	0,0122	0,0198	0,0198	0,0308	0,0308	0,0446	0,0446
Количество трубок в одной секции в шт.	4	4	7	7	12	12	19	19	37	37	69	69	109	109	151	151
Вес без воды одной секции в *кг*	31	43	39	54	53	76	74	108	129	193	198	306	289	453	388	612
То же, двух секций в *кг*	51	76	65	95	89	136	128	196	230	364	368	585	543	870	741	1189

Примечания: 1. Трубки 16×0,75 из латуни марки Л-62; по обоснованному требованию заказчика подогреватели должны также поставляться с трубками из латуни марки Л-68.
2. Подогреватели временно изготовляются на монтажных площадках.
3. Подогреваемую воду рекомендуется пропускать по теплообменным трубкам.

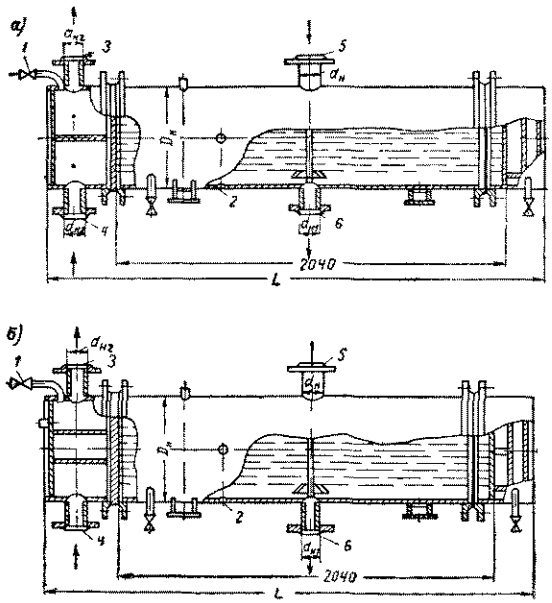


Рис. 18.3. Подогреватели пароводяные короткие (по МВН 1436—58)

а — двухходовые; *б* — четырехходовые; *1* — воздушный вентиль; *2* — отверстия диаметром 28 *мм* для присоединения к указателю уровня; *3* — выход воды; *4* — вход воды; *5* — вход пара; *6* — выход конденсата

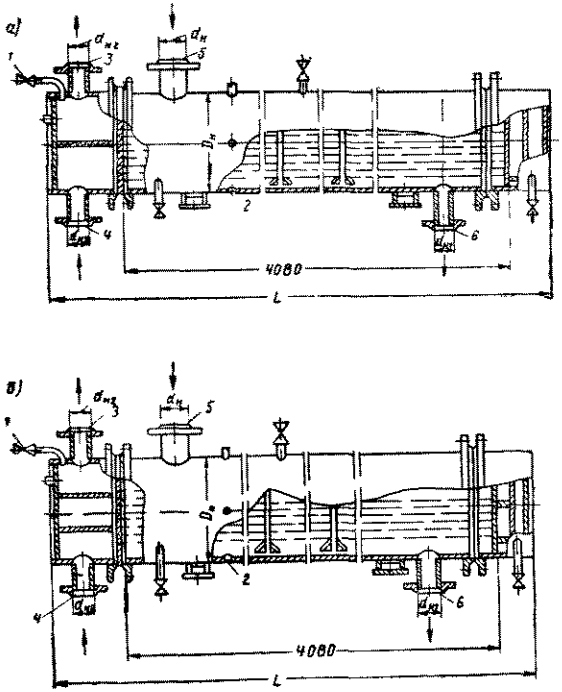


Рис. 18.4. Подогреватели пароводяные длинные (по МВН 1437—58)

а — двухходовые, *б* — четырехходовые; *1* — воздушный вентиль, *2* — отверстия диаметром 28 *мм* для присоединения к указателю уровня; *3* — выход воды; *4* — вход воды; *5* — вход пара; *6* — выход конденсата

Таблица 18.7

Пределы применения водоводяных подогревателей по МВН 2050—62 и 2052—62

Параметры среды	Подогреватели по МВН	
	2050—62	2052—62
Давление в межтрубном пространстве в *кгс/см²*	7	10
Давление в теплообменных трубках в *кгс/см²*	10	10

Примечание. Для подогревателя, изготовляемого по МВН 2050—62, рекомендуется химически очищенная и деаэрированная вода.

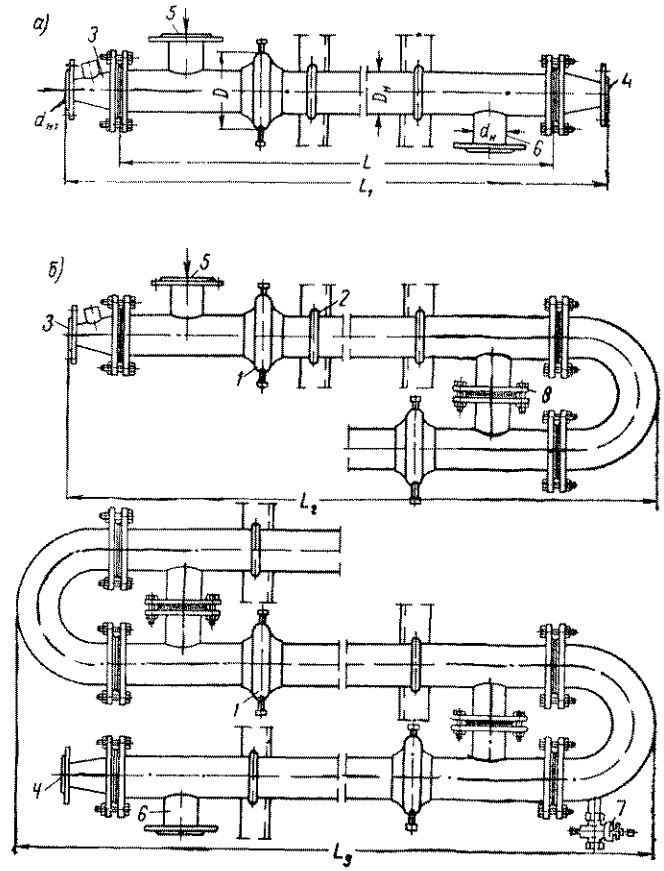


Рис. 18.5. Подогреватели водоводяные (по МВН 2050—62 с линзами, по МВН 2052—62 без линз)

а — односекционные; *б* — многосекционные; *1* — линзовый компенсатор; *2* — опоры неподвижные и подвижные; *3* и *4* — вход и выход воды, *5* и *6* — вход и выход воды; *7* — кран спускной; *8* — фланец (возможна замена сваркой)

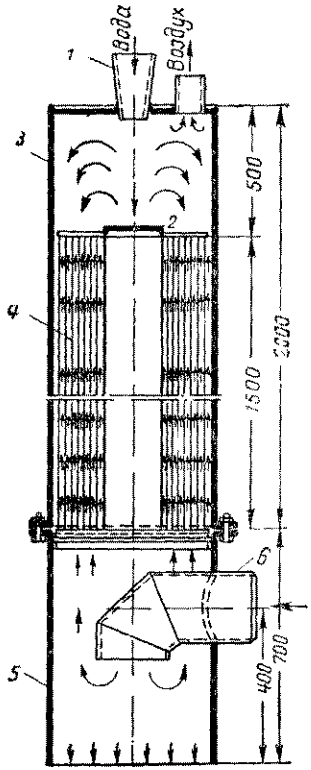


Рис. 18.6. Пленочный подогреватель

1 — сопло; *2* — розетка; *3* — верхняя часть корпуса подогревателя; *4* — концентрические цилиндры; *5* — нижняя часть корпуса; *6* — паровой патрубок

Общий вид пленочного подогревателя дан на рис. 18.6. Основные конструктивные характеристики их приведены в табл. 18.9.

На рис. 18.7 и 18.8 в табл. 18.10 приведены общие виды и основные характеристики конденсатоотводчиков большой производительности к сетевым подогревателям с поплавковой и без поплавковой камер. Эти конденсатоотводчики работают как регуляторы уровня.

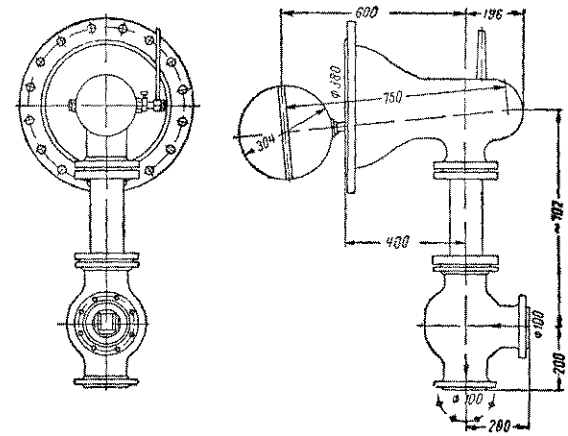


Рис. 18.8. Конденсатоотводчик ЛМЗ типа КГ2,5-100-I

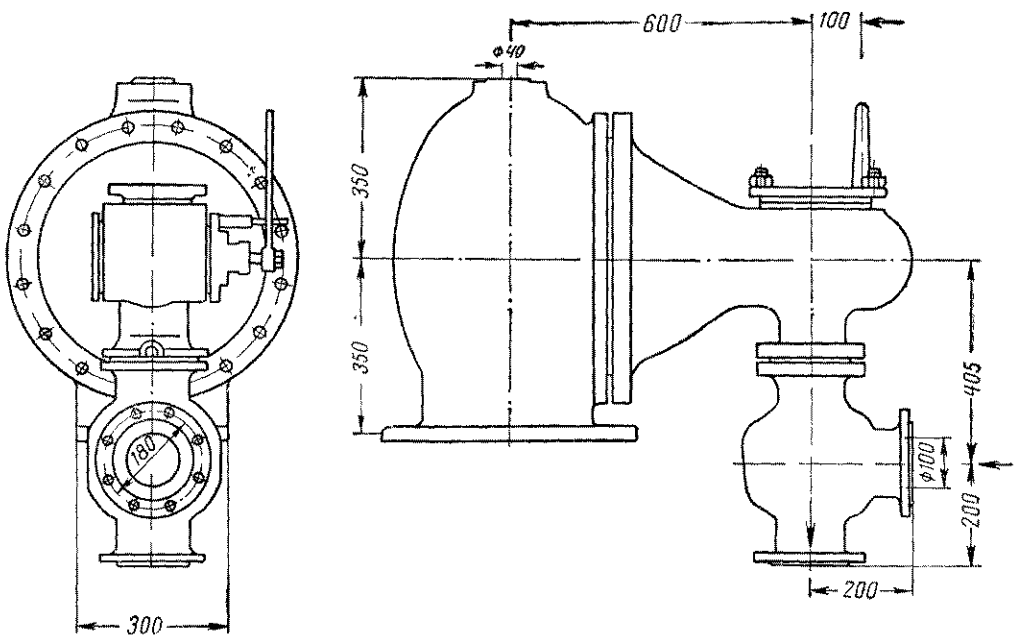


Рис. 18.7. Конденсатоотводчик ЛМЗ типов КИ10-150-II, К10-100-II, К16-100-II

Таблица 18.8

Пароводяные и водоводяные скоростные подогреватели конструкции Ленинградского филиала Оргэнергостроя и др. (в дополнение к табл. 18. 3, 5, 6)

Подогреватели	Тип и номер	Поверхность нагрева в $м^2$	Размеры в *мм*		Параметры $p_{пр}$ или $P_{раб}$ в $кгс/см^2$	Материал трубок	
			длина	диаметр		размеры в *мм*	количество в шт.
Пароводяные четырехходовые—длинные (ЦИТЛ)	МВН-400;	19	4612	426	Давление пара $p_{пр}$=	Стальные 16/14	100
	МВН-500;	40,5	4670	529	=11; давление воды		214
	МВН-600	62,3	4748	630	$p_{пр}$ = 20		330
Пароводяные четырехходовые — короткие (Оргэнергострой)	МВН-400	9,39	2568	426	То же	Латунные 16/14	100
	МВН-500	19,9	2626	529			214
	МВН-600	30,6	2705	630			330
Пароводяные санитарно-технических устройств двухходовые (Оргэнергострой)	МВН—2494					Латунные	
	—01	0,625	1772	159		16/14,5	10
	—02	0,95	2462	159			
	—03	1,62	1812	219		"	26
	—04	2,47	2502	219			
То же, четырехходовые	—05	1,37	1772	219	$p_у \leqslant 6$	"	22
	—06	2,09	2462	219			
	—07	2,24	1790	273		"	36
	—08	3,41	2480	273			
	—09	4,93	2530	325		"	52
Пароводяные двухходовые (Сантехпроект)	7	4,47	2043	265	Пара и воды $p_{раб}$=5	Латунные 16/14	56
	8	5,66	2449	265			
	9	6,66	2849	265			
То же, четырехходовые (НИИ Сантехники)	1	1,47	1265	219	Пара $p_{раб}$ = 6; воды	Медные 17/13	32
	2	1,93	1565	219	$p_{раб}$=5 (t = 150 °С)		
	3	2,56	1965	219			
	4	3,18	2365	219			
	5	3,8	2765	219			
	6	3,5	1664	265		Латунные 16/14	172
То же	10	7,87	1509	414	Пара и воды $p_{раб}$=5	Латунные 16/14	172
	11	10,4	1809	414			
	12	13,75	2209	414			
	13	17,1	2609	414			
	14	20,4	3009	414			
Водоводяные секционные (Мосэнергопроект)	3	1,32	4432	89	$p_{раб}$ = 9 (t=150 °С)	Латунные 16/14	7
	4	2,26	4456	108		"	12
	6	5,84	4525	159		"	31
	8	10,35	4600	216		"	55
	10	16,6	4717	267		"	88
	12	26,4	4770	325		"	140
Водоводяные секционные (Мосэнергопроект)	ВВП-50	0,75	4330	57	$p_{раб}$=9 (t=150 °С)	Латунные 16/14	4
	—60	1,32	4410	70		"	7
	—80	2,26	4410	89		"	12
	—100	3,58	4580	114		"	19
	—150	6,95	4670	168		"	37

Таблица 18.9

Основные конструктивные характеристики пленочных подогревателей (по проектам, выполненным ОРГРЭС для различных объектов)

Показатели	Производительность в *т/ч*					
	12	30	60	80	100	120
Поверхность нагрева в $м^2$	11,6	24,8	28	50	47	64
Температура воды, поступающей в подогреватель в °С	5	12	70	5	20	5
Температура воды после подогревателя в °С	103,9	103,6	103,5	103,9	103	103,9
Диаметр корпуса в *мм*	476 / 458	529 / 513	631 / 613	631 / 613	812 / 800	720 / 700
Высота корпуса в *мм*	1314	1615	1820	1610	2000	1750
Полная строительная высота в *мм*	1554	2130	2120	2490	2855	2235
Высота листов или концентрических труб в *мм*	труб 850	листов 700	труб 700	листов 1000	труб 1000	листов 1000
Диаметр сопла в *мм*	18,4 / 28,4	41 / 51	41 / 51	67 / 77	51 / 57	80 / 90

Примечание. Давление греющего пара, преобладающее в подогревателе $p=1{,}2$ *ата* с температурой насыщения $t_п=104{,}2$°С

Таблица 18.10

Конденсатоотводчики для сетевых подогревателей типа ЛМЗ

Типоразмер	Условный проход в *мм*	Условное давление в *ата*	Ориентировочная производительность в *т/ч*	Присоединительные размеры штуцеров в *мм*		Вес в *т*
				входной штуцер	выходной штуцер	
КГ 2,5—100—I	100	2,5	30—40	100	100	185
К 10—100—II	100	10	60—80	100	100	368
КИ 10—150—II	150	10	160	100	150	159
К 16—100—II	100	16	150	100	100	419

Примечание. Конденсатоотводчик КИ 10—150—II имеет контактное устройство сигнализации аварийного подъема поплавка.

18.2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Основная формула теплового расчета

$$F=\frac{Q}{k\Delta t}, \qquad (18.1)$$

где F — поверхность нагрева подогревателя в $м^2$;
Q — тепловая нагрузка подогревателя в *Гкал/ч*;
Δt — средняя логарифмическая разность температур между греющей и нагреваемой средой в °С;
k — коэффициент теплопередачи в *ккал* $м^2$ *ч* °С.

Задачей теплового расчета является проверка соответствия предварительно выбранной конструкции подогревателя заданным условиям.

Расчетные данные для пароводяных подогревателей

При одноступенчатом подогреве воды конденсат греющего пара охлаждается до 90—95° С за счет первичного подогрева перед поступлением воды в подогреватели. Количество пара в этом случае снижается

$$D_{о.п}=\frac{Q_о}{\left(i''_{о.п}-i_{конд}\right)\eta_{о.п}}=\frac{G\left(\tau_\alpha-\tau'_{2\,ох}\right)}{\left(i''_{о.п}-i_{конд}\right)\eta_{о.п}}\ кг/ч, \qquad (18.2)$$

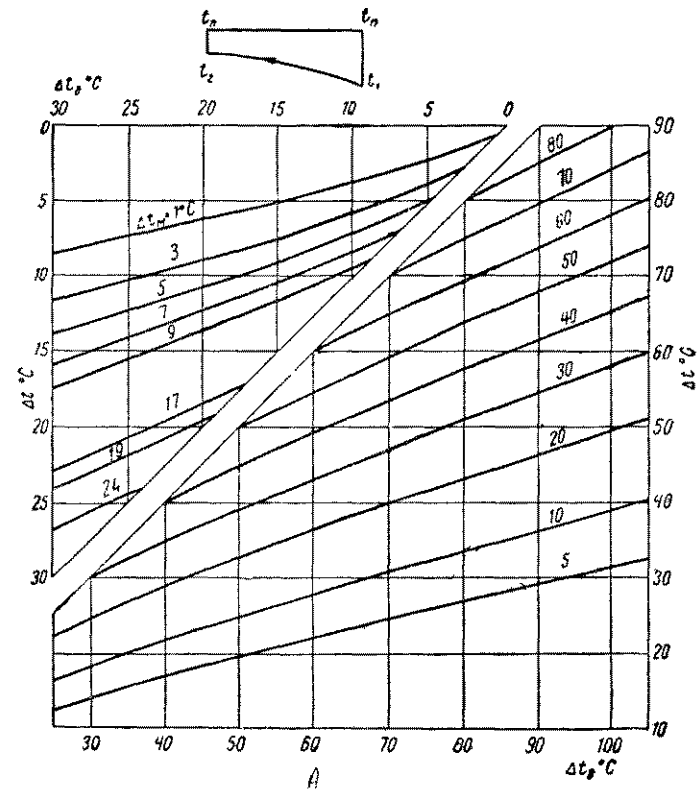
где $Q_о$ — количество тепла, передаваемого с паром в первую ступень подогревателей (из отборов турбин), в *ккал/ч*;
G — расход воды в сети при расчетном режиме в *кг/ч*;
$\tau'_{2ох}$ — температура обратной сетевой воды перед охладителем при расчетной температуре $t_н$ практически равная τ_2, в °С;
$i''_{о.п}$ — теплосодержание греющего пара в *ккал/кг*;
$i'_{о.п}$ — теплосодержание конденсата после подогревателя в *ккал/кг*;
$i'_{конд}$ — теплосодержание конденсата греющего пара перед охладителями конденсата в *ккал/кг*;
$\eta_{о.п.}=0{,}99$ — коэффициент, учитывающий потерю тепла поверхностью основных подогревателей;
τ_α — максимально-возможная температура воды, нагреваемой в основных подогревателях в °С.

Количество тепла, передаваемое воде в подогревателе,

$$Q_{о.п}=\frac{Q_о\left(i''_{о.п}-i'_{о.п}\right)}{i''_{о.п}-i_{конд}}\ ккал/ч. \qquad (18.3)$$

Количество тепла, передаваемое в охладителе,

$$Q_{ох}=\frac{Q_о\left(i'_{о.п}-i_{конд}\right)}{i''_{о.п}-i_{конд}}\ ккал/ч. \qquad (18.4)$$



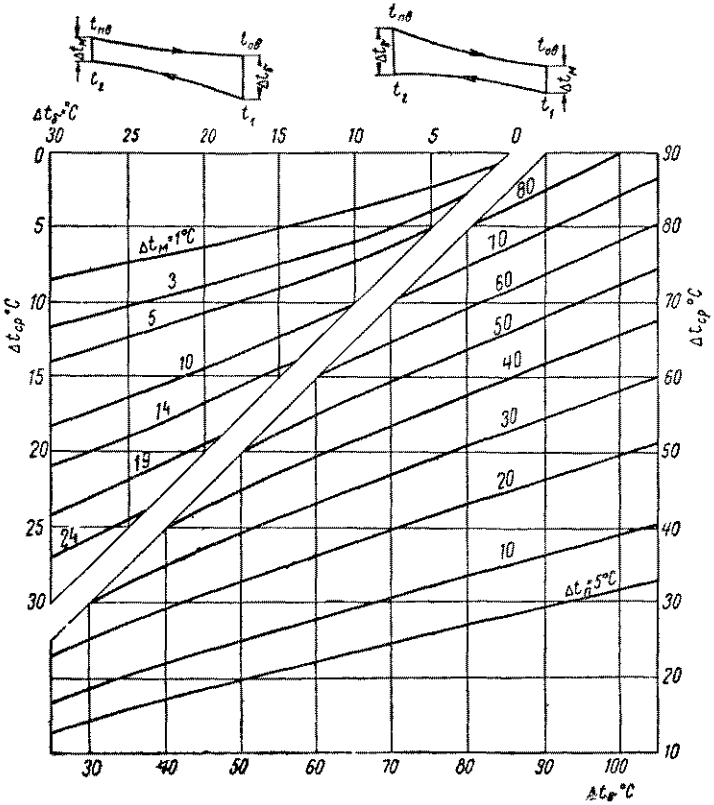


Рис. 18.9. График для определения среднелогарифмической разности температур при теплоносителе пар — вода

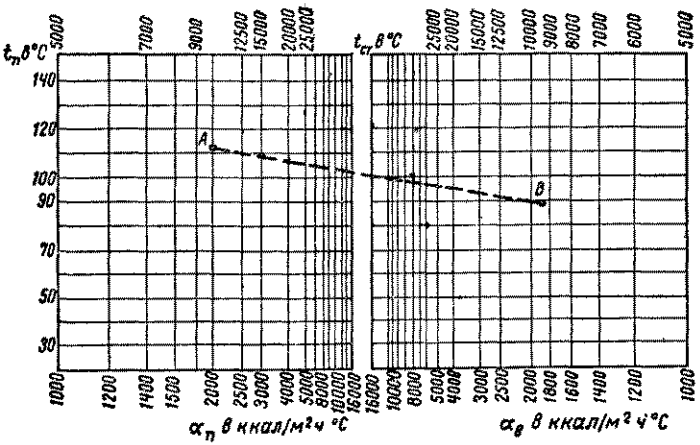


Рис. 18.10. График для определения среднелогарифмической разности температур при теплоносителе вода — вода

Рис. 18.11. Номограмма для определения температуры стенки нагревательных трубок

Примечание. Одновременно следует пользоваться верхними или нижними шкалами для определения α.

Пример. Дано $t_п$=110,8 С, $\alpha_п$=10 000 (точка A), $t_{ср}$=88,7° С, $\alpha_в$=9600 (точка B). Соединяя точки A и B, получим $t_{ст}$=100° С

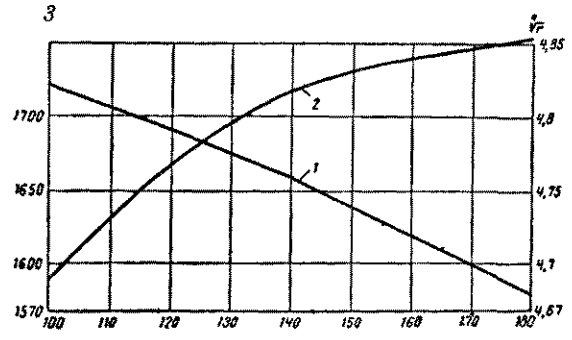


Рис. 18.12. График для определения коэффициента теплоотдачи от конденсирующегося пара к горизонтальной стенке

$1 - \sqrt[4]{r}$; $2 - b = 0.724 \sqrt[4]{\frac{\gamma^3 \lambda^3 \cdot 3600}{\mu}}$

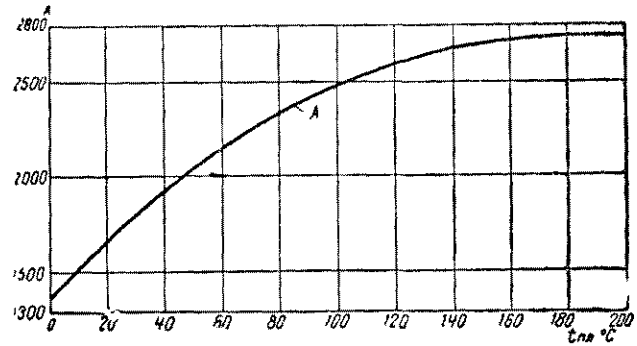


Рис. 18.13. График для определения коэффициента теплоотдачи от конденсирующегося пара к вертикальной стенке

Примечание. Значение коэффициента

$A = 1{,}13 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \gamma^2 \cdot 3600}{\mu}}$

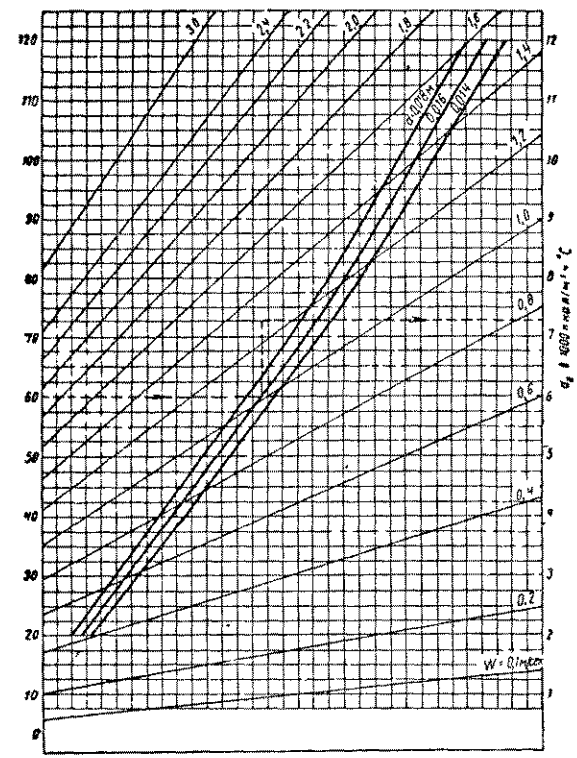


Рис. 18.14. График для определения коэффициента теплоотдачи от воды к стенке при продольном омывании при охлаждении, составленный по формуле ВТИ

$t_{ср}$ — средняя температура охлаждаемой воды; W — действительная скорость воды

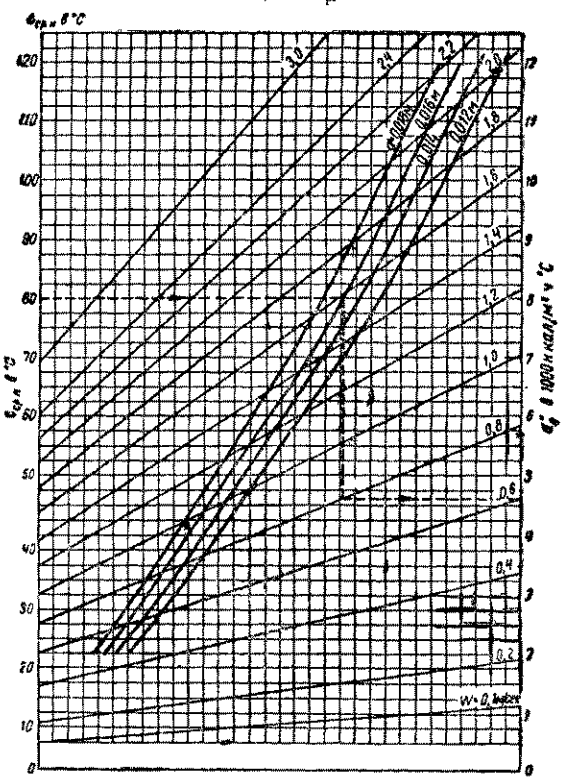


Рис. 18.15. График для определения коэффициента теплоотдачи от стенки к воде при продольном омывании при нагревании, составленный по формуле ВТИ

$t_{ср.н}$ — средняя температура нагреваемой воды

Температура воды при входе в охладитель τ_{2ox} отличается от τ_2 ввиду добавки подпиточной воды для возмещения утечек и для обеспечения горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе. При добавке, равной x % с температурой $t_{доб}$,

$$\tau'_{2\,ox} = \frac{(100-x)\,\tau_2 + x t_{доб}}{100} \,^\circ C. \qquad (18.5)$$

Температура воды при входе в основной подогреватель (после охладителя)

$$\tau''_{2\,ox} = \tau'_{2\,ox} + \frac{Q_{ox}}{G} \,^\circ C. \qquad (18.6)$$

При наличии в схеме пиковых подогревателей конденсат греющего пара направляют, как правило, в паровое пространство основных подогревателей. Расход пара на основные подогреватели при этом составит

$$D_{o.п} = \frac{Q_o - D_{п.т}\left(i'_{п.п} - i_{конд}\right)}{\left(i''_{о.п} - i_{конд}\right)\eta_{п.п}} \; кг/ч, \qquad (18.7)$$

где $D_{п.т}$ — расход пара на пиковые подогреватели ТЭЦ в *кг/ч*;

$i'_{п.п}$ — теплосодержание конденсата пиковых подогревателей ТЭЦ в *ккал/кг*;

$\eta_{п.п} = 0{,}98$ — коэффициент, учитывающий потерю тепла поверхностью пиковых подогревателей.

Производительность охладителя в этом случае

$$Q_{ox} = \left(D_{о.п} - D_{п.т}\right)\left(i'_{о.п} - i_{конд}\right) \; ккал/ч. \qquad (18.8)$$

Расход пара на пиковые подогреватели

$$D_{п.т} = \frac{Q_{п.т}}{\left(i''_{п.п} - i'_{п.п}\right)\eta_{п.п}} = \frac{G\left(\tau_\omega - \tau_\alpha\right)}{\left(i''_{п.п} - i'_{п.п}\right)\eta_{п.п}} \; кг/ч, \qquad (18.9)$$

где $i''_{п.т}$ — теплосодержание греющего пара для пикового подогревателя в *ккал/кг*;

τ_ω — температура воды после пиковых подогревателей в °С.

Тепловой расчет охладителей конденсата производится при двух условных режимах.

В первом режиме предполагается, что весь конденсат, поступающий в охладитель, вскипает, образуя пар. Расчет ведется так же, как и пароводяного подогревателя.

Параметры испарившегося пара принимают по состоянию насыщения при 20—30% влажности. Количество пара определяют по формуле

$$D_{в.п} = \frac{Q_{ox}\,\eta_{ox}}{i''_{в.п} - i_{конд}} = \frac{D_{о.п}\,\eta_{ox}}{i'_{оп} - i_{конд}} \; кг/ч, \qquad (18.10)$$

где $i''_{в.п}$ — теплосодержание вторичного пара при давлении в подогревателе в *ккал/кг*;

$\eta_{ox} = 0{,}99$ — коэффициент, учитывающий потерю тепла поверхностью нагрева охладителей конденсата.

Во втором режиме предполагается, что конденсат находится под давлением, исключающим его вскипание. Расчет ведется так же, как и водоводяного подогревателя с охлаждением конденсата до 90° С.

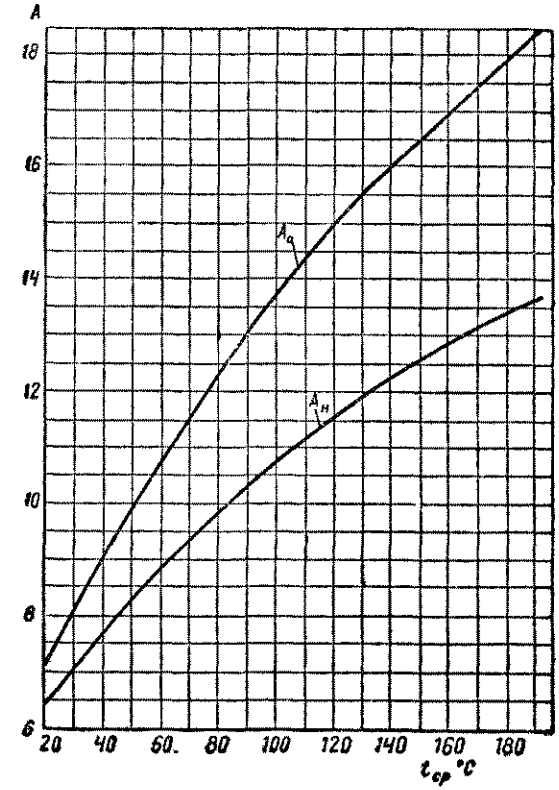


Рис. 18.16. График для определения коэффициентов при остывании A_o и нагревании $A_н$ воды

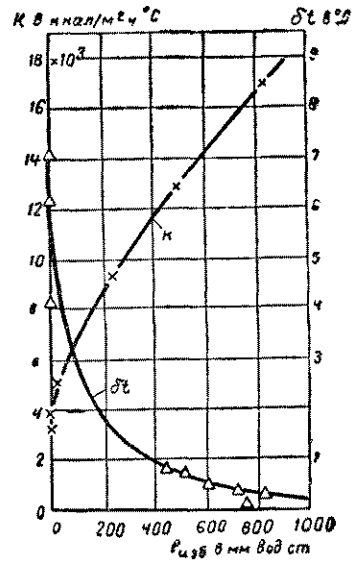


Рис. 18.17. Результаты испытаний пленочных подогревателей при $G = 190$ *т/ч*

K — коэффициент теплопередачи; *δt* — нагрев воды до температуры пара; $P_{изб}$ — избыточное давление пара

Поверхность нагрева охладителя выбирается по наибольшей величине, полученной при расчетах.

В табл. 18.11—18.13 даны формы и примеры теплового расчета поверхностных подогревателей.

Тепловой расчет пленочных подогревателей производится по той же формуле (18.1), что и поверхностных.

Коэффициент теплопередачи в этих подогревателях по опытным данным ОРГРЭСа колеблется от 8000 до 15 000 *ккал м² ч °С* и обычно принимается 10 000 *ккал/м² ч* С. На рис. 18.17 приведены результаты испытаний пленочных подогревателей, проведенных ВТИ.

Разность между температурой насыщенного пара и температурой нагретой воды рекомендуется принимать 0,5—1° С.

Таблица 18.11

Типовой бланк для расчета горизонтального пароводяного поверхностного подогревателя (МВН 1437—58) и пример расчета

Наименование элемента расчета	Размерность	Расчетные формулы и условные обозначения	Расчетные величины
Заданы: Расчетный расход тепла	*ккал/ч*	Q	$1{,}5 \cdot 10^6$
Температура насыщения пара	°С	$t_п$	142,9
Температура воды, входящей в подогреватель	»	t_1	70
Температура воды, выходящей из подогревателя	»	t_2	130
Средняя температура воды		$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	100
Разность температур на входе и выходе воды в подогревателе		$\Delta t = t_2 - t_1$	60
Средняя логарифмическая разность температур между паром и водой (см. рис. 18.9)		$\Delta t_{ср} = \frac{t_2 - t_1}{2{,}3 \lg \frac{t_п - t_1}{t_п - t_2}}$	34,5
Удельный вес воды при средней температуре	*кг/м³*	$\gamma_в$	958,4
Скорость воды в трубках	*м/сек*	$W_в = \frac{Q}{3600 \gamma_в (t_2 - t_1) f_{тр}}$	1,45
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде для продольного обтекания при нагревании (см. рис. 18.15)	*ккал/м² ч °С*	$\alpha_в = A_н (W_в \gamma_в)^{0,8} d_{вн}^{-0,2}$	8050
Температура стенки трубок (см. рис. 18.11)	°С	$t_{ст} = \frac{\alpha_в t_{ср} + \alpha_п t_п}{\alpha_в + \alpha_п}$	118
Разность между температурой насыщения пара и стенкой	»	$\vartheta = t_п - t_{ст}$	24,9
Температура пленки конденсата	»	$t_{пл} = \frac{t_п + t_{ст}}{2} = t_п - \frac{\vartheta}{2}$	129,5
Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к горизонтальной стенке (см. рис. 18.12)	*ккал/м² ч°С*	$\alpha_п = b \sqrt[4]{\frac{r}{n_{пр} d_{нар} \vartheta}}$	6100
Значение коэффициента b (см. рис. 18.12)	$\frac{ккал^{3/4} кг^{1/4}}{м^{7/4} °С^{3/4} ч}$	$b = 0{,}724 \sqrt[4]{\frac{\gamma^2 \lambda^3 3600}{\mu}}$	1696
Толщина слоя накипи и трубки	*ккал/м ч °С*	$\lambda_{нак}$ и $\lambda_{тр}$	0,0002 и 0,001
Коэффициент теплопроводности накипи и трубки	*ккал/м ч °С*	$\lambda_{нак}$ и $\lambda_{тр}$	2 и 90

Продолжение табл. 18.11

Наименование элемента расчета	Размерность	Расчетные формулы и условные обозначения	Расчетные величины
Коэффициент теплопередачи	*ккал/м² ч °С*	$k = \dfrac{1}{1/\alpha_в + 1/\alpha_п + \dfrac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \dfrac{\delta_{нак}}{\lambda_{нак}}}$	2570
Расчетная поверхность нагрева	*м²*	$F_р = \dfrac{Q}{k \Delta t_{ср}}$	16,9
Принятая поверхность по типовой конструкции	»	F	19,0

Таблица 18.12

Типовой бланк для расчета вертикального поверхностного пароводяного подогревателя (БО-200) и пример расчета

Наименование элемента расчета	Размерность	Расчетные формулы и условные обозначения	Расчетные величины
Заданы: Расчетный расход тепла	*ккал/ч*	Q	$15 \cdot 10^6$
Температура насыщения пара	°С	$t_п$	126,8
Температура воды, входящей в подогреватель и выходящей из подогревателя	»	t_1 и t_2	70 и 110
Средняя температура воды	»	$t_{ср} = \dfrac{t_1 + t_2}{2}$	90
Разность температур на входе и на выходе в подогревателе	»	$\Delta t = t_2 - t_1$	40
Среднелогарифмическая разность температур между паром и водой (см. рис. 18.9)	»	$\Delta t_{ср} = \dfrac{t_1 - t_2}{2{,}3 \lg \dfrac{t_п - t_1}{t_п - t_2}}$	33
Удельный вес воды при средней температуре	*кг/м³*	$\gamma_в$	965,3
Площадь сечения трубок одного хода при числе трубок n в одном ходу	*м²*	$f_{тр} = \dfrac{\pi d_{вн}^2}{4} n$	0,0635
Скорость воды в трубках	*м/сек*	$W_в = \dfrac{Q}{3600 \cdot \gamma_в (t_2 - t_1) f_{тр}}$	1,64
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде для продольного обтекания при нагревании (см. рис. 18.15)	*ккал/м² ч °С*	$\alpha_в = A_ц (W_в \gamma_в)^{0,8} d_{вн}^{-0,2}$	8450
Температура стенки трубок (см. рис. 18.11)	°С	$t_{ст} = \dfrac{\alpha_в t_{ср} + \alpha_п t_п}{\alpha_в + \alpha_п}$	104
Разность между температурой насыщения пара и стенкой	»	$\vartheta = t_п - t_{ст}$	22,8
Температура пленки конденсата	»	$t_{пл} = t_п - \dfrac{\vartheta}{2} = \dfrac{t_п + t_{ст}}{2}$	115,4
Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к вертикальной стенке (см. рис. 18.13)	*ккал/м² ч °С*	$\alpha_п = A \sqrt[4]{\dfrac{r}{H}}$	4920
Значение коэффициента A (см. рис. 18.13)	$\dfrac{ккал^{3/4}\, кг^{1/4}}{м^{7/4}\, ч^{\circ} С^{3/4}}$	$A = 1{,}13 \sqrt[4]{\dfrac{\lambda^3 \gamma^2 3600}{\mu}}$	2570

Продолжение табл. 18.12

Наименование элемента расчета	Размерность	Расчетные формулы и условные обозначения	Расчетные величины
Длина пути конденсата вдоль поверхности теплообмена дс промежуточной горизонтальной перегородки	*м*	H	1,72
Теплота парообразования при $t_п$	*ккал/кг*	r	521,1
Толщина слоя накипи и стенки трубки	*м*	$\delta_{нак}$ и $\delta_{тр}$	0,0002 и 0,001
Коэффициент теплопроводности слоя накипи и стенки трубки	*ккал/м ч °С*	$\lambda_{нак}$ и $\lambda_{тр}$	2 и 90
Коэффициент теплопередачи	*ккал/м² ч °С*	$k = \dfrac{1}{1/\alpha_в + 1/\alpha_п + \dfrac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \dfrac{\delta_{нак}}{\lambda_{нак}}}$	2320
Расчетная поверхность нагрева		$F_р = \dfrac{Q}{k \Delta t_{ср}}$	196
Принятая поверхность по типовой конструкции	»	F	200

Таблица 18.13

Типовой бланк для теплового расчета поверхностного водоводяного подогревателя МВН 2050-$\frac{34}{z}$ и пример расчета

Наименование элемента расчета	Размерность	Расчетные формулы и условные обозначения	Расчетные величины
Заданы: Расчетный расход тепла	*ккал/ч*	Q	$3 \cdot 10^6$
Температура греющей воды на входе и выходе	°С	$t_{п.в}$ и $t_{о.в}$	70 и 35
Температура нагреваемой воды на входе и выходе	»	t_1 и t_2	6 и 60
Средняя температура греющей воды	»	$t_{ср.г} = \dfrac{t_{п.в} + t_{о.в}}{2}$	52,5
Средняя температура нагреваемой воды	»	$t_{ср.н} = \dfrac{t_1 + t_2}{2}$	32,5
Бо́льшая и меньшая разность температур между греющей и нагреваемой водой	»	$\Delta t_б$ и $\Delta t_м$	30 и 10
Среднелогарифмическая разность температур между нагреваемой и греющей водой (см. рис. 18.10)	»	$\Delta t_{ср} = \dfrac{\Delta t_б - \Delta t_м}{2{,}3 \lg \dfrac{\Delta t_б}{\Delta t_м}}$	18,2
Разность температур входящей и выходящей воды в трубном и межтрубном пространстве (задано)	°С	$\Delta t_{тр}$ и $\Delta t_{пр}$	35 и 55
Удельные веса при средних температурах воды в трубном и межтрубном пространстве	*кг/м³*	$\gamma_{тр}$ и $\gamma_{пр}$	994,8 и 986,8
Скорость воды в трубках	*м/сек*	$W_{тр} = \dfrac{Q}{3600 \gamma_{тр} \Delta t_{тр} f_{тр}}$	1,43

Продолжение табл. 18.13

Наименование элемента расчета	Размерность	Расчетные формулы и условные обозначения	Расчетные величины
Скорость воды в межтрубном пространстве	*м/сек*	$W_{пр} = \frac{O}{3600\,\gamma_{пр}\,\Delta t_{пр}\,f_{пр}}$	0,5
Коэффициент при остывании (см. рис. 18 16)	—	$A_O = 0{,}0263\,\frac{\lambda\,Pr^{0,35}}{\gamma^{0,8}}$	9,8
Коэффициент при нагревании (см. рис. 18 16)	—	$A_н = 0{,}0209\,\frac{\lambda\,Pr^{0,45}}{\gamma^{0,8}}$	7,2
Коэффициент теплоотдачи при охлаждении воды (см. рис 18 14)	*ккал/м² ч °С*	$\alpha'_в = A_O\,(\gamma_O W_O)^{0,8}\,d^{-0,2}$	7500
Коэффициент теплоотдачи при нагревании воды (см рис 18.15)	*ккал/м² ч °С*	$\alpha''_в = A_н\,(\gamma_п W_н)^{0,8}\,d^{-0,2}$	2300
Толщина слоя накипи и стенки трубки	*м*	$\delta_{нак}$ и $\delta_{тр}$	0,0005 и 0,001
Коэффициент теплопроводности материала накипи и трубки	*ккал/м ч °С*	$\lambda_{нак}$ и $\lambda_{тр}$	2 и 90
Расчетный коэффициент теплопередачи	*ккал/м² ч °С*	$k = \frac{1}{1/\alpha'_в + 1/\alpha''_в + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{\delta_{нак}}{\lambda_{нак}}}$	1220
Выбранная поверхность по типовой конструкции	*м²*	$F_п$	144,2
Активная длина трубок	*м*	$L = \frac{F_п}{\pi\,d_{ср}\,n} = lz$	28
Выбранная длина одной секции	»	l	4
Число секций	шт.	$z = L : l$	7

Примечание. Pr — критерий Прандтля, η — абсолютная вязкость в *кг/сек·м*

18.3. ПОТЕРЯ НАПОРА ВОДЫ В ПОДОГРЕВАТЕЛЯХ

Потерю напора воды в подогревателе определяют по формуле

$$\Delta h = \Delta h_т + \Delta h_м = \frac{\lambda_т\,\gamma}{2g d_{вн}}\,lz\,W_в^2 + \frac{\gamma}{2g}\,\Sigma\xi\,W_в^2\ мм\ вод.\ ст., \qquad (18.11)$$

где $\Delta h_т$ и $\Delta h_м$ — потери напора на трение и местные сопротивления;

$\lambda_т$ — коэффициент трения определяют по формуле для шероховатых труб;

γ — удельный вес воды при средней температуре в *кг/м³*;

g — ускорение силы тяжести в *м/сек²*;

l — длина одного хода в *м*;

$\Sigma\xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений,

$W_в$ — скорость воды в трубках или в межтрубном пространстве.

Формулу (18.11) можно представить в виде

$$\Delta h = Ш\,W_в^2\ м\ вод.\ ст. \qquad (18.12)$$

Значения $Ш$ даны в табл. 18.14, 18.15.

При определении значений $Ш$ принято $\gamma_в = 1000\ кг/м^3$

Местные сопротивления ξ: для входных и выходных камер — по 1,5; для поворотов на 180° при переходе из одного пучка в другой внутри камеры — 2,5; для поворотов на 180° при переходе из одной секции в другую через колено — 1,7.

Величина $\lambda_т$ для горизонтальных пароводяных и водоводяных подогревателей по МВН 1436—58, 1437—58 и 2050—57 подсчитана для латунных трубок $d_{вн} = 16\ мм$ и $k_ш = 0{,}0002\ мм$ и составляет $\lambda_т = 0{,}011$. Величина $\lambda_т$ для вертикальных пароводяных подогревателей подсчитана при $d_{вн} = 17{,}5\ мм$ и $k_ш = 0{,}0002\ мм$ и составляет $\lambda_т = 0{,}04$.

Число поворотов в водоводяных подогревателях при проходе воды в трубках принято равным числу секции минус единица.

Для водоводяных подогревателей коэффициенты местных сопротивлений в межтрубном пространстве, отнесенные к скорости воды в штуцеры, приняты: при входе воды в межтрубное пространство перпендикулярно трубкам — 1; при выходе воды из межтрубного пространства под углом 90° — 1; при переходе из одной секции в другую под углом 90° в межтрубном пространстве — 2, при огибании четырех перегородок, поддерживающих трубки, при отнесении коэффициента к скорости воды в межтрубном пространстве — 2.

Таблица 18.14

Значения *Ш* при условной длине хода или секции, равной 1 *м*

Подогреватели		Число ходов или секций	Формула для определения *Ш*	*Ш* при длине хода или секции в 1 *м*
Пароводяные	горизонтальные	*Ш* для двух ходов	0,262 l+0,28	0,542
		Ш для четырех ходов	0,521 l+0,536	1,057
	вертикальные	*Ш* для двух ходов	0,24 l+0,28	0,52
		Ш для четырех ходов	0,48 l+0,536	1,016
Водоводяные горизонтальные	вода в латунных трубках	*Ш* для одной секции	0,131 l+0,153	0,284
		Ш для двух секций	0,262 l+0,239	0,501
	вода в межтрубном пространстве	*Ш* для одной секции	0,131 l+0,204	0,335
		Ш для двух секций	0,262 l+0,408	0,67

Таблица 18.15

Значение коэффициента *Ш* для подогревателей разных типов

Тип подогревателя	Пароводяные горизонтальные				Водоводяные горизонтальные (вода в трубках)				Водоводяные горизонтальные (вода в межтрубном пространстве)			
	двухходовые с длиной хода в *м*		четырехходовые с длиной хода в *м*		односекционные с длиной хода в *м*		двухсекционные с длиной секции в *м*		односекционные с длиной секции в *м*		двухсекционные с длиной секции в *м*	
	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Ш	0,804	1,328	1,58	2,62	0,415	0,677	0,763	1,287	0,67	1,34	1,34	2,68
	Пароводяные вертикальные											
Тип подогревателя	БО-550; БПр-550	БО-550-3К	БП-500	БО-350; БПР-350	БП-300	БО-200	БП-200	БО-130	БО-90	БП-90	БП-65	БП-43
Ш	1,38	1	1,3	1,2	1	1,93	0,88	1,38	1,19	0,59	0,58	1,67

ГЛАВА 19

ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

Центральные тепловые пункты сооружаются при вводе магистральных тепловых сетей на территорию промышленных предприятий для учета отпускаемого от ТЭЦ или от районной котельной тепла, контроля за параметрами теплоносителей и организации дополнительного регулирования отпуска тепла.

На рис. 19.1 дана примерная схема компоновки центрального теплового пункта промышленного предприятия. Габариты помещений тепловых пунктов определяют из условий обеспечения прохода между выступающими частями оборудования и стеной не менее 1 *м*.

Институтом Моспроект разработаны типовые проекты центральных тепловых пунктов кварталов города

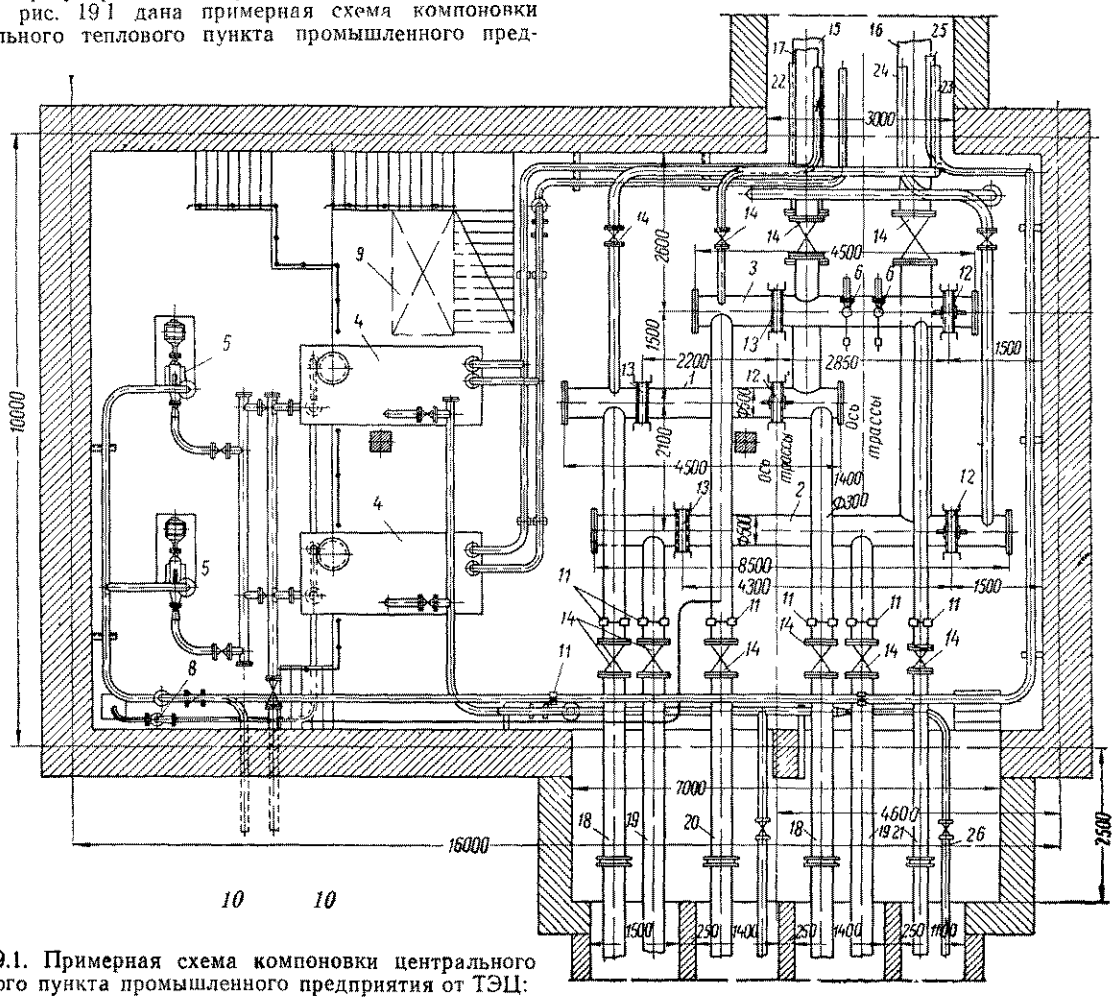


Рис. 19.1. Примерная схема компоновки центрального теплового пункта промышленного предприятия от ТЭЦ:

1 — коллектор подающей воды; *2* — коллектор обратной воды; *3* — коллектор паропровода; *4* — баки для конденсата; *5* — насосы для перекачки конденсата; *6* — предохранительные клапаны; *7* — камерные диафрагмы; *8* — пароструйный элеватор; *9* — монтажное окно; *10* — в колодец водостока; *11* — подвесные опоры; *12* — неподвижные опоры; *13* — подвижные опоры; *14* — задвижки; *15* — водовод подающий ∅ 500 *мм*; *16* — водовод обратный ∅ 500 *мм*; *17* — паропровод ∅ 400 *мм*; *18* — водовод подающий ∅ 300 *мм*; *19* — водовод обратный ∅ 300 *мм*; *20* — паропровод ∅ 250 *мм*, *21* — паропровод ∅ 200 *мм*; *22* — паропровод ∅ 100 *мм*, *23* — водовод подающий ∅ 150 *мм*; *24* — водовод обратный ∅ 150 *мм*; *25* — конденсатопровод напорный ∅ 125 *мм*; *26* — конденсатопровод самотечный ∅ 80 *мм*

с подогревателями горячего водоснабжения и насосной смешения для систем отопления (рис. 19.2).

Схемы включения подогревателей горячего водоснабжения приняты двухступенчатые: последовательная и смешанная.

В некоторых системах центральные тепловые пункты сооружают на вводе тепловой сети в квартал при сохранении двухтрубной распределительной тепловой сети без изменения принятого графика температур. Основное назначение таких пунктов — централизованный учет отпуска тепла на квартал и централизованное регулирование гидравлического режима всей группы зданий квартала (рис. 19.3).

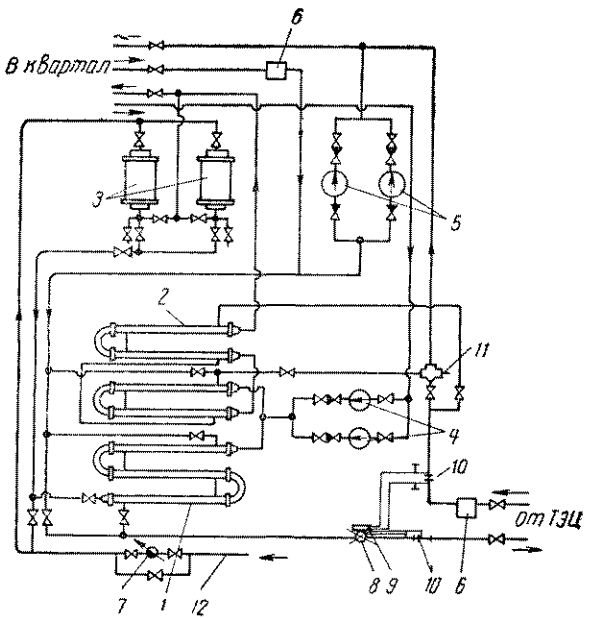


Рис. 19.2. Принципиальная схема центрального теплового пункта квартала города при закрытой системе

1 — подогреватель первой ступени; *2* — подогреватель второй ступени; *3* — доломитовые фильтры; *4* — циркуляционные насосы горячего водоснабжения; *5* — подмешивающие сетевые насосы; *6* — грязевики; *7* — водомер на холодной воде; *8* — водомер на обратной сетевой воде; *9* — теплосчетчик; *10* — диафрагма; *11* — трехходовой клапан; *12* — водопровод

Нормы качества по карбонатной жесткости и содержанию кислорода для воды, поступающей в местные системы горячего водоснабжения при закрытых системах тепловых сетей, не установлены. Опыт эксплуатации показал необходимость предварительной ее обработки, в основном деаэрации, во избежание интенсивной внутренней коррозии труб. В связи с этим в центральных тепловых пунктах при закрытой системе предусматривают установки по деаэрации и стабилизации воды, а при воде жесткостью более 4 *мг-экв/л* — и по ее умягчению.

Установки по обработке воды для горячего водоснабжения применяют более простые, чем для подпиточной воды ТЭЦ или котельных.

В указанном выше типовом проекте Моспроекта предусмотрена установка доломитовых (магномассовых) фильтров.

Метод защиты с помощью доломитовых фильтров основан на создании на стенках труб и оборудования пассивирующих покрытий.

Обожженный доломит поглощает из воды всю агрессивную и часть равновесной углекислоты, разгружает часть бикарбонатных солей, заставляя их выпадать на поверхность труб в виде карбонатов, пассивирующих процесс коррозии.

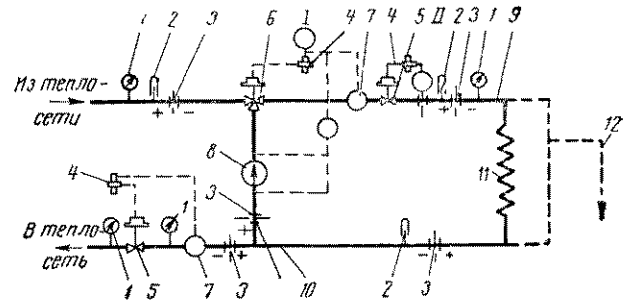


Рис. 19.3. Принципиальная схема центрального теплового пункта квартала города при открытой системе

1 — манометр; *2* — термометр; *3* — измерительная диафрагма; *4* — гидравлическое реле типа РД-3-а, *5* — одноходовой регулирующий клапан с мембранным сервомотором; *6* — то же, но двухходовой; *7* — импульс давления; *8* — насос смешения; *9* — подающая магистраль; *10* — обратная магистраль; *11* — квартальная сеть; *12* — отбор воды на горячее водоснабжение; *I* — регулятор смешения; *II* — регулятор расхода

Одновременно вследствие устранения агрессивной углекислоты возрастает *pH* воды, что снижает ее активность.

Обслуживание фильтров сводится к замене (примерно один раз в год) фильтрующего слоя доломита и периодической промывке фильтра обратным током воды.

В тепловых пунктах некоторых городов для деаэрации воды горячего водоснабжения применяется установка сталестружечных фильтров (рис. 19.4).

Горячая вода после подогревателя поступает в сталестружечный фильтр, затем проходит через мраморный или кварцевый фильтр. Мраморная крошка поглощает из воды растворенную углекислоту, переходя в растворимый бикарбонат кальция.

Работа сталестружечных фильтров считается удовлетворительной, если содержание кислорода в воде после фильтра на 1,5—3 *мг/л* меньше предельной растворимости его при данной температуре и атмосферном давлении.

Каждый потребитель тепла (жилое, общественное или промышленное здание) должен иметь, как правило, один тепловой пункт. Для крупных зданий допускается устройство нескольких тепловых пунктов.

Исходя из характера и количества размещаемого оборудования размеры помещений для тепловых пунктов отдельных зданий ориентировочно могут быть приняты: для жилых и общественных зданий без горячего водоснабжения — 1,5×4 *м* при высоте 2 *м*; для жилых и общественных зданий с горячим водоснабжением при закрытой системе — 5×8 при высоте 2,8 *м*.

Тепловые пункты должны иметь вентиляцию и электроосвещение, а при наличии водоподогревательной установки и насосной, кроме того, телефонную связь с диспетчером тепловой сети района.

Местные водяные системы отопления и вентиляции присоединяются: а) к водяным тепловым сетям, как

правило, по непосредственной схеме; б) к паровым тепловым сетям — по независимой схеме с установкой местных пароводяных подогревателей.

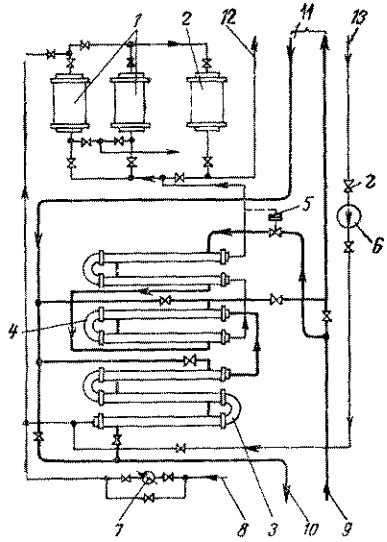


Рис. 19.4. Схема подогревательной установки горячего водоснабжения с деаэрацией сталеструйчатыми фильтрами в центральном тепловом пункте квартала города

1 — сталеструйчатый фильтр; *2* — кварцевый фильтр; *3* — подогреватель первой ступени; *4* — подотреватель второй ступени; *5* — регулятор температуры; *6* — циркуляционный насос; *7*—водомер, *8* — водопровод, *9* — подающая линия из тепловой сети; *10* — обратная линия в тепловую сеть; *11* — на отопление квартала; *12*—линия горячего водоснабжения, *13* — циркуляционная линия системы горячего водоснабжения

Независимое присоединение к водяным тепловым сетям применяют для систем отдельных зданий, если их непосредственное присоединение приводит к усложнению гидравлического режима системы тепловых сетей.

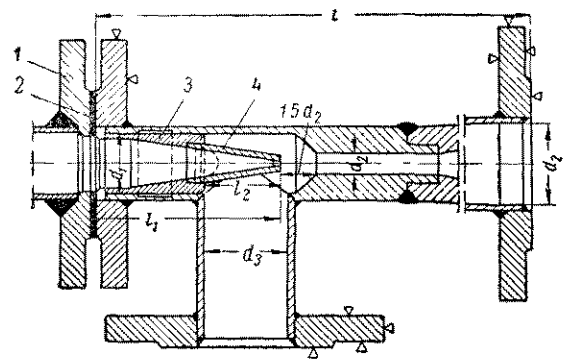


Рис 19 5. Стальной элеватор конструкции ВТИ — Теплосеть Мосэнерго

1 — фасонный фланец; *2* — прокладка; *3* — сопло; *4* — сменная часть сопла

Например, по независимой схеме присоединяют высотные здания; единичные здания, расположенные на значительно более высоких или низких отметках земли по отношению к тепловому району; отдельные здания, местные системы которых рассчитаны на давление, значительно меньшее, чем остальные здания района, и т. п.

Если расчетная температура воды в местной системе ниже расчетной температуры воды в тепловой сети, в тепловом пункте предусматриваются смесительные устройства. В качестве смесительных устройств местных систем водяного отопления применяют стальные водоструйные элеваторы конструкции ВТИ — Теплосеть Мосэнерго. Элеватор указанной конструкции приведен на рис. 19.5. В табл. 19.1 даны основные конструктивные размеры элеваторов.

Таблица 19.1

Основные конструктивные размеры элеваторов

Номер элеватора[а]	Общая длина в *мм*	Диаметр горловины $d_г$ в *мм*	Внутренние диаметры присоединительных патрубков в *мм*			Длина сопла в *мм*		Вес (без дополнительного фланца) в *кг*	Пределы экономичной подачи с мешанной воды при потере напора в системе 0,1 *кгс/см²* *м³/ч*
			входного d_1	выходного d_2	подсоса d_3	полная l_1	сменной части l_2		
1	425	15	37	51	51	110	55	100	1—4
2	425	20	37	51	51	100	45	100	4—7
3	625	25	49	82	70	145	50	150	7—10
4	625	30	49	82	70	135	40	150	10—15
5	625	35	49	82	70	125	30	150	15—22
6	720	47	80	100	100	175	60	230	22—39
7	720	59	80	100	100	155	40	230	39—50

Методика расчета водоструйных элеваторов приведена в табл. 19.2. На рис. 19.6 представлена номограмма для определения диаметра сопла и номера элеватора.

Водоструйные элеваторы применяются для систем отопления с расчетной потерей давления не более 1,5 *м вод. ст.* К одному элеватору разрешается присоединять группу мелких зданий с суммарным расходом тепла на отопление 0,3 *г кал/ч* при условии выравнивания потерь напора в ответвлениях к отдельным зданиям. При этом сопротивление распределительных сетей, включая систему отопления, не должно превышать 1 *м вод. ст.*

При недостаточном располагаемом напоре в тепловой сети для работы элеватора смешение осуществляется центробежными насосами В этом случае возможна также схема с совместной работой элеватора и насоса конструкции ЦНИИПС Техническая характеристика и общие данные насосов ЦНИИПС приведены в табл 19 3.

Там, где температура воды в системе отопления не ограничена (спортивные залы, бассейны, бани, прачечные, торговые помещения, здания общественного питания объемом 500 *м³* и более, промышленные здания), непосредственное присоединение к тепловым сетям осуществляется без подмешивания воды из обратного трубопровода.

В закрытых системах присоединение местных систем горячего водоснабжения осуществляется по независимой

Таблица 19.2

Различные формулы для определения сопла элеватора

Условные обозначения	Наименования	Единица измерения	Расчетная формула	Номер формулы
q	Расчетный коэффициент инжекции (смешения) элеватора	—	$q=\frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{э}}}1{,}15=\frac{\tau_1-t_1}{t_1-t_2}1{,}15$, где 1,15—коэффициент, полученный на основании экспериментальных данных Теплосети Мосэнерго	(19.1)
$G_{\text{э}}$	Расход теплофикационной (эжектирующей) воды	*т/ч*	$G_{\text{э}}=\frac{Q}{(\tau_1-\tau_2)\,1000}$	(19.2)
$G_{\text{см}}$	Расход смешанной воды	»	$G_{\text{см}}=\frac{Q}{(t_1-t_2)\,1000}$	(19.3)
$G_{\text{пр}}$	Приведенный расход смешанной воды	»	$G_{\text{пр}}=\frac{G_{\text{см}}}{\sqrt{h}}=\frac{Q}{\sqrt{h}\,(t_1-t_2)1000}$	(19.4)
$d_{\text{г}}$	Диаметр горловины (камеры смешения) элеватора	*см*	$d_{\text{г}}=0{,}874\sqrt{G_{\text{пр}}}$	(19.5)
$d_{\text{с}}$	Диаметр сопла элеватора	*мм*	$d_{\text{с}}=\frac{10\,d_{\text{г}}}{\sqrt{\frac{0{,}78}{G_{\text{пр}}^2}(1+q)^2\,d_{\text{г}}^4+0{,}6(1+q)^2-0{,}4\,q^2}}$	(19.6)
H	Требуемый напор перед элеватором	*м вод. ст.*	$H=0{,}64\frac{G_{\text{э}}^2}{d_{\text{с}}^4}$	(19.7)
$d_{\text{с}}$	Диаметр сопла по располагаемому напору перед элеватором H	*см*	$d_{\text{с}}=\sqrt[4]{\frac{0{,}64G_{\text{э}}^2}{H}}$	(19.8
$G_{\text{э}}$	Расход теплофикационной воды по располагаемому напору перед элеватором и диаметру сопла	*т/ч*	$G_{\text{э}}=\frac{d_{\text{с}}^2}{0{,}8}\sqrt{H}$	(19.9)
Q	Расход тепла на отопление	*ккал/ч*	—	
τ_1	Температура воды в подающей трубе тепловой сети	°С	—	—
τ_2	Температура воды в обратной трубе тепловой сети	»	—	—
t_1	Температура воды в подающей трубе местной системы отопления	»	—	—
t_2	Температура воды в обратной трубе местной системы отопления	»	—	—
h	Гидравлическое сопротивление местной системы отопления	*м вод. ст.*	—	—
$G_{\text{п}}$	Количество подмешиваемой воды из местной системы отопления	*т/ч*	—	—

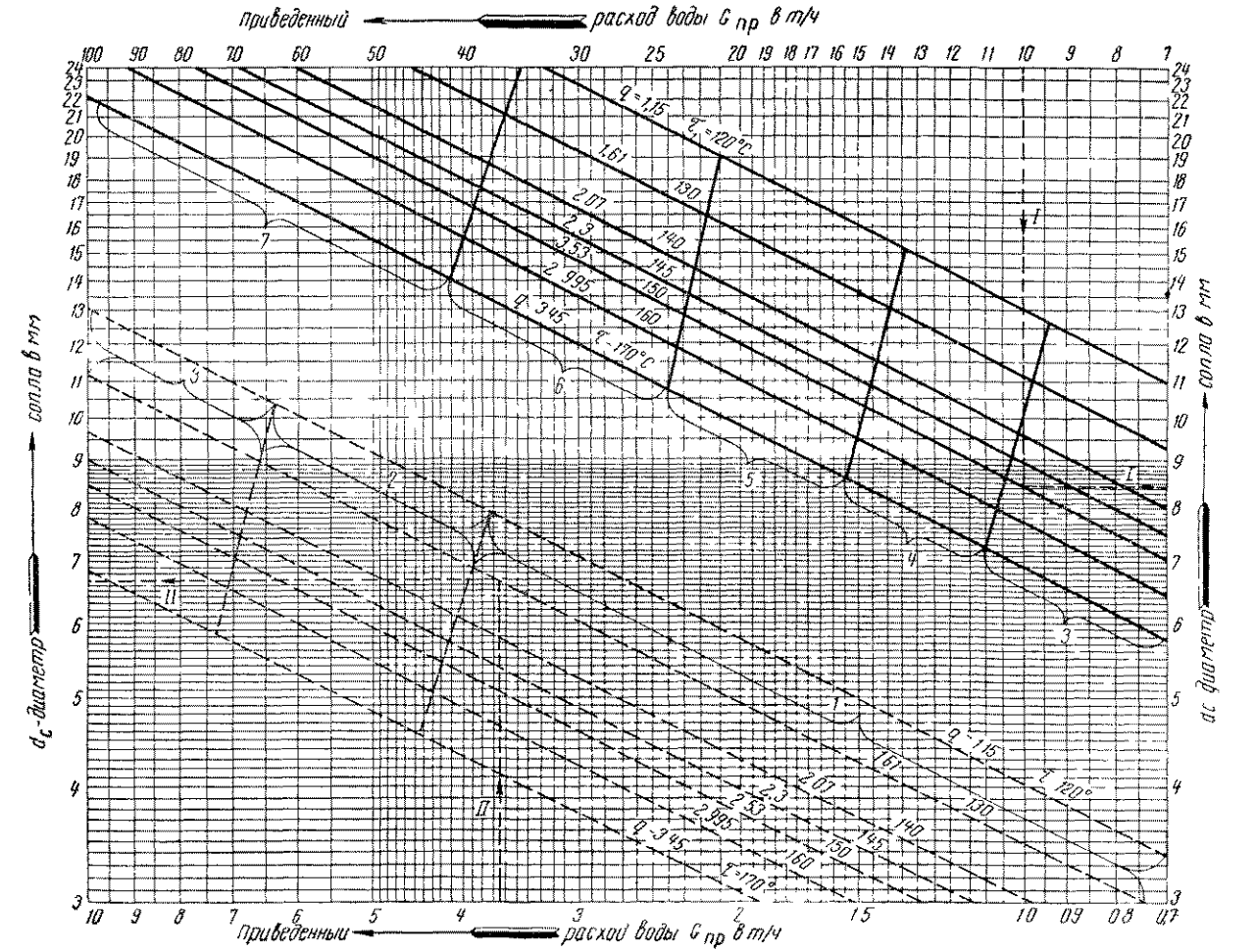


Рис. 19 6 Номограмма для определения диаметра сопла

Таблица 19.3

Техническая характеристика и общие данные насосов ЦНИИПС

Наименование	Единица измерения	По данным ЦНИИПС-10	По данным ЦНИИПС-20
Производительность	$м^3/ч$	10	20
Напор общий	*м вод. ст.*	1,5	1,5
Число оборотов	*об/мин*	1440	1440
Мощность на валу	*квт*	0,12	0,23
Наружный диаметр колеса	*мм*	105	105
Тип электродвигателя	—	АОЛБ-31-4 Ф2	АОЛБ-32-4м Ф2
Мощность электродвигателя	*квт*	0,27	0,4
Рабочее давление	$кгс/см^2$	5	5
Диаметры патрубков нагнетательного и всасывающего	*мм*	80	80
Вес	*кг*	65	65
Габариты длина, ширина, высота	*мм*	505×235×245	505×235×245
Род тока—переменный однофазный	*в*	220	220

схеме через водоводяные подогреватели, а в открытых системах — непосредственно к подающему и обратному трубопроводам ввода тепловой сети.

Основные принципиальные схемы присоединения местных систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения к двухтрубным водяным сетям и условия их применения приведены в табл 19 4.

Для выравнивания суточного графика нагрузки горячего водоснабжения рекомендуется установка баков-аккумуляторов в банях, прачечных, душевых общественных и промышленных зданий, в больницах и санаториях с грязеводолечением.

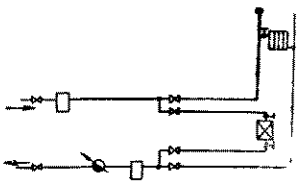
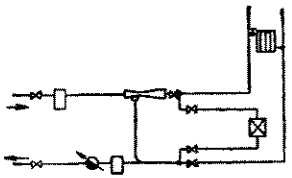
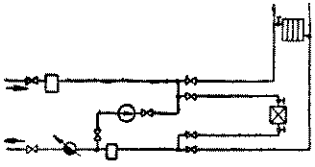
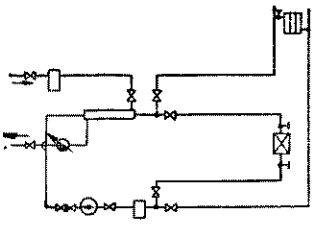
Емкость баков-аккумуляторов для бань и прачечных определяется в соответствии со СНиП II-Л.13-62 и II-Л 14-62.

Для душевых общественных и промышленных зданий емкость баков-аккумуляторов рекомендуется принимать в зависимости от числа установленных душевых сеток, принимая время зарядки баков в соответствии с табл. 19.5.

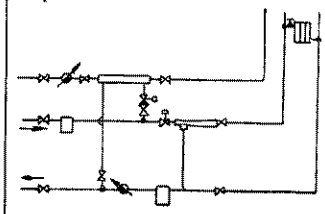
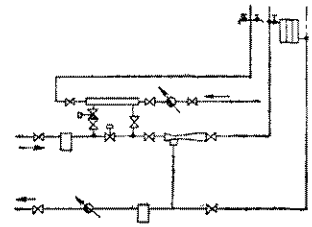
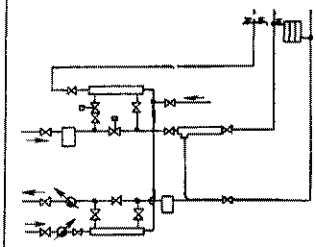
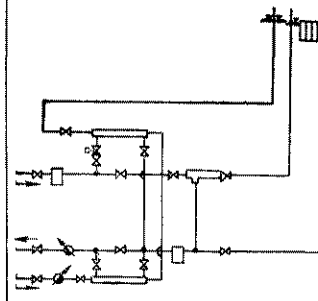
Для крупных душевых и грязелечебниц допускается определять емкость баков-аккумуляторов исходя из непрерывной подачи среднечасового расхода воды за сутки наибольшего водопотребления

Таблица 19.4

Основные принципиальные схемы присоединения местных систем к тепловым сетям и условия их применения

Принципиальная схема присоединения и ее наименование	Условия применения
1	2
Местные системы отопления и вентиляции	
Непосредственная без смесительных устройств 	Для систем отопления промышленных зданий, бань, прачечных, спортивных залов, бассейнов, торговых помещений, зданий общественного питания объемом 500 $м^3$ и более и систем вентиляции при расчетной температуре в тепловых сетях до 150° С, а также для систем отопления и вентиляции жилых и общественных зданий и бытовых помещений промышленных зданий при расчетной температуре в тепловых сетях до 105° С
Непосредственная с элеватором-смесителем 	Для систем отопления жилых и общественных зданий, бытовых помещений промышленных зданий при расчетной температуре в тепловых сетях 150° С; для систем отопления промышленных зданий и систем вентиляции отдельных зданий при необходимости снижения температуры воды, поступающей в местную систему. Применяется при потере давления в местной системе до 1,5 *м вод. ст.*
Непосредственная с насосом на перемычке 	Для тех же условий, что и с элеватором-смесителем, но при недостаточности располагаемого напора для работы элеватора или при потере давления в местной системе более 1,5 *м вод. ст.*
Независимая схема присоединения 	Для систем отопления и вентиляции при давлении в подающем трубопроводе выше статического в местной системе, при давлении в обратном трубопроводе выше допустимого для местной системы, при недостаточности располагаемого напора для работы элеватора-смесителя, для зданий с высотой более 60 *м*, при присоединении к тепловым сетям с расчетной температурой в подающем трубопроводе выше 150° С

Продолжение табл. 19.4

Принципиальная схема присоединения и ее наименование	Условия применения
1	2
Местные системы горячего водоснабжения	
Параллельная 	**Закрытая система тепловых сетей** Для жилых, общественных и промышленных зданий независимо от соотношения максимального часового расхода тепла на горячее водоснабжение $Q^{макс}_{г.в}$ и отопления $Q_{от}$. К преимущественному применению рекомендуется при $\frac{Q^{макс}_{г.в}}{Q_{от}} > 1$, а также для небольших зданий с суммарным расходом тепла на отопление до 150—200 тыс. *ккал/ч* и для промышленных потребителей с количеством душевых сеток до 5
Предвключенная 	Для жилых и общественных зданий при $\frac{Q^{макс}_{г.в}}{Q_{от}} < 0{,}1$
Двухступенчатая — последовательная 	Для жилых, общественных и промышленных зданий при $0{,}3 < \frac{Q^{макс}_{г.в}}{Q_{от}} < 0{,}8$
Двухступенчатая — смешанная 	Для жилых, общественных и промышленных зданий независимо от соотношения максимального часового расхода тепла на горячее водоснабжение $Q^{макс}_{г.в}$ и отопления $Q^{макс}_{г.в}$. К преимущественному применению рекомендуется при $\frac{Q^{макс}_{г.в}}{Q_{от}} > 0{,}8$

Продолжение табл. 19.4

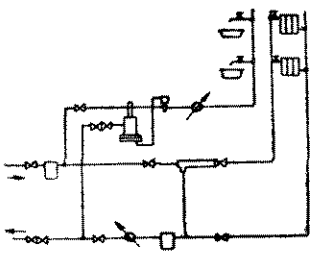
Принципиальная схема присоединения и ее наименование	Условия применения
1	2
Непосредственный водоразбор из тепловой сети 	Открытая система тепловых сетей для жилых, общественных и промышленных зданий независимо от соотношения нагрузок

Таблица 19.5

Продолжительность зарядки аккумуляторов в зависимости от числа душевых сеток

Число душевых сеток	Число часов зарядки аккумуляторов в смену
До 5	Не устанавливается
6—20	2
21—30	3
31 и более	4—6

РАЗДЕЛ V

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

ГЛАВА 20

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИКА

20.1. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Тепловой контроль охватывает все звенья систем теплоснабжения (ТЭЦ или котельная, тепловая сеть с насосными и тепловые пункты потребителей) и включает в себя измерение температур теплоносителя и воздуха, давления теплоносителя, расхода теплоносителя, уровня воды и конденсата в баках, а также солесодержания конденсата, подпиточной воды и сетевой воды.

Указанные величины измеряют с помощью показывающих, самопишущих и суммирующих теплоизмерительных, а также сигнализирующих приборов.

Обозначения основных величин и условное изображение теплоизмерительных приборов и регуляторов, применяемых в схемах теплового контроля и автоматики приведены в табл. 20.1.

Основные данные по выпускаемым промышленностью приборам для измерения температур и давлений приведены в табл. 20.2, 20.3 и 20.4.

В тепловых сетях преимущественно применяют показывающие термометры и манометры.

Самопишущие термометры и манометры применяют в теплофикационных установках ТЭЦ или в котельных, а также в центральных тепловых пунктах водяных и паровых сетей.

Термосигнализаторы, термометры манометрические электроконтактные и сигнализаторы давления используют в системах автоматизации.

Для обеспечения высокой точности измерения температур иногда применяют автоматические потенциометры, которые используют преимущественно для работы в комплекте с термопарами, и автоматические уравновешенные мосты, которые в основном используют для работы с термометрами сопротивления.

Для измерения расхода пара и повышенных расходов воды (обычно более 40—100 *т/ч*) в теплофикационных установках ТЭЦ или котельных, в помещениях насосных и в тепловых пунктах устанавливают дифферен-

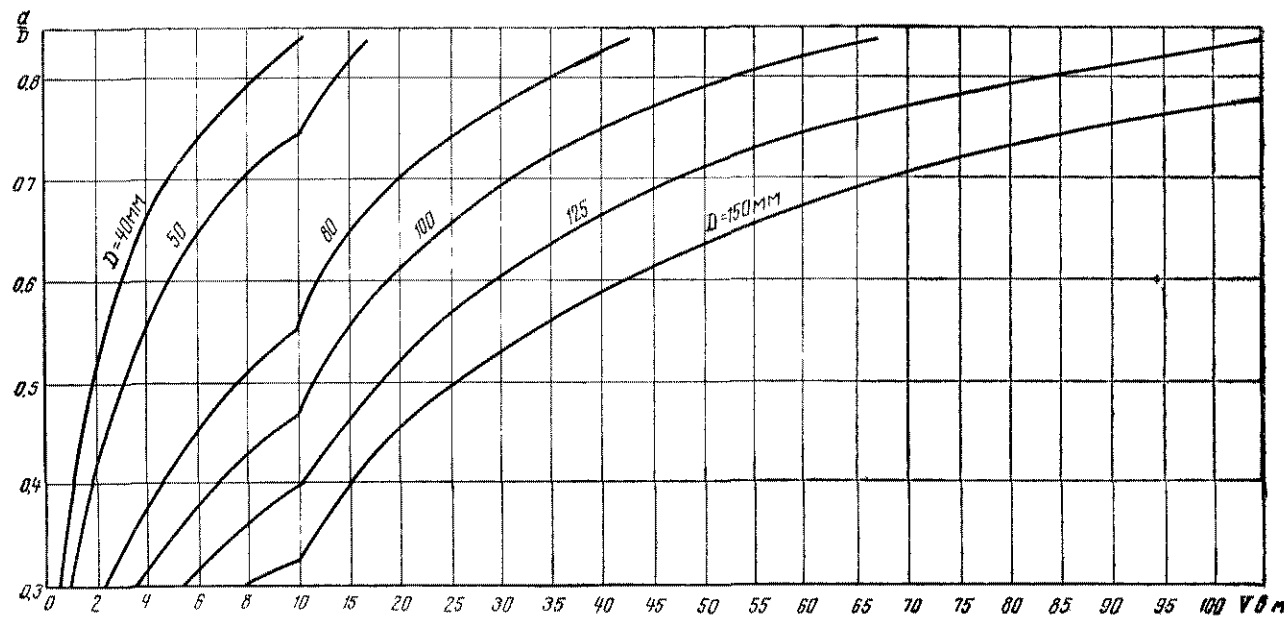


Рис. 20.1. График для определения диаметра дроссельной шайбы к теплосчетчику ТС-1

D — диаметр трубопровода; d — диаметр дроссельной шайбы; V — минимальный полный расход сетевой воды

Пример. Дано: D=50 *мм* и V=6 *м³/ч*. По графику $\frac{d}{D}$=0,645; d=0,645 D=0,645 50=32,3 *мм*.

Таблица 20.1

Условные изображения теплоизмерительных приборов и регуляторов в схемах теплового контроля и автоматики

Условное изображение	Наименование
	Задвижка
	Клапан обратный
	Клапан регулирующий
	Клапан предохранительный
	Стеклянный термометр расширения
	Термометр сопротивления
	Термобаллон манометрического термометра
	Термометр дилатометрический или биметаллический
	Термосигнализатор, термометр (общее обозначение)
	Отборное устройство давления, уровня
	Приемное устройство концентратомера
	Приемное устройство поплавкового уровнемера
	Водосчетчик
	Суживающее устройство для измерения расхода по перепаду
	Сосуд конденсационный
	Сосуд разделительный или уравнительный

Продолжение табл. 20.1

Условное изображение	Наименование
	Прибор измерительный [1]
	Прибор регулирующий (сигнализирующий)[1]
	Прибор измерительный и регулирующий (сигнализирующий) в одном корпусе [1]
	Электрический вид передачи дистанционного воздействия
	Механический вид дистанционной передачи
	Ключ управления
	Амперметр
	Трансформатор тока
	Пусковое устройство
	Электродвигатель
	Кнопка управления
	Реле включения резерва
	Реле времени
	Лампа сигнальная
	Звонок

[1] В верхней части условного изображения записывается измеряемая величина: t — температура; p — давление, G — расход; H — уровень, C — концентрация (допускается вписывать химическую формулу вещества).

В нижней части записывается назначение прибора: П — показывающий; С — самопишущий, И — интегрирующий; Сг — сигнализирующий; См — суммирующий (алгебраическая сумма), Со — отрабатывающий соотношение; Пз — позиционный; Зд — задающий.

Таблица 20.2

Основные приборы для измерения температур

Тип прибора	Наименование	Пределы измерения в °С: нижний	Пределы измерения в °С: верхний	Давление среды в *кгс/см²*
	Термометры стеклянные			
ТТ	Ртутные технические	0	50 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400	—
ТК-6	С магнитной перестановкой контакта	0	50, 100,	—
ТК-8		50 100 200	150, 200, 300	— — —
ТК-5	С постоянными впаянными контактами	0	50, 100, 200, 300	— —
	Термометры манометрические газонаполненные			
ТПГ-180	Показывающие (без дополнительных устройств)	0	100, 120, 160, 200 250, 300,	64
ТСГ-710Мч	Самопишущие на одну точку измерения с часовым приводом	20	120	"
ТСГ-710М	Самопишущие на одну точку измерения с электроприводом	40 50	160, 200, 250, 300	" "
	Термометры манометрические электроконтактные			
ЭКТ	Паровые показывающие с двухконтактным устройством	—20 0 50 60 100	+40 60, 100, 150, 200, 250	25 " " " "
ЭКТ	Газовые показывающие с двухконтактным устройством	0	300	40
	Термометры сопротивлении			
ЭТМ-X, ЭТМ-XI	Медные с неподвижным штуцером	—50	+100	40
ЭТМ-XIV	Медные с передвижным штуцером	—50	+100	—
ЭТМ-XII	Медные для измерения температур в помещениях	—50	+100	—
ЭТП-I,	Платиновые с неподвижным штуцером одинарные	0	+500	40
ЭТП-VIII	То же, двойные	0	+500	40
ЭТП-III	Платиновые с передвижным штуцером	0	+500	—
ЭТП-IX	То же, двойные	0	+500	—
	Термопары			
ТХК-VIII	Хромель-копелевые	—50	+600	30
ТХК-XIII	" "	—50	+600	—

циальные манометры (табл. 20.5), подключаемые к дроссельным устройствам (диафрагмам). При измерении расхода пара с переменными параметрами в дополнение к дифференциальному манометру должны быть дополнительно установлены манометр и термометр для определения удельного веса протекающей среды.

Таблица 20.3

Основные электрические приборы для измерения температур

Тип прибора	Наименование	Класс приборов*
	Милливольтметры (для работы в комплекте с термопарами)	
МПЩПр-54	Показывающие, профильные	1,5
МПЩПл-54	То же, для работы только с хромель-копелевыми (или хромель-алюмелевыми) термопарами	1,5
МСЩПр-154 МСЩПр-354 МСЩПр-654	Самопишущие для измерения и записи температур соответственно в одной, трех или шести точках измерения	1,5
	Логометры	
ЛПр-53 (ЛПБ-46)	Магнитоэлектрические, показывающие, профильные для работы с медными (или платиновыми) термометрами сопротивления	1,5

Таблица 20.4

Основные приборы для измерения давлений

Тип	Наименование	Верхний предел показаний в *кгс/см²*
	Манометры с одновитковой трубчатой пружиной	
ОБМ-100, ОБМ-160	Технические манометры в корпусах диаметром 100 и 160 *мм*:	
	класс точности 2,5	4, 6, 10, 16 и 25
	" " 1,5	
М-250	Технические манометры в корпусе диаметром 250 *мм*, класс точности 1,5	10; 16; 25
	Манометры с многовитковой трубчатой пружиной	
МСТМ-410, МСТМ-610	Самопишущие с часовым и электрическим приводами без дополнительных устройств	6, 10, 16, 25
МГ-278, МСТМ-618	С трехконтактным устройством показывающие и самопишущие	
МСТМ-430, МСТМ-630	Самопишущие на две кривые с часовым и электрическим приводами	
МУЭ	Показывающие с электрической дистанционной передачей	6, 10, 16, 25
	Сигнализаторы давления	
РДС	Сигнальное реле давления с одновитковой трубчатой пружиной с диапазоном настройки 3—25 *кгс/см²*	25

Таблица 20.5

Основные приборы для измерения расхода по перепаду давления

Тип прибора	Наименование	Пределы показаний
ДТ-50	Дифференциальные манометры двухтрубные стеклянные на 50 *кгс/см²*	700 *мм*
	Дифференциальные манометры поплавковые механические с ртутным заполнением	
	Без дополнительных устройств:	Расчетные перепады 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000 *мм рт. ст.*
ДП-280	показывающие	
ДП-410	самопищущие с часовым приводом	
ДП-610	самопищущие с электрическим приводом	
ДП-281М	Показывающие с интегратором	Шкала от 0 до 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 единиц расхода с поправочным множителем 10^n, где n — любое целое положительное или отрицательное число
ДП-612М	Самопищущие с интегратором, отметчиком и электрическим приводом	
ДЭМП-280	С электрической дистанционной передачей показаний	
	Самопищущие с дополнительной записью давления:	
ДП-430	с часовым приводом	
ДП-630	с электрическим приводом	
ДПЭС	Поплавковые бесшкальные для работы с одним или двумя вторичными приборами	Расчетные перепады 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000 *мм рт. ст.*
	Дифференциальные манометры мембранные	
ДМ	Бесшкальные	Расчетные перепады 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000 *мм рт. ст.*

Таблица 20.6

Вторичные электрические приборы к манометрам МУЭ и поплавковым дифференциальным манометрам ДЭПМ-280 и ДПЭС

Тип прибора	Вторичные приборы
Э-280, Э-610	Без дополнительных устройств показывающие и самопишущие
Э-281М, Э-612М	С интегратором показывающие и самопишущие
Э-278, Э-618	С электрическим контактным устройством показывающие и самопишущие
Э-630	Самопишущие с дополнительной записью давления

Таблица 20.7

Основные характеристики водосчетчиков с вертикальной крыльчаткой типа ВК и горизонтальной вертушкой типа ВВ

Тип водосчетчика	Калибр в *мм*	Характерный расход в *м³/ч*	Допустимая нагрузка в *м³/ч*			
			наименьшая	непрерывная работа	при работе 16 ч в сутки	кратковременная
ВК-3	15	3	0,26 / 0,2	0,35 / 0,5	0,42 / 0,6	1,05 / 1,5
ВК-5	20	5	0,36 / 0,26	0,56 / 0,8	0,7 / 1	1,75 / 2,5
ВК-10	30	10	0,52 / 0,4	1,2 / 1,7	1,4 / 2	3,5 / 5
ВК-20	40	20	1,04 / 0,8	2,3 / 3,3	2,8 / 4	7 / 10
ВВ-50	50	70	5 / 3,5	8 / 13	10 / 16	20 / 35
ВВ-70	80	250	10 / 5	25 / 46	30 / 55	60 / 110
ВВ-100	100	440	20 / 7	42 / 73	50 / 87	100 / 175
ВВ-150	150	1000	40 / 10	104 / 158	125 / 190	250 / 380

Примечание. Цифры, стоящие в числителе, относятся к горячеводным водосчетчикам (с металлической вертушкой), в знаменателе — к холодноводным. (Приведенные цифры ориентировочные).

При дистанционной передаче показаний дифференциальных манометров и манометров типа МУЭ применяют вторичные приборы (табл. 20.6).

В тепловых пунктах потребителей водяных сетей небольшой и средней мощности расход воды обычно измеряют с помощью горячеводных водосчетчиков Водосчетчики подбирают по табл. 20 7. Расход тепла в данном случае определяют умножением показаний водосчетчика на среднюю разность температур подающего и обратного трубопроводов.

Более совершенен учет отпуска тепла потребителям водяных тепловых сетей с помощью теплосчетчиков.

Механический теплосчетчик ТС-1 включает в себя обычный скоростной водосчетчик и термометрическую часть (собственно теплосчетчик). Номинальная погрешность теплосчетчика при разности температур от 20 до 100° С не превышает ±4% (без учета погрешности водосчетчика)

Для обеспечения необходимого пропуска воды по импульсным трубкам теплосчетчика на подающем и обратном трубопроводах устанавливают дроссельные шайбы.

Подбор диаметра дроссельных шайб к теплосчетчикам ТС-1 можно производить по графику $\frac{d}{D} = f(V, D)$ (рис. 20.1).

Сигнализаторы уровня, являющиеся бесшкальными приборами, предназначены для работы в цепях технологической сигнализации или защиты конденсатных и дренажных насосных (табл. 20.8).

Таблица 20.8

Основные типы сигнализаторов уровня

Тип сигнализатора	Наименование	Рассчитаны на изменение уровня
ПШ	Сигнализатор уровня поплавковый штуцерный	До 365 *мм*
ПФ	То же, фланцевый	» 365 »
ПК	» камерный	» 250 »
РП-40	Поплавковое реле (принципиально аналогично сигнализатору типа ПК)	От 20 до 150 *мм*
РП-51	Поплавковое реле для установки в открытых резервуарах	» 0,5 » 10 *м*

Приборы ПШ, ПФ, ПК выпускаются каждый в двух модификациях: СУ-4 — для невзрывоопасных условий и СУВЗГ-4 — для взрыво- и пожароопасных условий.

20.2. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Автоматизация подпиточного устройства

Автоматизированные подпиточные устройства поддерживают постоянное или изменяющееся по определенному закону давление воды в точке подпитки сети. Для тепловых сетей с относительно небольшими потерями напора в магистралях и благоприятным профилем местности давление в точке подпитки при всех режимах (включая режим при остановленных сетевых насосах) поддерживается постоянным. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики подпитки закрытой тепловой сети приведена на рис. 20.2.

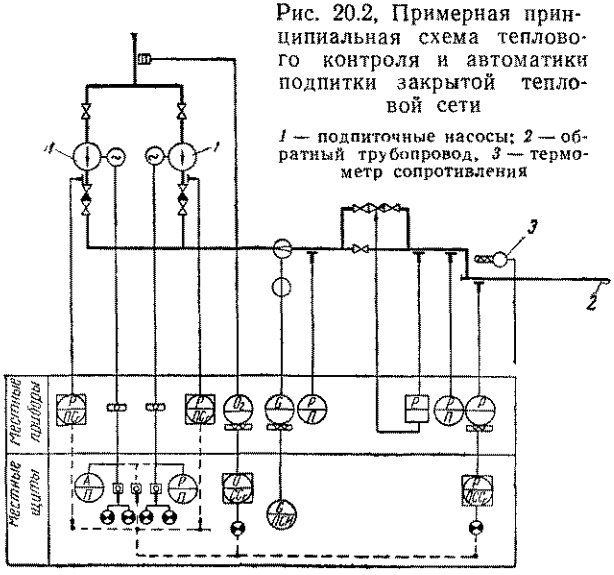


Рис. 20.2. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики подпитки закрытой тепловой сети

1 — подпиточные насосы; *2* — обратный трубопровод, *3* — термометр сопротивления

Схемой предусмартривается поддержание постоянного давления в обратном коллекторе перед сетевыми насосами при помощи регулятора давления «после себя» (регулятора подпитки), установленного на трубопроводе подпиточной воды.

В случае, когда статическое давление тепловой сети превышает давление в обратном коллекторе ТЭЦ при работе сетевых насосов, перестройка на статическое давление осуществляется вручную [1].

Давление воды измеряют в напорных патрубках подпиточных насосов местными показывающими и сигнализирующими манометрами, дающими импульс на включение резервного насоса, а в обратном коллекторе — показывающими, самопишущими и сигнализирующим манометрами на местном щите. На местном щите предусматривают также установку вторичного прибора показывающего, самопишущего и сигнализирующего расходомера для измерения расхода подпиточной воды и вторичного прибора самопишущего и сигнализирующего кислородомера для измерения содержания кислорода в подпиточной воде. Термометр сопротивления на подпиточной линии подключают к общему самопишущему прибору, регистрирующему одновременно температуры сетевой воды.

В открытых тепловых сетях при установке на станции центральных баков-аккумуляторов давление в обратном трубопроводе регулируют автоматически двумя регулирующими клапанами, из которых первый установлен на перепускном трубопроводе избыточной сетевой воды к балкам-аккумуляторам, а второй — на трубопроводе от баков-аккумуляторов после перекачивающих насосов. Принципиальная схема теплового контроля и автоматики подпитки открытой тепловой сети приведена на рис. 20.3.

В часы, когда нагрузка горячего водоснабжения ниже среднесуточной, перекачивающие насосы отключены, и давление в обратном трубопроводе регулируется первым клапаном В часы, когда нагрузка горячего водоснабжения выше среднесуточной, автоматически включаются перекачивающие насосы, закрывается первый регулирующий клапан, и регулятор давления переключается на регулирующий клапан, установленный после перекачивающих насосов.

Для обеспечения постоянного расхода подпиточной воды в открытой тепловой сети на напорном трубопроводе подпиточных насосов устанавливается регулятор расхода.

Уровень воды в деаэраторном баке подпитки поддерживается регулирующим клапаном на линии химически очищенной воды.

Если вместо вакуумного деаэратора, работающего на скользящем давлении, будет применен атмосферный, то дополнительно устанавливают регулятор, поддерживающий постоянное давление в колонке деаэратора (на рис. 20.3 не указан).

Схема предусматривает аварийную остановку рабочих подпиточного и перекачивающего насосов и автоматическое включение резервных, а также сигнализацию давления в обратном трубопроводе уровня в баке деаэратора подпитки и баках-аккумуляторах сетевой воды и содержания кислорода в подпиточной воде. Термометр сопротивления на подпиточной линии подключают к общему самопишущему прибору (аналогично предыдущей схеме).

Принятые в схеме рис. 20.3 электронные регуляторы могут быть заменены гидравлическими.

[1] В данном случае возможно применение специальных схем (двухимпульсной и др.), обеспечивающих автоматическую перестройку на статическое давление

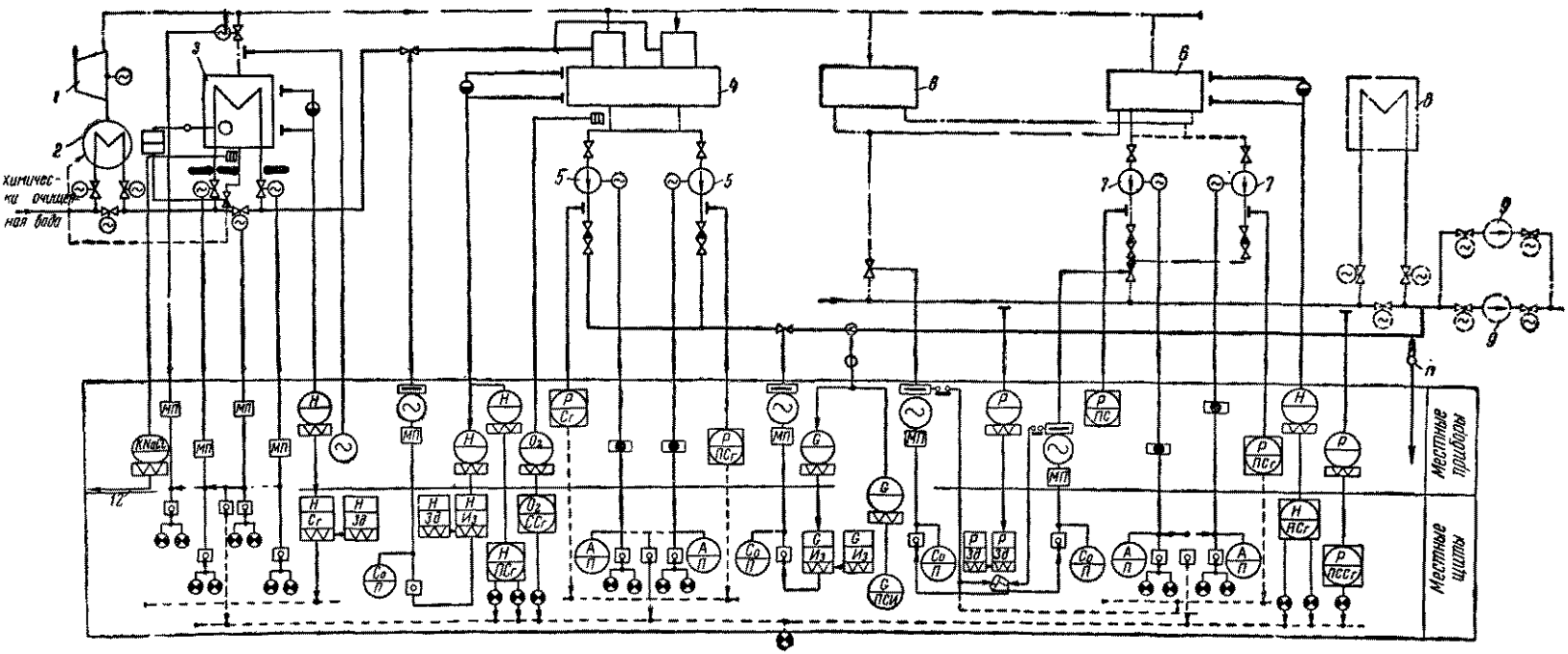


Рис. 20.3. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики подпитки открытой тепловой сети

1 — турбина; *2* — конденсатор; *3* — подогреватель подпитки; *4* — вакуумный деаэратор; *5* — подпиточные насосы; *6* — баки-аккумуляторы; *7* — перекачивающие насосы; *8* — сетевой подогреватель; *9* — сетевые насосы; *10* — обратный трубопровод тепловой сети; *11* — термометр сопротивления; *12* — линия к самопишущему солемеру

Автоматизация сетевых подогревателей

Заданную температуру сетевой воды за пиковыми подогревателями поддерживают с помощью регулятора температуры за счет дросселирования греющего пара (рис. 20.4). Температуру воды в подающем трубопроводе задают вручную согласно диспетчерскому графику.

При повышении солесодержания или уровня конденсата при разрыве трубок соответствующий подогреватель автоматически отключается.

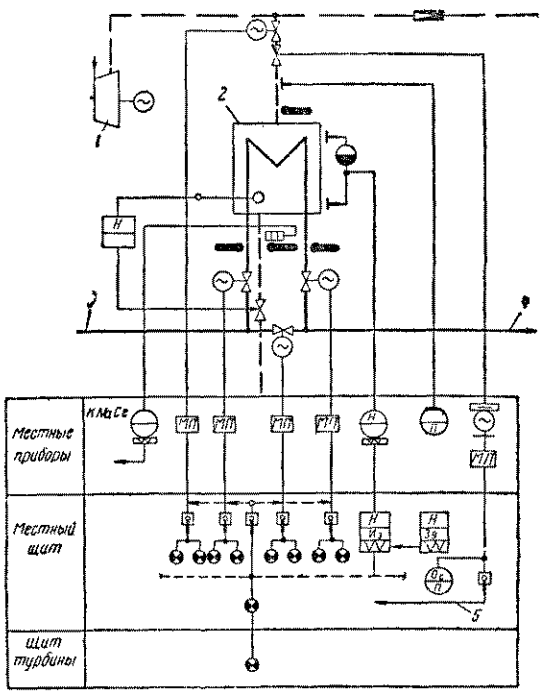


Рис. 20.4. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики пикового сетевого подогревателя

1 — турбина; *2* — пиковый сетевой подогреватель; *3* — трубопровод от основных подогревателей; *4* — подающий трубопровод, *5* — линия к электронному регулятору температуры сетевой воды

Автоматическое регулирование температуры сетевой воды после основных подогревателей (при выключенных пиковых подогревателях) следует осуществлять перепуском части воды помимо подогревателей.

Автоматизация насосных

Автоматизацию подкачивающих и смесительных насосных тепловых сетей предусматривают в объеме, обеспечивающем нормальную и безаварийную их работу без постоянного присутствия дежурного персонала.

Автоматизация подкачивающей насосной на подающем трубопроводе обычно предусматривается (рис. 20.5) в следующем объеме:

а) блокировка насосных агрегатов для автоматического включения резервного насоса при аварийном отключении рабочего;

б) блокировка электродвигателя насоса и задвижки на его напорном патрубке для автоматического закрытия задвижки рабочего насоса при его аварийном отключении и одновременном открытии задвижки у резервного насоса при его включении (применяется, когда пуск насосов при открытой задвижке не рекомендуется),

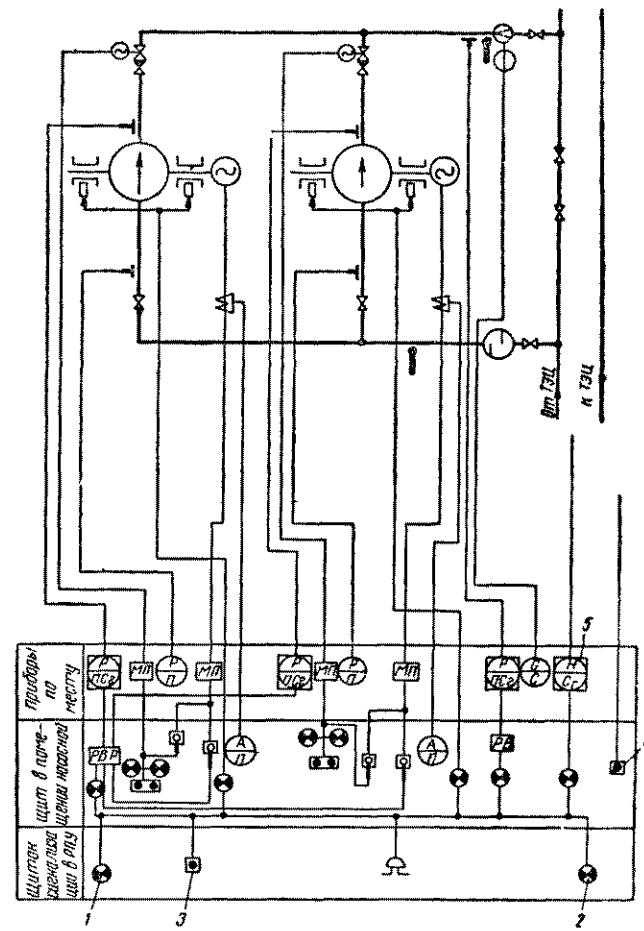


Рис. 20.5. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики подкачивающей насосной на подающем трубопроводе

1 — лампа сигнализации неисправности в насосной; *2* — лампа сигнализации нормальной работы насосной; *3* — кнопка включения схемы сигнализации и гашения звукового сигнала; *4* — кнопка проверки ламп; *5* — сигнализатор уровня воды в дренажном приямке

в) автоматическое включение резервного насоса при падении давления в напорном патрубке работающего;

г) автоматическое переключение на резервный источник питания при исчезновении напряжения основного источника питания, для чего питание электроэнергией насосной предусматривается двумя фидерами от двух независимых источников (от кольца или от двух трансформаторных пунктов);

д) сигнализация о неисправности подкачивающей насосной на местном щите управления (превышение допустимой температуры в подшипниках, автоматическое

включение резервного насоса, понижение давления воды в подающем трубопроводе после насосов и превышение допустимого уровня воды в дренажном приямке) и в районный пункт управления тепловой сети.

В некоторых случаях при перегреве подшипников не ограничиваются только сигнализацией и предусматривают автоматическое отключение работающего насоса.

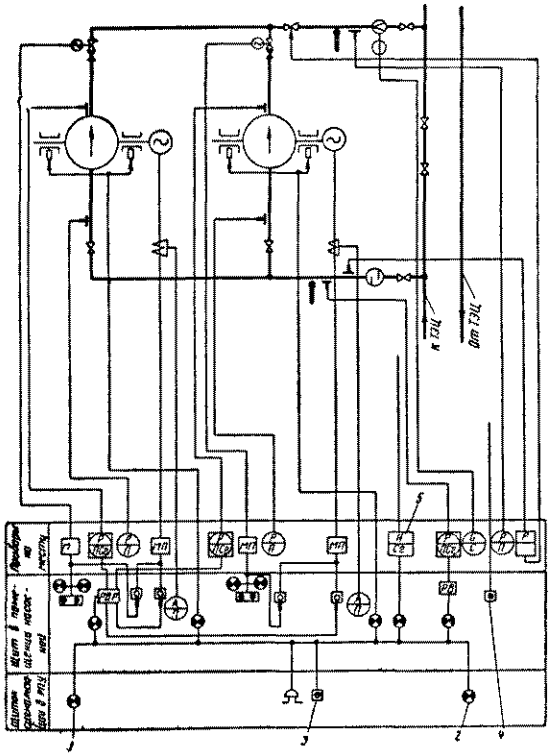


Рис. 20.6. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики подкачивающей насосной на обратном трубопроводе

1 — лампа сигнализации неисправности в насосной; *2* — лампа сигнализации нормальной работы насосной; *3* — кнопка включения схемы сигнализации и гашения звукового сигнала; *4* — кнопка проверки ламп; *5* — сигнализатор уровня воды в дренажном приямке

Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики подкачивающей насосной на обратном трубопроводе представлена на рис. 20.6. Данная схема отличается от схемы теплового контроля и автоматики подкачивающей насосной на подающем трубопроводе установкой дополнительного регулятора, который поддерживает постоянное давление в общем всасывающем трубопроводе.

К этому же всасывающему трубопроводу подключается сигнализатор давления (на общем напорном трубопроводе его не устанавливают).

Схема теплового контроля и автоматики смесительной насосной (рис. 20.7) предусматривает установку регулятора температуры, который поддерживает заданную температуру смешанной воды за насосной путем изменения количества подмешиваемой воды из обратного трубопровода. Перестановка задатчика регулятора температуры в рассматриваемой схеме ручная, однако может быть осуществлено автоматическое изменение задаваемой температуры смешанной воды в зависимости от температуры наружного воздуха. В остальной части схема теплового контроля и автоматики смесительной насосной аналогична схеме, изображенной на рис. 20.5, за исключением того, что для смесительной насосной не устанавливают сигнализатор давления на общем трубопроводе.

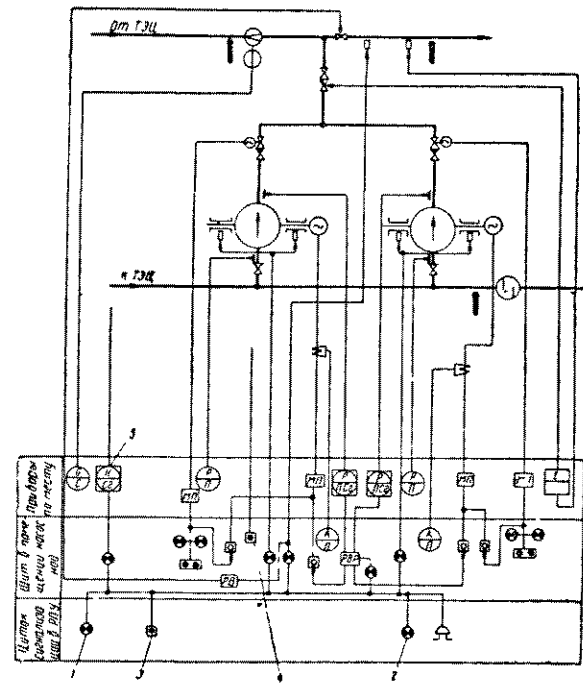


Рис. 20.7. Примерная принципиальная схема теплового контроля и автоматики смесительной насосной

1 — лампа сигнализации неисправности в насосной; *2* — лампа сигнализации нормальной работы насосной; *3* — кнопка включения схемы сигнализации и гашения звукового сигнала; *4* — кнопка проверки ламп; *5* — сигнализатор уровня воды в дренажном приямке

Автоматическая защита водяных тепловых сетей

Устройства автоматической защиты тепловых сетей от повышенного давления пока еще только начинают внедряться. В настоящее время имеется несколько установок защиты с применением гидравлических устройств, выполненных по разработке ОРГРЭСа.

Автоматическая защита тепловой сети при аварийном выключении сетевых насосов на станции рассекает тепловую сеть на две независимые зоны: верхнюю (с повышенным статическим давлением) и нижнюю (с пониженным статическим давлением).

На рис. 20 8 приведена примерная принципиальная схема автоматической защиты тепловой сети от давления при остановке сетевых насосов для случая, когда зона повышенного статического давления расположена со стороны ТЭЦ.

При повышении давления в обратной линии сверх заданного автомат рассечки закрывается в течение 6—12 *сек* и одновременно закрывается обратный клапан,

Подпитку нижней зоны при срабатывании автомата рассечки производят перепуском воды из обратной магистрали верхней зоны в нижнюю. Автоматическое регулирование подпитки осуществляют с помощью двухимпульсного регулятора давления. Основным импульсом является давление в обратном трубопроводе нижней зоны, а разрешающим импульсом — давление в подающем трубопроводе нижней зоны.

Автоматическая защита тепловых сетей от повышенного давления при остановке сетевых насосов для случая, когда зона пониженного статического давления расположена со стороны ТЭЦ, в отличие от рассмотренной выше схемы должна дополнительно иметь подпиточные насосы. Места установки автоматической защиты тепловой сети целесообразно объединять с подкачивающими и смесительными насосными, а также с местами установки регуляторов давления на обратном трубопроводе сети.

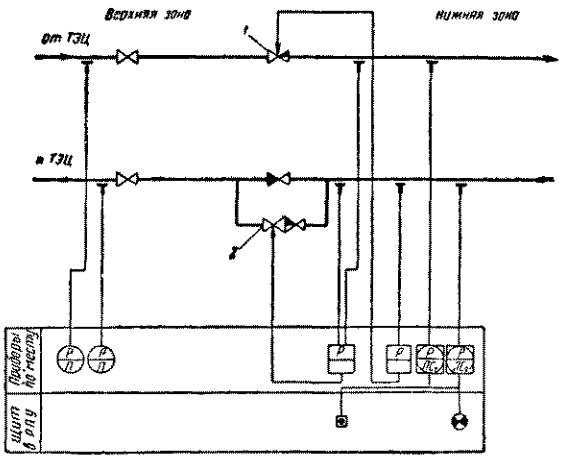


Рис. 20.8. Примерная принципиальная схема автоматической защиты тепловой сети от давления при остановке сетевых насосов

1 — автомат рассечки; *2* — линия подпитки нижней зоны

Автоматизация тепловых пунктов водяных тепловых сетей

Для двухтрубных закрытых водяных тепловых сетей с параллельным включением подогревателей горячего водоснабжения автоматизация тепловых пунктов потребителей (рис. 20.9) решает следующие задачи: поддерживает постоянное давление в обратном трубопроводе отопительных систем для высоких и высокорасположенных зданий с помощью регулятора давления (подпора); поддерживает постоянный расход сетевой воды для отопительной системы с помощью регулятора расхода (перепада давления) при применении качественного регулирования и значительного колебания разности давлений между подающим и обратным трубопроводами; поддерживает постоянную температуру воды, поступающей в систему горячего водоснабжения (температуру местной воды после подогревателя).

Рассматриваемая схема может быть применена как для элеваторного, так и насосного смешения тепловых пунктов зданий, а также для центральных тепловых пунктов.

Автоматизация отопительных систем обеспечивает поддержание в заданных пределах температуры внутреннего воздуха. Разработанные для этой цели опытные конструкции индивидуальных регуляторов температуры наиболее полно решают поставленную задачу, но установка больших количеств этих регуляторов встречает значительные трудности. Более простым, но и более грубым методом регулирования температуры внутреннего воздуха является применение регуляторов местных пропусков, которые устанавливают на тепловых пунктах (на рисунке регулятор не показан) В опытной конструкции такого регулятора типа Теплосеть Мосэнерго в качестве импульса принималась внутренняя температура одного-двух помещений отапливаемого здания, однако здесь могут быть приняты и другие решения. Установка регуляторов местных пропусков является особенно целесообразной при значительной длительности периода регулирования двухтрубной закрытой тепловой сети с постоянной минимальной температурой воды в подающем трубопроводе, а также в зданиях без горячего водоснабжения в случае регулирования сети по повышенному температурному графику при последовательной двухступенчатой схеме горячего водоснабжения у большинства потребителей.

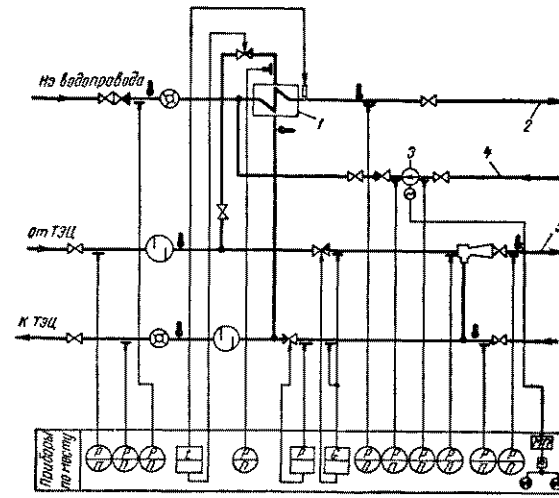


Рис. 20 9. Примерная схема теплового контроля и автоматики теплового пункта потребителя при закрытой тепловой сети с параллельным включением подогревателей горячего водоснабжения

1 — подогреватель горячего водоснабжения, *2* — трубопровод местной горячей воды; *3* — циркуляционный насос; *4* — циркуляционный трубопровод; *5* — подающий трубопровод системы отопления

Примерная схема теплового контроля и автоматики теплового пункта потребителя при закрытой тепловой сети с двухступенчатой схемой (последовательной или смешанной) горячего водоснабжения приведена на рис. 20.10 При включении теплового пункта по двухступенчатой последовательной схеме горячего водоснабжения задвижки *7*, *8*, *9*, *10* открыты, а *11*, *12* — закрыты. При включении теплового пункта по смешанной схеме горячего водоснабжения задвижки *7*, *9*, *10*, *12* открыты, а *8*, *11* закрыты

Схема теплового контроля и автоматики для рассматриваемого случая практически остается такой же,

как для теплового пункта здания при закрытой тепловой сети с параллельным включением подогревателей горячего водоснабжения.

Для двухступенчатой последовательной схемы горячего водоснабжения с регулированием температуры воды в подающем трубопроводе по отопительному графику разрабатывается дополнительное устройство в схеме автоматики для снижения расхода сетевой воды по мере понижения температуры наружного воздуха.

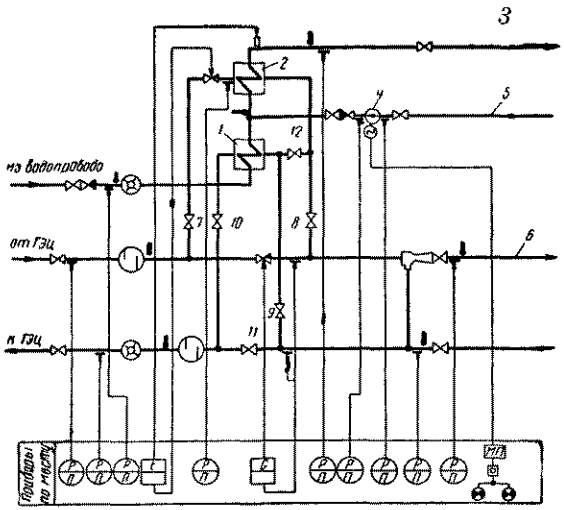


Рис. 20.10. Примерная схема теплового контроля и автоматики теплового пункта потребителя при закрытой тепловой сети с двухступенчатой схемой (последовательной или смешанной) горячего водоснабжения

1 — ступень I подогревателя горячего водоснабжения; *2* — ступень II подогревателя; *3* — трубопровод местной горячей воды; *4* — циркуляционный насос; *5* — циркуляционный трубопровод; *6* — подающий трубопровод системы отопления; *7, 8, 9, 10, 11, 12* — задвижки

Примерная схема теплового контроля и автоматики теплового пункта потребителя при открытой тепловой сети, работающей по скорректированному температурному графику, приведена на рис. 20.11.

Рассматриваемая схема автоматики обеспечивает поддержание постоянного расхода сетевой воды в общем подающем трубопроводе теплового пункта и постоянной температуры смешанной воды, поступающей в систему горячего водоснабжения.

В случае низкого давления в обратном трубопроводе тепловой сети необходима установка регулятора давления (подпора) в тепловом пункте потребителя или в тепловой сети.

Если в открытой тепловой сети регулирование ведется с переменным расходом воды в общем подающем трубопроводе, регулятор расхода на тепловом пункте не устанавливается.

Примерная схема приточной вентиляции, приведенная на рис. 20.12, обеспечивает: поддержание постоянной температуры воздуха, подаваемого вентилятором в помещение, изменением расхода сетевой воды; автоматическое выключение вентилятора и закрытие створчатого воздушного клапана в случае понижения температуры воздуха, поступающего в помещение, ниже заданного минимума.

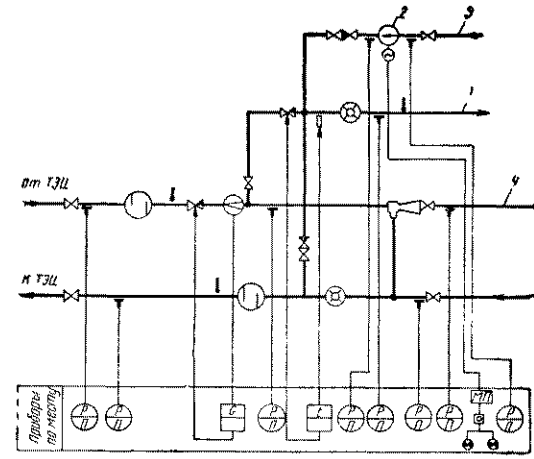


Рис. 20.11. Примерная схема теплового контроля и автоматики теплового пункта потребителя при открытой тепловой сети

1 — трубопровод местной горячей воды; *2* — циркуляционный насос; *3* — циркуляционный трубопровод. *4* — подающий трубопровод отопительной системы

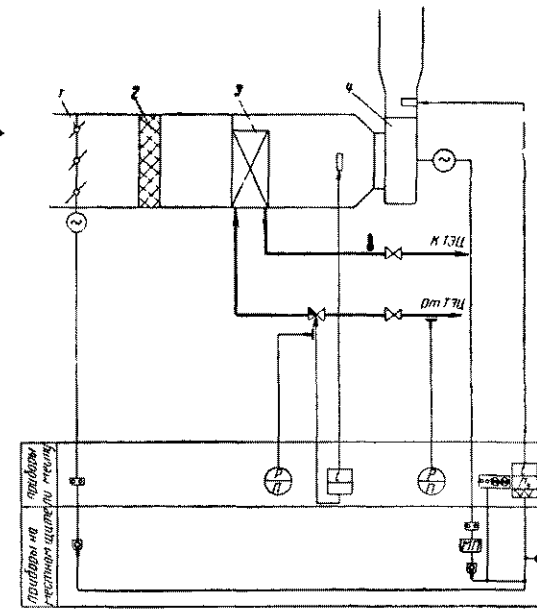


Рис. 20.12. Примерная схема теплового контроля и автоматики приточной вентиляционной камеры

1 — створчатый воздушный клапан; *2* — фильтр; *3* — калорифер; *4* — вентилятор, подающий воздух в помещение

Автоматизация тепловых пунктов потребителей пара и дренажных насосных

Основными задачами автоматизации тепловых пунктов потребителей пара являются поддержание постоянного давления пара у потребителей и управление откачкой конденсата из конденсатных баков паровых потребителей

Примерная схема теплового контроля и автоматики редукционной установки приведена на рис. 20.13. Давление пара поддерживается на заданном уровне изменением притока пара с помощью дроссельного клапана.

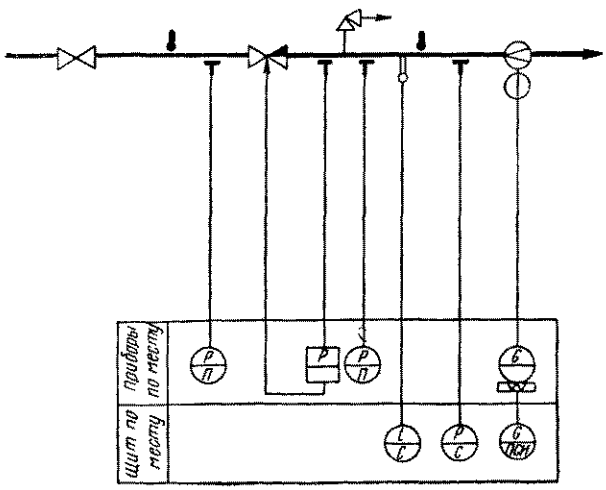


Рис. 20.13 Примерная схема теплового контроля и автоматики редукционной установки

Примерная схема теплового контроля и автоматики конденсатной насосной при закрытой схеме сбора и возврата конденсата приведена на рис. 20 14. В рассматриваемой установке предусматриваются:

а) автоматическое включение рабочего конденсатного насоса при уровне *5* и резервного — при верхнем уровне *4*;

б) автоматическое отключение насосов при уровне *6*;

в) поддержание заданного давления паровой подушки в баке с помощью регулятора давления;

г) защита конденсатных баков от повышенного давления,

д) сигнализация на диспетчерский пункт о нормальной работе насосной, а также о повышенном давлении в баке, повышенном солесодержании конденсата, повышенной температуре подшипников и о достижении конденсатом верхнего уровня *4* или нижнего уровня *7*.

Закрытые схемы сбора и возврата конденсата иногда выполняются с охлаждением конденсата в охладителях и с автоматическим регулированием температуры воды, нагреваемой конденсатом (на рисунке не указано).

Схемы теплового контроля и автоматики открытых систем сбора и возврата конденсата не имеют регулятора давления паровой подушки, а в остальном принципиально не отличаются от рассмотренной выше схемы. Схема теплового контроля и автоматики дренажной насосной, приведенная на рис. 20 15, принципиально аналогична схеме конденсатной насосной при открытой системе сбора и возврата конденсата Автоматическое включение рабочего насоса происходит при уровне *4* и резервного — при верхнем уровне *3*, а автоматическое отключение насосов — при уровне *5*. При достижении верхнего уровня *3* или нижнего уровня *6* действует сигнализация

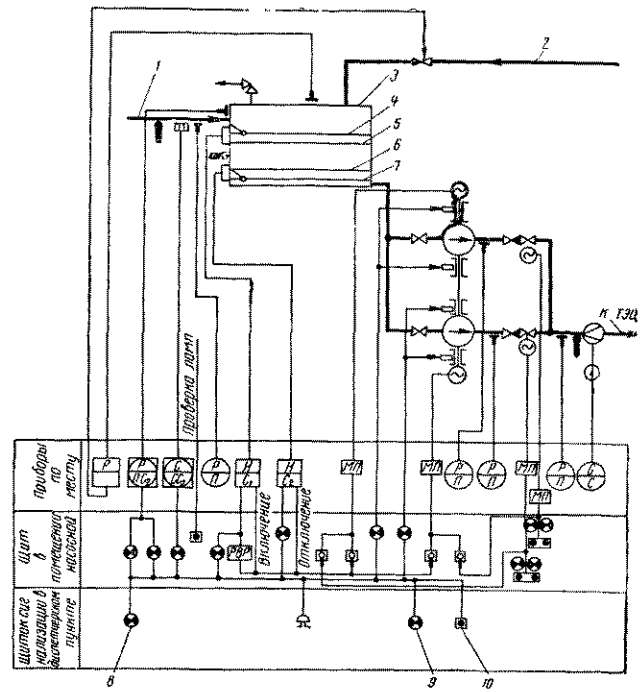


Рис. 20.14. Примерная схема теплового контроля и автоматики конденсатной насосной

1 — трубопровод конденсата с производства; *2* — паропровод; *3* — конденсатный бак. *4—7* — уровни конденсата; *8* — лампа сигнализации неисправности в насосной, *9* — лампа сигнализации нормальной работы насосной; *10* — кнопка включения схемы сигнализации и гашения звукового сигнала

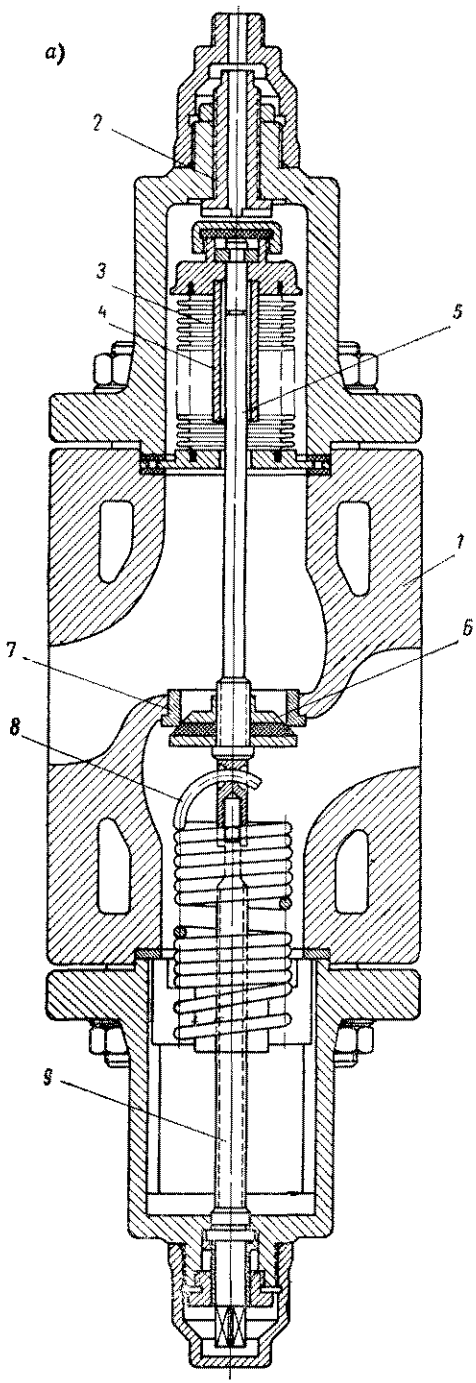
20.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕГУЛЯТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Регуляторы расхода воды прямого действия типа РР (рис. 20 16, *а*) предназначены для поддержания постоянного расхода воды (постоянного перепада давления) в тепловых пунктах зданий. Чувствительным элементом и одновременно сервоприводом регулятора является стальной сильфон. Корпус регулятора чугунный; рабочее давление 10 *кгс/см*^{2}; температура теплоносителя до 150° С.

Основные данные по регуляторам типа РР приведены в табл. 20.9.

Подбор регуляторов расхода прямого действия типа РР производят по табл 20.10.

Регулятор типа РР может быть использован в качестве регулирующего клапана с сильфонным приводом для регуляторов непрямого действия (температуры, давления и расхода).



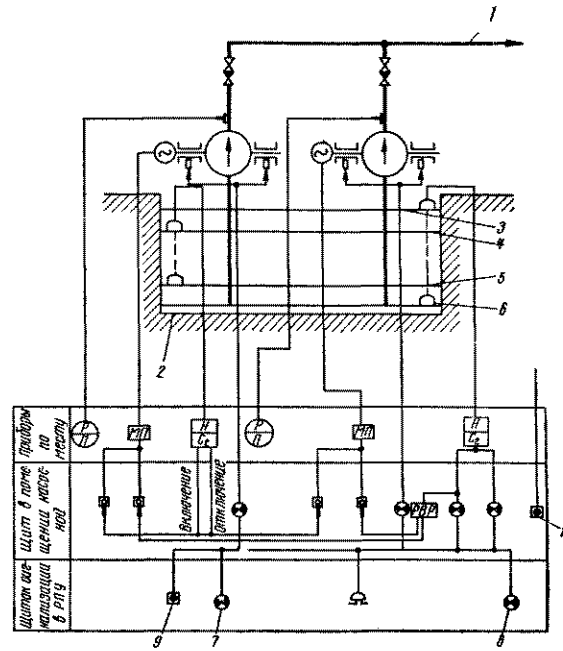


Рис. 20.15. Примерная схема теплового контроля и автоматики дренажной насосной

1 — трубопровод для сброса воды в канализацию или наружу; *2* — дренажный приямок, *3, 4, 5, 6* — уровни воды; *7* — лампа сигнализации неисправности в насосной; *8* — лампа сигнализации нормальной работы насосной; *9* — кнопка включения схемы сигнализации и гашения звукового сигнала, *10* — кнопка проверки ламп

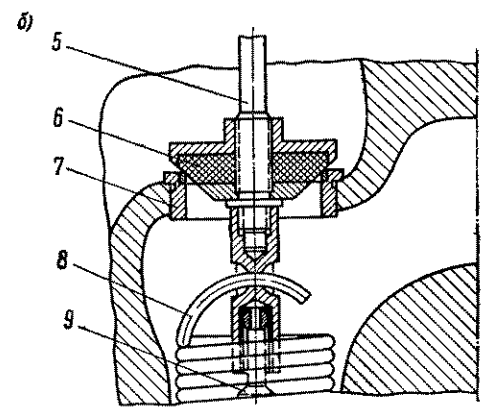


Рис. 20.16. Регуляторы с сильфонным приводом

а — регуляторы расхода воды прямого действия типа РР; *б* — регуляторы давления прямого действия типа РД; *1* — корпус; *2* — ограничитель закрытия золотника *3* — сильфон; *4* — ограничитель подъема золотника, *5* — шток; *6* — золотник (клапан); *7* — седло; *8* — пружина; 9 — винт натяжной

В закрытом состоянии пропуск клапана практически отсутствует.

Регуляторы давления (подпора) прямого действия типа РД (рис. 20.16, *б*) предназначены для поддержания постоянного давления в обратном трубопроводе тепловых пунктов зданий (перед регулятором).

Регулятор давления типа РД отличается от регулятора расхода типа РР измененным положением золотника, отсутствием ограничителя закрытия золотника и более жесткой пружиной.

Таблица 20.9

Регуляторы типа РР

Диаметр условного прохода в *мм*	Диаметр горловины седла в *мм*	Максимальный ход клапана в *мм*	Сильфон		Размеры корпуса в *мм*		Удельная пропускная способность по воде при $\Delta p_к = 1$ *ат* в *т/ч**
			наружный диаметр в *мм*	эффективная площадь в *см²*	длина	высота	
25	21,2	4	27	3,88	100	405	5
40	37,7	7	45	12	130	520	15
50	43,6	9	52	15,8	150	584	23
80	68	10	78	36,8	350	750	52
100	76	15	100	60	450	840	82

* Удельная пропускная способность (пропускная способность при потере давления в клапане $\Delta p_к = 1$ *ат*) приведена для полностью открытого клапана.

Таблица 20.10

Подбор регуляторов расхода прямого действия типа РР

Расход воды в *т/ч*	Регулируемый перепад давлений в *ат* для условных диаметров прохода корпуса в *мм*				
	25	40	50	80	100
0	2,2	1,8	—	—	—
2	1,9	1,6	2	—	—
4	—	1,4	1,9	—	—
6	—	—	1,7	—	—
8	—	—	1,6	2,1	—
10	—	—	1,5	2	—
15	—	—	—	1,9	—
20	—	—	—	1,7	1,8
25	—	—	—	1,6	1,7
30	—	—	—	1,5	1,7
35	—	—	—	—	1,6
40	—	—	—	—	1,5
45	—	—	—	—	1,5
50	—	—	—	—	1,4

Примечание. Регулируемый перепад дается при полном натяжении пружины.

Корпус регулятора чугунный; рабочее давление 10 *кгс/см²*; температура теплоносителя до 150° С.

Регуляторы давления типа РД выпускаются мелкими партиями с диаметром условного прохода 50 *мм* (диаметр горловины седла 44 *мм*) на предельное регулируемое давление 5 *кгс/см²*.

Неравномерность 0,55—0,75 *кгс/см²* при изменении расхода воды от 0 до 10 *т/ч*. В закрытом состоянии пропуск клапана практически отсутствует.

Регуляторы давления прямого действия грузовые отличаются от регуляторов давления типа РД тем, что в них пружина заменена грузом и добавлена демпфирующая камера для предотвращения вибраций. Регуляторы выпускаются мелкими партиями с диаметрами условного прохода 50, 80 и 100 *мм*. Неравномерность 0,5—0,8 *кгс/см²* при изменении расхода от 0 до номинального.

Регуляторы температуры прямого действия РПД используются для поддержания в заданных пределах температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения. Термобаллон регулятора заполнен жидкостью, температура кипения которой при соответствующем давлении немного ниже заданного значения регулируемой температуры. При изменении последней изменяется давление насыщенных паров этой жидкости, что приводит к перемещению регулирующего органа. В случае прохождения через клапан греющей среды с повышенной температурой необходимо предусматривать искусственное охлаждение сильфонной головки регулятора.

Регуляторы изготовляются на следующие диапазоны регулируемой температуры: 30—40, 40—50; 50—60; 60—70; 70—80; 80—90; 90—100; 100—110° С. Термобаллон и корпус рассчитаны на условное давление 10 *кгс/см²*. Основные данные по этим регуляторам приведены в табл. 20.11.

Изменение температуры, необходимое для перемещения золотника из одного крайнего положения в другое (неравномерность), составляет 10° С.

Пропуск клапана в закрытом состоянии при перепаде 2 *кгс/см²* составляет для золотника с уплотнительными конусами до 0,2 *л/мин* и для золотника без конусов — до 1,2 *л/мин*.

Таблица 20.11

Регуляторы температуры типа РПД

Диаметр условного прохода	Размеры клапана в *мм*		Диаметр золотника в *мм*			
			с уплотнением		без уплотнения	
	высота	длина	верхний	нижний	верхний	нижний
1″	326	140	26	24	25	25
1½″	345	170	50	48	50	50
2″	345	185	50	48	50	50

Из-за неплотного закрытия золотника, большой неравномерности, частых нарушений герметичности термометрической системы регуляторы РПД находят весьма ограниченное применение в тепловых сетях.

Регуляторы температуры типа ТРЖ-3 (рис. 20.17) предназначены для поддержания постоянной температуры смешанной воды при непосредственном водоразборе и работают на гидравлическом двухсопловом принципе. Термобаллон регулятора заполняется трансформаторным маслом. Вызванное изменением температуры смешанной воды перемещение дна сильфона термобаллона используется для управления пропуском управляющей воды через напорное и сливное сопла. В качестве управляющей воды используется вода из подающего трубопровода, которая после прохождения напорного и сливного сопел сливается в трубопровод смешанной воды. Неравномерность регулятора 2—4° С. Подбор регуляторов температуры воды типа ТРЖ производится по табл. 20.12

Регуляторы выпускаются диаметром 25 и 40 *мм*. В настоящее время разработаны ОРГРЭС усовершенствованные регуляторы температуры типа ТРД.

Регуляторы температуры воды Теплосети Мосэнерго-ОРГРЭС предназначены для поддержания постоянной температуры местной воды, выходящей из подогревателей горячего водоснабжения, и являются гидравлическими регуляторами дроссельного типа. В комплект регулятора входят: термореле и дроссельная шайба (измерительный и командно-усилительный орган), регулирующий клапан с сильфонным приводом типа РР (обычный регулятор типа РР, см. рис. 20.16, *а*), фильтр и охладитель управляющей воды.

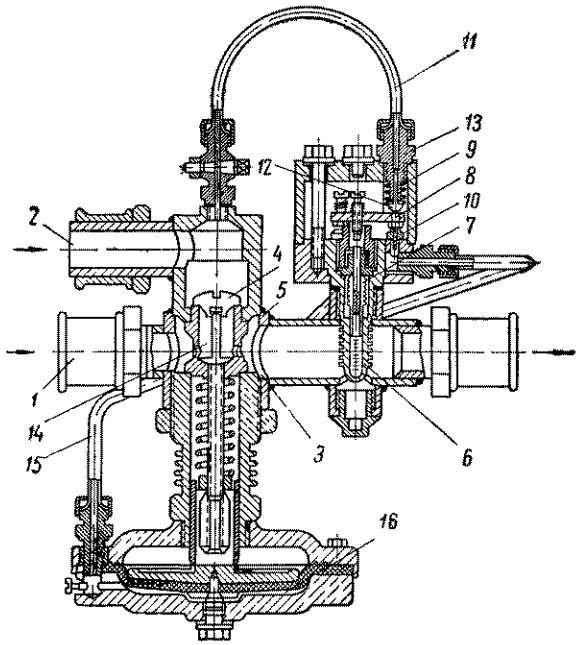


Рис. 20.17. Регулятор температуры типа ТРЖ

1 — патрубок для входа холодной воды; *2* — патрубок для входа горячей воды; *3* — камера смешения; *4* — золотник клапана; *5* — ограничительные отверстия золотника; *6* — термобаллон; *7* — сильфон; *8* — рычаг; *9* — напорное сопло; *10* — сливное сопло; *11* — импульсная трубка; *12* — шариковый клапан; *13* — камера управляющего давления реле; *14* — внутренняя камера золотника; *15* — импульсная трубка; *16* — нижняя камера мембранного исполнительного механизма

Термореле применяется типа БТР-2 с биметаллическим чувствительным элементом конструкции Теплосеть Мосэнерго, но могут применяться также термореле других типов. Неравномерность биметаллического термореле типа БТР-2 составляет 6—9° С, слив управляющей воды 3—8 *л/ч*.

В качестве управляющей воды используется вода из подающего трубопровода.

Регулирующий клапан с сильфонным приводом для регулятора температуры подбирается по графику, приведенному на рис. 20.18.

Гидравлический регулятор типа РД-3а может быть применен для автоматического регулирования давления, расхода (перепада давления) и уровня воды, а также для регулирования давления пара.

Регулятор комплектуется из релейного устройства РД-3а, разработанного ОРГРЭС, и регулирующего клапана с мембранным сервоприводом.

Релейное устройство состоит из стандартных узлов, комбинация которых подбирается при сборке в зависимости от назначения регулятора. Одна из модификаций сборки реле приведена на рис. 20.19. В качестве управляющей среды используется водопроводная или сетевая вода, а также конденсат. Слив сетевой воды 50—100 *л/ч*.

При использовании в качестве управляющей среды сетевой воды целесообразно применять схему с перепуском этой воды (бессливную схему), используя разность давлений между подающим и обратным трубопроводами или перепад давления в регулирующем клапане. Минимальный перепад давления в регулирующем клапане в этом случае должен составлять не менее 0,2—0,3 *кгс/см²*.

Области применения регулятора:

а) при регулировании давления — от вакуума 400 *мм рт. ст.* до избыточного давления 8 *кгс/см²*;

б) при регулировании уровня в баках — до избыточного давления 8 *кгс/см²*.

Пределы отклонений регулируемых параметров:

а) по давлению — от ±0,03 до ±0,08 *кгс/см²*;

б) по перепаду давлений (расходу) — ±0,07 *кгс/см²*;

в) по уровню — от 50 до 250 *мм вод. ст.*

Релейные устройства типа РД-3а выпускают мелкими партиями. Для работы в комплекте с релейным

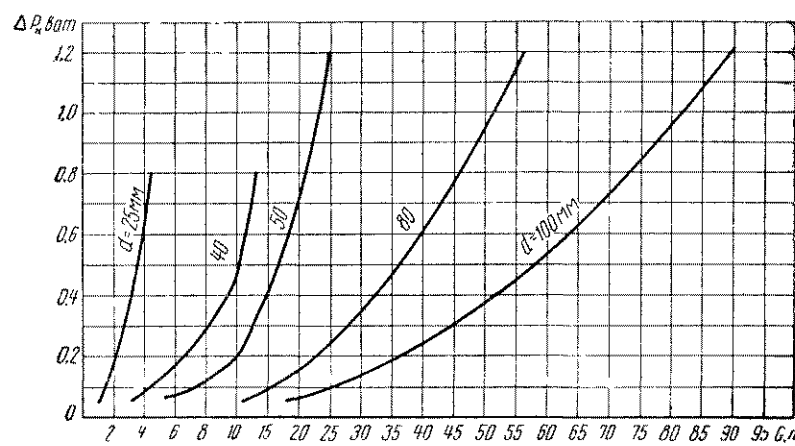


Рис. 20.18. График для подбора диаметра регулирующего клапана с сильфонным приводом типа РР

d — диаметр условного прохода в *мм*; *G* — расход воды в *т/ч*; $\Delta p_к$ — перепад давлений в регулирующем клапане в *ат*

Таблица 20 12

Таблица для подбора регуляторов температуры воды типа ТРЖ

Расчетный расход воды		Диаметр ограничительного отверстия в *мм*	Расчетный перепад давлений в клапане в *кгс/см²*													
			1		2		3		4		5		6		7	
в *л/сек*	в *т/ч*		*D*	*n*	*D*	*n*	*D*	*n*	*D*	*n*	*D*	*n*	*D*	*n*	*D*	*n*
Условный диаметр корпуса d_y=25 *мм*																
0,2	0,72	6	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1
0,3	1,08	6	10	2	14	1	10	2	10	1	10	1	10	1	10	1
0,4	1,44	6	14	3	14	2	14	2	10	2	10	2	10	2	10	1
0,5	1,8	6	14	3	14	2	14	2	14	2	14	2	14	2	10	1
0,6	2,16	6	20	3	14	3	14	2	14	2	14	2	14	2	14	2
0,7	2,52	6	20	4	14	3	14	3	14	2	14	2	14	2	14	2
0,8	2,88	6	—	—	20	3	14	3	14	2	14	2	14	2	14	2
0,9	3,24	6	—	—	20	3	20	3	14	3	14	2	14	2	14	2
1	3,6	6	—	—	20	4	20	3	20	3	14	3	14	2	14	2
1,25	4,5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	20	3	14	3	14	3
Условный диаметр корпуса d_y=40 *мм*																
0,9	3,24	8	20	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	3,6	8	25	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	4,5	8	25	4	20	3	20	3	20	2	—	—	—	—	—	—
1,5	5,4	8	30	5	25	3	20	3	20	3	20	2	20	2	20	2
1,75	6,3	8	30	5	25	4	25	3	20	3	20	3	20	2	20	2
2	7,2	8	30	6	25	4	25	4	25	3	20	3	20	3	20	2
2,25	8,1	8	35	7	30	5	25	4	25	4	25	3	20	3	20	3
2,5	9	8	35	8	30	6	30	4	25	4	25	4	25	3	25	3
2,75	9,9	8	—	—	30	6	30	5	30	4	25	4	25	4	25	3
3,0	10,8	8	—	—	35	6	30	5	30	5	25	4	25	4	25	4
3,5	12,6	8	—	—	35	8	35	6	30	5	30	5	30	5	25	4

Условные обозначения *D*—диаметр проходного сечения седла клапана в *мм* *d*—диаметр ограничительных отверстий в *мм* *n*—число ограничительных отверстии.

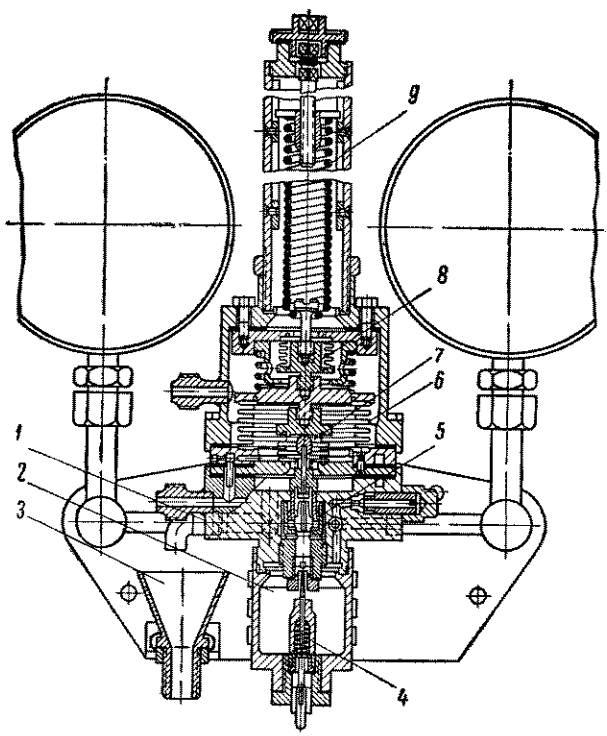


Рис 20 19 Реле давления типа РД 3а

1 — основание *2* — отстойник, *3* — дренажная воронка; *4* — продувочный клапан с иглой, *5* — управляющий клапан с дросселем, соплом и заслонкой, *6* — импульсный сильфон, *7* и *8* — сильфоны бессальниковых выводов, *9* — настроечная пружина

устройством РД 3а можно использовать односедельные регулирующие клапаны, разработанные ОРГРЭС Графики для подбора этих регулирующих клапанов с мембранным сервоприводом приведены на рис 20 20

Регуляторы типа РД 3а могут также работать с регулирующими клапанами с сильфонным сервоприводом и с мембранными исполнительными механизмами МИМ

Мембранные исполнительные механизмы МИМ (рис. 20 21) состоят из мембранного сервопривода и регулирующего двухседельного золотника Эти клапаны выпускаются для пневматических регуляторов в двух модификациях тип ВЗ («воздух закрывает») и тип ВО («воздух открывает»).

Мембранный привод выпускается четырех размеров 1, 2, 3 и 4, причем привод каждого размера предназначен для нескольких условных проходов Основные данные по клапанам МИМ с золотниками (плунжерами) из нержавеющей стали приведены в табл 20 13.

Клапаны МИМ изготовляются также с золотниками из латуни на предельную температуру 225° С.

При использовании в качестве управляющей среды воды с давлением более 1,5 *кгс/см²* требуется замена мембранных чугунных камер на стальные. Для воды более целесообразно применять клапаны МИМ с цилиндрическими золотниками и профилированными окнами.

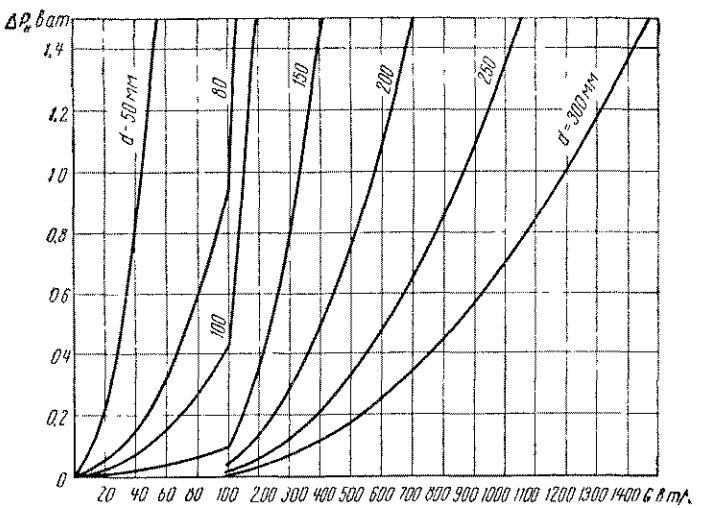


Рис. 21 20. График для подбора односедельных регулирующих клапанов для воды диаметром 50—300 *мм* с мембранным сервоприводом

Таблица 20.13

Мембранные исполнительные механизмы МИМ

Обозначение клапана	Условное давление в *кгс/см²*	Предельная температура в °С	Тип золотника (плунжера)	Диаметр условного прохода в *мм*
24Ч30нж	16	300	Сплошной двухседельный	25, 40, 50, 80, 100* 150*, 200*, 250*, 300*
25Ч32нж	16	300		
25Ч30нж	16	200	У-образный двухседельный	25, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300
25Ч30нж	16	200		
25С48нж	64	300		25, 50, 80, 100, 150, 200
25С50нж	64	300		

* Серийно не выпускаются.

20.4. ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Вопросы телемеханизации тепловых сетей еще только разрабатываются, в частности ведется разработка нового телемеханического оборудования для тепловых сетей

Телемеханизация теплофикационных установок ТЭЦ должна ограничиваться аварийно предупредительной сигнализацией и телеизмерением. Телеизмерение давления, температуры и расхода сетевой воды, а также температуры подпиточной воды осуществляют по вызову. Телеизмерение расхода и давления подпиточной воды должно быть непрерывное.

Объем телемеханизации насосных тепловых сетей рекомендуется предусматривать следующий:

а) телеуправление с районного пункта насосами (пуск и остановка) и задвижками на нагнетательном трубопроводе;

б) телесигнализация положения оборудования;

в) аварийно предупредительная телесигнализация;

г) телеизмерение по вызову давления, температуры и расхода

Для контролируемых камер и тепловых пунктов потребителей рекомендуется предусматривать следующий объем телемеханизации:

а) телеуправление с районного пункта задвижками;

б) телесигнализация положения телеуправляемого оборудования;

в) аварийно-предупредительная телесигнализация

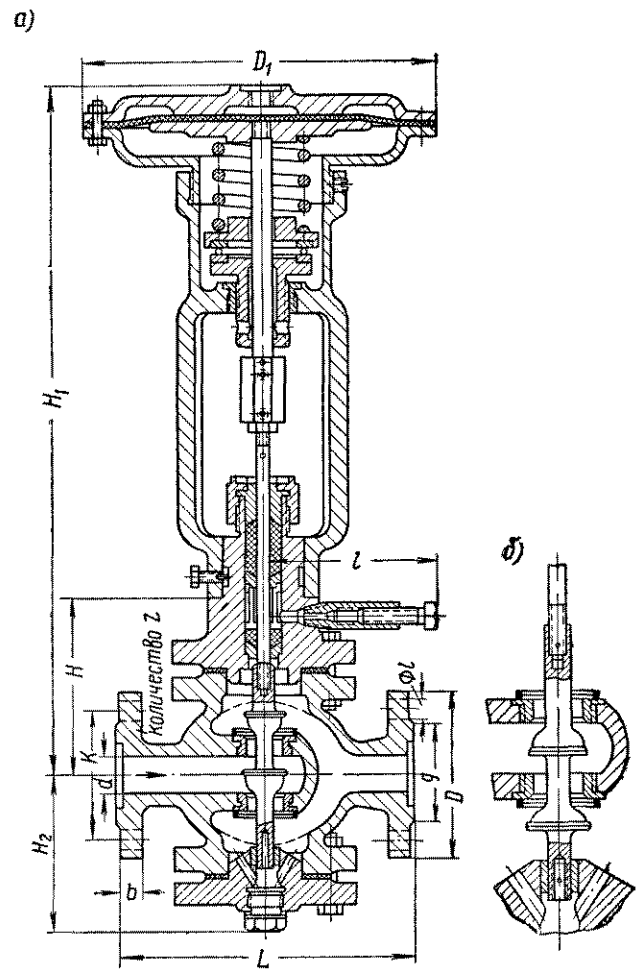


Рис. 20.21. Мембранный исполнительный механизм типа МИМ

а — МИМ-ВЗ-1 («воздух закрывает»); *б* — МИМ-ВО-1 («воздух открывает»)

РАЗДЕЛ VI

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

ГЛАВА 21

УКРУПНЕННЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Укрупненные показатели составлены для расчетной тепловой нагрузки от 0 5 до 600 *Гкал/ч* при полной теплофикации городов и поселков с расчетной температурой наружного воздуха —30° С.

Все показатели даны с учетом общественной застройки

Удельные технико-экономические показатели приведены в табл 21 1—21 3 при одном источнике тепла и одном теплоносителе при наиболее распространенных технических характеристиках сетей, а именно:

коэффициенте шероховатости $K_ш$ для водоводов 0,0005 *м*, для паропроводов 0,0002 *м* и для конденсатопроводов 0,001 *м*;

расчетном перепаде температур в сетях: водяных Δt=80° С (по графику 150/70° С), в паровых r==500 *ккал/кг*;

удельных потерях напора на трение R_l=5 *кгс/м²*;

толщине стенки труб по сортаменту труб тепловых сетей, утвержденному Министерством электростанций, при арматуре стальной отечественного производства;

Таблица 21 1

Удельные показатели средних диаметров d и длины труб L, затрат металла Z, капитальных затрат K

Расход тепла Q в *Гкал/ч*	Теплоплотность q в *Гкал/ч* на 1 *га*	Площадь застройки F в *га*	d в *мм*				L в *м* на 1 *Гкал/ч*				Z в *т* на 1 *Гкал/ч*				K в тыс руб на 1 *Гкал/ч*			
			$d^{ср}_{кв}$	$d^{ср}_{р}$	$d^{ср}_{м}$	$d^{ср}$	$L_{кв\ уд}$	$L_{р.уд}$	$L_{м.уд}$	$L_{уд}$	$Z_{кв.уд}$	$Z_{р.уд}$	$Z_{м.уд}$	$Z_{уд}$	$K_{кв.уд}$	$K_{р.уд}$	$K_{м.уд}$	$K_{уд}$
1	0,2	5	38	61,1	—	48	1770	360	—	2130	10,4	3,54	—	13,94	23,8	5,3	—	29,1
	0,38	2,66	52	—	—	52	635	—	—	635	5,3	—	—	5,3	9,3	—	—	9,3
	0,47	2,13	74	—	—	74	376	—	—	376	4,57	—	—	4,57	6,4	—	—	6,4
	0,71	1,41	83	—	—	83	253	—	—	253	3,55	—	—	3,55	4,5	—	—	4,5
5	0,2	25	38	87	—	55,3	1770	964	—	2734	10,4	14,2	—	24,6	23,8	17,3	—	41,6
	0,38	13,3	60	149	—	65,3	700	44	—	744	6,75	1,1	—	7,85	11,3	0,9	—	12,2
	0,47	10,65	88	173	—	91,5	435	18,6	—	453,6	6,48	0,65	—	7,13	8	0,7	—	8,7
	0,71	7,05	102,1	—	—	102,1	304	—	—	304	4,9	—	—	4,9	5,9	—	—	5,9
10	0,2	50	38	109	—	62,6	1770	936	—	2706	10,4	16,1	—	26,5	23,8	19,6	—	43,4
	0,38	26,6	60	165	—	72	700	86	—	786	6,75	2,86	—	9,61	11,3	2,2	—	13,5
	0,47	21,3	88	191	—	101	435	50,7	—	485,7	6,48	1,95	—	8,43	8	1,4	—	9,4
	0,71	14,1	106	210	—	111	304	14,4	—	318,4	5,1	0,67	—	5,77	6,2	0,5	—	6,7
25	0,2	125	38	147 / 99,5	— / 222,5	72,8	1770	844 / 521	— / 323	2614	10,4	24,68 / 8,78	— / 15,9	35,08	23,8	22 / 11	— / 11	45,8
	0,38	66,5	60	192 / 157,5	— / 222,5	82,6	700	145 / 64	— / 81	845	6,75	6,02 / 2,04	— / 3,98	12,77	11,3	3,9 / 1,5	— / 2,4	15,2
	0,47	53,25	88	213,5	—	113	435	101	—	536	6,48	4,76	—	11,24	8	3,1	—	11,1
	0,71	35,25	106	238	—	123,8	304	47	—	351	5,1	2,46	—	7,56	6,2	1,6	—	7,8
50	0,2	250	38	122,5	254	82,3	1770	489,4	350,2	2609,6	10,4	9,5	19,4	39,3	23,8	11,4	12,8	48
	0,38	133	60	185	254	91,2	700	64	98,4	862,4	6,75	2,38	5,48	14,61	11,3	1,8	3,5	16,6
	0,47	106,5	88	242,5 / 216	— / 254	124	435	132,2 / 42	— / 90,2	567,2	6,48	7,0 / 2,0	— / 5	13,48	8	4,5 / 1,25	— / 3,25	12,5
	0,71	70,5	106	259	—	135	304	72,6	—	376,6	5,1	4,15	—	9,25	6,2	2,6	—	8,8

Продолжение табл. 21.1

Расход тепла Q в *Гкал/ч*	Теплоплотность q в *Гкал/ч* на 1 *га*	Площадь застройки F в *га*	d в *мм*				L в *м* на 1 *Гкал/ч*				Z в *т* на 1 *Гкал/ч*				K в тыс. руб. на 1 *Гкал/ч*			
			$d^{ср}_{кв}$	$d^{ср}_{р}$	$d^{ср}_{м}$	$d^{ср}$	$l_{кв.уд}$	$L_{р.уд}$	$L_{м.уд}$	$L_{уд}$	$Z_{кв.уд}$	$Z_{р.уд}$	$Z_{м.тд}$	$Z_{уд}$	$K_{кв.уд}$	$K_{р.сл}$	$K_{м.уд}$	$K_{уд}$
100	0,38	266	60	206	302	101,7	700	64	116,8	880,8	6,75	2,66	8,9	18,31	11,3	1,85	5	18,15
	0,47	213	88	240	302	138,6	435	42	105,5	583,5	6,48	2,01	8,05	16,54	8,0	1,35	4,4	13,75
	0,71	141	106	296/279	—/302	149	304	92,2/22,95	—/69,25	396,2	5,1	6,9/1,62	—/5,28	12	6,2	3,85/0,85	—/3	10,05
200	0,38	532	60	216	356	114,1	700	64	135	899	6,75	3,05	13,4	23,2	11,3	1,9	6,8	20
	0,47	426	88	250	356	153,7	435	42	119,3	596,3	6,48	2,3	11,8	20,58	8	1,4	5,9	15,3
	0,71	282	106	287,5	356	165,4	304	24,85	78,65	407,5	5,1	1,81	7,8	14,71	6,2	1	4	11,2
400	0,47	852	88	262	432	175,4	435	42	132	609	6,48	2,78	11,8	21,06	7,9	1,55	8,15	17,6
	0,71	564	106	295,5	432	185,7	304	26,1	86,2	416,3	5,1	1,95	7,72	14,77	6,2	1,06	5,54	12,8
600	0,71	846	106	300	491,5	197	304	26,1	87,3	417,4	5,1	1,98	8,96	16,04	6,2	1,08	6,52	13,8

Обозначения: кв — квартальные сети; р — распределительные сети; м — магистральные сети.

Примечание. В числителе дробей учтены показатели L, Z и K магистральных сетей с диаметром до 250 *мм*, а в знаменателе приведены только показатели по разводящим или магистральным сетям.

Таблица 21.2

Удельные показатели затрат металла $Z_{тр}$ и капитальных затрат $K_{тр}$ по двухтрубным транзитным и районным тепловым сетям при длине трассы 1 *км*

Диаметр транзитной сети $d_{тр}$ в *мм*	Расчетный расход тепла Q в *Гкал/ч*	$Z_{тр}$ в *т* на 1 *Гкал/ч*	$K_{тр}$ в тыс. руб. на 1 *Гкал/ч*
200	5,65 10,5	14,75 7,93	10,26 5,52
250	10,5 18,5	10,85 6,17	6,77 3,88
300	18,5 28,8	8,44 5,42	4,58 2,95
350	28,8 43,5	6,98 4,62	3,4 2,25
400	43,5 60	3,91 2,83	2,58 1,87
450	60 80	3,23 2,42	2,1 1,575

Продолжение табл. 21.2

Диаметр транзитной сети $d_{тр}$ в *мм*	Расчетный расход тепла Q в *Гкал/ч*	$Z_{тр}$ в *т* на 1 *Гкал/ч*	$K_{тр}$ в тыс. руб. на 1 *Гкал/ч*
500	80 107	2,71 2,02	1,752 1,31
600	107 180	1,95 1,16	1,57 0,934
700	180 242	1,93 1,44	1,11 0,826
800	242 316	1,78 1,36	0,93 0,712
900	316 430	1,69 1,24	0,823 0,605
1000	430 600	1,5 1,075	0,668 0,478
1100	600	1,27	0,52

Таблица 21.3

Удельные показатели тепловых сетей городов, отнесенные на 1 $м^2$ жилой площади, на 1 $м^3$ строительного объема жилых зданий и на 1 жителя

Максимальный часовой расход тепла в *Гкал/ч*	Теплоплотность в *Гкал/ч га*	Удельные показатели, отнесенные на								
		1 $м^2$ жилплощади			1 $м^3$ строительного объема жилых зданий			1 жителя		
		L в *м/м²*	K в *руб/м²*	Z в *кг/м²*	L в *м/10³/м³*	K в *руб/м³*	Z в *кг/м³*	L в *м/жит*	K в *руб/жит*	Z в *кг/жит*
1	0,2	0,422	5,77	2,76	70,4	0,963	0,46	5,07	69,3	33,2
	0,38	0,124	1,82	1,03	18,9	0,28	0,159	1,49	21,8	12,4
	0,47	0,074	1,25	0,892	11,4	0,193	0,137	0,88	15,0	10,7
	0,71	0,046	0,814	0,642	6,6	0,116	0,0917	0,55	9,76	7,7
5	0,2	0,54	8,25	4,87	90	1,38	0,811	6,5	99	58,5
	0,38	0,145	2,38	1,53	22,3	0,356	0,236	1,74	28,6	18,4
	0,47	0,089	1,7	1,39	13,7	0,262	0,214	1,06	20,4	16,7
	0,71	0,055	1,07	0,885	7,9	0,153	0,126	0,66	12,8	10,6

Продолжение табл. 21.3

Максимальный часовой расход тепла в *Гкал/ч*	Теплоплотность в *Гкал/ч га*	Удельные показатели, отнесенные на 1 $м^3$ жилплощади			1 $м^3$ строительного объема жилых зданий			1 жителя		
		L в *м/м²*	*K* в *руб/м²*	*Z* в *кг/м²*	*L* в *м/10³ м³*	*K* в *руб/м³*	*Z* в *кг/м³*	*L* в *м/жит*	*K* в *руб/жит*	*Z* в *кг/жит*
10	0,2	0,54	8,6	5,26	90	1,44	0,88	6,45	103	63,2
	0,38	0,153	2,64	1,88	23,6	0,406	0,29	1,84	31,6	22,5
	0,47	0,095	1,83	1,64	14,6	0,282	0,252	1,14	22	19,7
	0,71	0,058	1,22	1,04	8,3	0,175	0,149	0,69	14,6	12,5
25	0,2	0,52	9,1	6,95	86,7	1,52	1,16	6,22	109	83,5
	0,38	0,165	2,96	2,49	25,4	0,456	0,384	1,98	35,6	29,9
	0,47	0,105	2,16	2,19	16,2	0,332	0,338	1,26	26	26,3
	0,71	0,064	1,41	1,37	9,2	0,202	0,196	0,76	16,9	16,4
50	0,2	0,51	9,5	7,8	85	1,58	1,3	6,11	114	93,5
	0,38	0,168	3,24	2,86	25,8	0,499	0,44	2,02	38,8	34,2
	0,47	0,111	2,43	2,62	17,1	0,374	0,404	1,33	29,2	31,5
	0,71	0,069	1,59	1,68	9,9	0,228	0,24	0,82	19,1	20,1
100	0,38	0,172	3,54	3,57	26,5	0,545	0,55	2,06	42,5	42,9
	0,47	0,114	2,68	3,24	17,6	0,412	0,499	1,37	32,2	38,8
	0,71	0,072	1,82	2,16	10,3	0,26	0,309	0,86	21,8	26
200	0,38	0,175	3,9	4,53	27	0,6	0,697	2,1	46,9	54,4
	0,47	0,117	2,69	4,01	18	0,414	0,618	1,4	32,3	48,2
	0,71	0,074	2,02	2,67	10,6	0,288	0,382	0,885	24,3	32
400	0,47	0,119	3,44	4,1	18,3	0,53	0,63	1,425	41,2	49,3
	0,71	0,075	2,32	2,68	10,7	0,332	0,384	0,905	27,8	32,1
600	0,71	0,076	2,5	2,9	10,9	0,357	0,415	0,906	30,0	34,8

Примечание. Удельные показатели подсчитаны при норме жилплощади 12 $м^2$/*чел*; объемных коэффициентах — 6 $м^3/м^3$ для *q* равных 0,2, 6,5 $м^3/м^3$ для *q*, равных 0,38 и 0,47, 7 $м^3/м^3$ для $q = 0{,}71$; удельных расходах тепла 2320 *ккал/ч чел* для $q = 0{,}2$, 2270 *ккал/ч чел* для *q*, равных 0,38 и 0,47, 2103 *ккал/ч чел* для $q = 0{,}71$; при общем отпуске тепла от ТЭЦ с учетом установки пиковых котлов 3 тыс. *ккал/квт*.

строительных конструкциях подземной прокладки в непроходных каналах с подвесной тепловой изоляцией в сухом грунте (по альбому серии ТС-01-04);

удельных тепловых характеристиках $\varkappa_ж$ жилых и общественных зданий (в *ккал/м³ ч*):

Многоэтажной застройки	0,33
2—3-этажной »	0,38
Одноэтажной »	0,42

Показатели табл. 21.1 охватывают тепловые сети в границах площади застройки, при этом источник тепла размещается у ее границ.

Для технологических паропроводов эти показатели могут быть применены при равномерном распределении тепловой нагрузки по площади застройки.

В стоимость прокладки тепловых сетей и в затраты металла на тепловые сети включены стоимость и затраты металла на все строительные, монтажные и изоляционные конструкции не только по собственно сетям, но и по камерам, узлам, компенсаторам и другим элементам тепловых сетей.

Для получения технико-экономических показателей тепловых сетей, которые отличаются от сетей, проложенных в строгом соответствии с техническими условиями и определенными характеристиками (см. табл. 21.1—21.3), даны коэффициенты и формулы для пересчета (табл. 21.4—21.7).

Таблица 21.4

Поправочные коэффициенты для $K_{уд}$ и $Z_{уд}$ для различных типов каналов и тепловой изоляции труб

Характеристика	Обозначение показателя	Для средних диаметров труб в *мм*								
		25	50	100	200	300	400	500	600	700
Непроходные каналы для мокрых грунтов с попутным дренажом, стены из бетонных блоков, основание — бетонные плиты; грунт мокрый; изоляция — подвесная из минеральной ваты	$K_{уд}$	2,32	2,09	1,82	1,66	1,46	1,35	1,29	1,25	1,22
	$Z_{уд}$	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1 01	1,01

Продолжение табл. 21.4

Характеристика	Обозначение показателя	Для средних диаметров труб в *мм*								
		25	50	100	200	300	400	500	600	700
Непроходные каналы для сухих лёссовых грунтов; стены из бетонных блоков, основание железобетонное по бетонной подготовке, изоляция подвесная из минеральной ваты	$K_{уд}$	1,21	1,18	1,13	1,2	1,13	1,1	1,08	1,065	1,06
	$Z_{уд}$	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
Непроходные каналы для сухих хорошо фильтрующихся грунтов; стены из бетонных блоков, основание — бетонные плиты; изоляция засыпная из минеральной ваты	$K_{уд}$	0,77	0,76	0,75	0,8	0,84	0,845	0,85	0,855	0,86
	$Z_{уд}$	0,865	0,957	0,907	0,942	0,953	0,957	0,957	0,963	0,958

Примечание. Для каналов серии ЛС-01-04 марок КЛ60-30, $2КЛ_{с}60$-60 поправочный коэффициент к стоимости равен 1,5.

Таблица 21.5

Поправочные коэффициенты капитальных затрат на тепловые сети по тарифным поясам

Тарифные пояса	Поясные коэффициенты
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,4
Магаданская область: Чукотский национальный округ, Сахалинская область — все местности, за исключением Курильских островов, Хабаровский край, Камчатская область	2
Сахалинская область и Курильские острова	2,5

Таблица 21.6

Формулы для определения удельных материальных показателей и эксплуатационных расходов по тепловым сетям

Наименование удельных показателей	Формула
Средний диаметр в *м*	$d^{ср} = 3{,}4\,\psi\, BQ^{0{,}38}$
Длина трубопроводов в *м*	$L_{уд} = \frac{L}{Q} = \frac{M_{уд}}{d^{ср}}$
Затраты металла в *кг* на 1 *Гкал/ч*	$Z_{уд} = \frac{Z}{Q} = z^{ср} L_{уд} = \left(z_{т}^{ср} + z_{нт}^{ср}\right) L_{уд} = \left[E + (2460\delta + H) d^{ср}\right] L_{уд}$
Капитальные затраты в руб.	$K_{уд} = \frac{K}{Q} = k^{ср} L_{уд} = (a + bd^{ср}) L_{уд}$

Таблица 21.7

Формулы для определения средней расчетной температуры теплоносителя $\Delta t°$ С при пересчете технико-экономических показателей

Наименование схемы и температурного графика	Формула
1. Водяные двухтрубные тепловые сети	Общая: $\Delta t = \frac{1{,}41Q}{\sqrt{G_{под}^2 + G_{обр}^2}} = \frac{1{,}41\left(Q_{от} + Q_{в} + Q_{г.в}\right)}{\sqrt{\left(\frac{Q_{от}}{\Delta t_{от}} + \frac{Q_{в}}{\Delta t_{в}} + \frac{Q_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{от}}{\Delta t_{от}} + \frac{Q_{в}}{\Delta t_{в}} + \frac{Q_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}\right)^2}}$
а) закрытая система горячего водоснабжения, работающая по обычному температурному графику	$\Delta t = \frac{1 + \mathcal{Q}_{в} + \mathcal{Q}_{г.в}}{\frac{1}{\Delta t_{от}} + \frac{\mathcal{Q}_{в}}{\Delta t_{в}} + \frac{2\mathcal{Q}_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}}$
б) то же, с аккумулятором	$\Delta t = \frac{1 + \mathcal{Q}_{в} + \mathcal{Q}_{г.в}}{\frac{1}{\Delta t_{от}} + \frac{\mathcal{Q}_{в}}{\Delta t_{в}} + \frac{\mathcal{Q}_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}}$
в) закрытая система горячего водоснабжения с установкой подогревателей последовательно на подающей и обратной трубах; открытая система горячего водоснабжения; в том и другом случае системы работают по графику с температурной надбавкой	$\Delta t = \frac{1 + \mathcal{Q}_{в} + \mathcal{Q}_{г.в}}{\frac{1}{\Delta t_{от}} + \frac{\mathcal{Q}_{в}}{\Delta t_{в}}}$

Таблица 21.7

Наименование схем и температурного графика	Формула
г) открытая система горячего водоснабжения с аккумуляторами у потребителей, работающая по графику с температурной надбавкой	$\Delta t = \frac{1{,}41\,(1+\Omega_в+\Omega_{г.в})}{\sqrt{\left(\frac{1}{\Delta t_{от}}+\frac{\Omega_в}{\Delta t_в}\right)^2+\frac{1{,}41\,(1+\Omega_в+\Omega_{г.в})}{\left(\frac{1}{\Delta t_{от}}+\frac{\Omega_в}{\Delta t_в}-\frac{\Omega_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}\right)^2}}}$
д) открытая система горячего водоснабжения, работающая по обычному графику	$\Delta t = \frac{1{,}41\,(1+\Omega_в+\Omega_{г.в})}{\sqrt{\left(\frac{1}{\Delta t_{от}}+\frac{\Omega_в}{\Delta t_в}+\frac{\Omega_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}\right)^2+\frac{1{,}41\,(1+\Omega_в+\Omega_{г.в})}{\left(\frac{1}{\Delta t_{от}}+\frac{\Omega_в}{\Delta t_в}\right)^2}}}$
2. Водяные однотрубные тепловые сети	Общая: $\Delta t = \frac{Q}{G_{от}+C_в+G_{г.в}} = \frac{Q_{от}+Q_в+Q_{г.в}}{\frac{Q_{от}}{\Delta t_{от}}+\frac{Q_в}{\Delta t_в}+\frac{Q_{г.в}}{\Delta t_{г.в}}}$
а) с обеспечением теплом всех потребителей при $G_{г.в} < G_{от}+G_в$	$\Delta t = \frac{1+\Omega_в+\Omega_{г.в}}{\frac{1}{\Delta t_{от}}+\frac{\Omega_в}{\Delta t_в}}$
б) с расходом в них воды, равным расходу воды на горячее водоснабжение	$\Delta t = \frac{\Delta t_{г.в}\,(1+\Omega_в+\Omega_{г.в})}{\Omega_{г.в}}$
3. Конденсатопроводы	$\Delta t_к = t_к - t_в$
4. Паропроводы	$\Delta t_{экв} = Ж \Delta t_{табл.в}$

Для определения полной стоимости тепловых сетей необходимо к основным затратам (см. табл. 21.1—21.3) добавлять дополнительные затраты, приведенные в табл. 21.8.

Таблица 21.8

Объекты подсобного производственного и обслуживающего назначения и прочие работы и затраты

Наименование работ	Единица измерения	Стоимость
Районный пункт управления теплосети с ремонтно-механической мастерской	1 пункт	78,7 тыс. руб.
Дренажная подземная насосная станция объемом 50 $м^3$ с учетом сантехнических работ и освещения	1 станция	1,53 »
Механическая и ремонтная мастерская с оборудованием	1 мастерская	18,3 »

Продолжение табл. 21.8

Наименование работ	Единица измерения	Стоимость
Гараж на 5 машин: а) строительная часть	1 здание	14,84 »
б) автомашины	1 автомашина	7 »
Подготовка территории (трассы) строительства, снос строений, перекладка коммуникаций, разборка и восстановление мостовых:		
а) для Москвы, Ленинграда, Киева, Харькова и крупных городов с существующей застройкой и сложной большой насыщенностью подземных хозяйств	% от стоимости объектов основного производственного назначения (гл. 2 сводного сметно-финансового расчета)	8%
б) для прочих городов	то же	6%
в) для жилых поселков	»	4%
Временные здания и сооружения	»	1,5%
Возврат материалов от временных зданий и сооружений	»	15%
Удорожание, связанное с производством работ в зимнее время, для строек, расположенных в температурных зонах:		
I	% от стоимости затрат, включенных в I часть сводного сметно-финансового расчета	1,1%
II	то же	2%
III	»	3,7%
IV	»	4,9%
V	»	7%
VI	»	9%
Затраты, связанные с применением прогрессивно-премиальной оплаты труда	% от полной стоимости строительно-монтажных работ	0,5%
Непредвиденные работы и затраты при двухстадийном проектировании	% от полной стоимости строительства	3%

В табл. 21.7 даны следующие обозначения:

$Q_{от}$, $Q_в$, $Q_{г.в}$ и $G_{от}$, $G_в$, $G_{г.в}$ — максимальные часовые расходы тепла и воды соответственно на отопление и вентиляцию, а также среднечасовой расход тепла и воды на горячее водоснабжение в *Гкал/ч* и *кг/ч*,

$\Delta t_{от}$, $\Delta t_в$, $\Delta t_{г.в}$ — расчетные перепады температур на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение;

$\Omega_в = \frac{Q_в}{Q_{от}}$; $\Omega_{г.в} = \frac{Q_{г.в}}{Q_{от}}$ — отношение расчетных расходов тепла;

$t_к$ и $t_в$ — температура конденсата и водопроводной воды в °С;

$\Delta t_{табл.в}$ — расчетная температура для водоводов, принятая при составлении таблиц;

$Ж = 0{,}31 \div 0{,}61$; при этом для паропроводов:

с $P = 4 \div 6$ *ата* и $\gamma_{ср} = 2$ *кг/м³* $Ж = 0{,}31$

» $P = 10$ » » $\gamma_{ср} = 4$ » $Ж = 0{,}44$

» $P = 20$ » » $\gamma_{ср} = 8$ » $Ж = 2{,}61$

В табл. 21.6 даны следующие обозначения:

$= \frac{d^{ср}}{d^{н}}$ (где $d^{н}$ — начальный диаметр магистрали при расчетной тепловой нагрузке);

$$B = \frac{K_{ш}^{0,0476}}{\gamma^{0,19} R_l^{0,19} \Delta t^{0,38}};$$

$K_{ш}$ — коэффициент шероховатости;

Δt — расчетный перепад температур, определяемый по табл. 21.7;

$z_{т}^{ср}$ — затраты металла на 1 *м* стальных труб в *кг/м*;

$z_{нт}^{ср}$ — то же, на 1 *м* нетрубной составляющей в *кг/м*;

E и H — постоянные коэффициенты, принятые при составлении табл. 21.1 и 21.2 для труб диаметром:

25—300 *мм*	$E = 1,5$;	$H = 46,7$
300—500 »	$E = -7,3$,	$H = 76$
500—700 »	$E = -14,7$	$H = 89$

δ — толщина стенки труб в *м*;

a и b — постоянные коэффициенты, принятые при составлении табл. 21.1 и 21.2 для труб диаметром:

до 150 *мм*	$a = 9,6$,	$b = 100$
200—700 »	$a = 0$;	$b = 140,5$

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуль А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах. Госэнергоиздат, М., 1963.

2. Андрющенко А. И. Перспективы развития парогазовых установок. Изв. высших учебных заведений. «Энергетика» № 1, 1961.

3. Базакуца В. А. Международная система единиц. Изд-во Харьковского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета им. А. М. Горького, Харьков, 1963.

4. Бродский Е. Ф. Горячее водоснабжение. Госстройиздат, 1961.

5. Волков Н. П., Леонков А. М. Модернизация паротурбинных электростанций, Госиздат, БССР, 1963.

6. Виндман Р. Н., Николаев А. А. Вопросы теплофикации городов и промышленности. «Электрические станции» № 5, 1955.

7. Вукалович М. П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, 7-е изд., 1963.

8. Генкин Б. И. Регулировка водяных тепловых сетей. Госэнергоиздат, 1951.

9. Громов Н. К. Теплофикация Москвы. Госэнергоиздат, 1962.

10. Далин А. М. Сбор и возврат конденсата. Госэнергоиздат, 1949.

11. Дюскин В. К., Пакшвер В. Б. и Якимов Л. К. Однотрубные системы теплоснабжения. Госстройиздат, 1962.

12. Жирнов Н. И., Кроль Л. Б., Лифшиц Э. М., Рабкин Ю. И. Пиковые водогрейные котлы большой мощности. Изд.-во «Энергия», 1964.

13. Зеликсон Н. М., Шпеер М. Г. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей. Госэнергоиздат, 1962.

14. Зайцев А. В. Аккумуляторы в открытой системе теплоснабжения. «Теплоэнергетика», № 9, 1959.

15. Идельчик И. В. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Госэнергоиздат. М. — Л., 1960.

16. Копьев С. Ф. Теплоснабжение. Госстройиздат, 1953.

17. Ланин И. С. Опыт эксплуатации тепловых сетей Ленинграда. Госэнергоиздат, 1962.

18. Лопатин Б. В. Тепловые сети. Строительные конструкции и их расчет. Госстройиздат, 1954.

19. Лямин А. А. и Скворцов А. А. Строительные конструкции тепловых сетей из сборных железобетонных деталей. Госстройиздат, 1957.

20. Павловский Н. Н. Гидравлический справочник. Госэнергоиздат, 1937.

21. Петелин Г. И. Трубопроводы электростанций. ОНТИ, 1935.

22. Марков И. В., Сазанов В. Р. Автоматизация тепловых сетей. ОРГРЭС, 1961.

23. Мелентьев Л. А., Стырикович М. А. и Штейнгауз Е. О. Топливно-энергетический баланс СССР. Госэнергоиздат, 1962.

24. Пошехонов В. Л. Новый проект типовой ТЭЦ. «Теплоэнергетика» № 9, 1961.

25. Сафонов А. П. Задачник по тепловым сетям. Госэнергоиздат, 1956.

26. Скворцов А. А. Основные вопросы расчета теплофикационных трубопроводов на прочность. Сб. «Проектирование тепловых сетей». Госэнергоиздат, 1957.

27. Скрицкий Л. Г. Автоматика в системах теплогазоснабжения и вентиляции. Госстройиздат, 1957.

28. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. Госэнергоиздат, 1963.

29. Таранов Б. П. Влияние климатических факторов на показатели теплофикации городов. «Теплоэнергетика» № 2, 1961.

30. Таранов Б. П. К вопросу влияния климатических факторов на показатели теплофикации городов. «Теплоэнергетика» № 6, 1962.

31. Теплотехнический справочник. Госэнергоиздат, т. I, 1957, т. II, 1958.

32. Филиппов М. Ф. Сборные конструкции теплопроводов и новые способы их прокладки. «Электрические станции» № 1, 1953.

33. Френкель Н. З. Гидравлика. Госэнергоиздат. М., 1956

34. Хлыбов Б. М. Опыт обработки воды тепловых сетей районных систем теплоснабжения. Сб. «Вопросы эксплуатации тепловых сетей». Госэнергоиздат, 1954.

35 Шляхин П. Н. и Бершадский М. Л. Краткий справочник по паротурбинным установкам, ГЭИ, 1961.

36 Шифринсон Б. Л. Основной расчет тепловых сетей Госэнергоиздат, 1940.

37. Шубин Е. П. Проектирование городских тепловых сетей. Изд-во МКХ РСФСР, 1952.

Коллектив авторов п/р **А. А. НИКОЛАЕВА**

СПРАВОЧНИК ПРОЕКТИРОВЩИКА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Бланк для заказов № 14 — 1965 — № 22

* * *

Стройиздат
Москва, Третьяковский проезд, д. 1

* * *

Редактор издательства *И. М. Замышляева*
Технический редактор *Т. М. Гольберг*
Корректор *Л. П. Бирюкова*

Сдано в набор 9/I-1965 г. Подписано к печати 11 IX-1965 г. Т-12837
Бумага 84×108$^{1}/_{16}$ д.л.—11,25 бум. л. 24,03 усл. печ. л. (45,7 уч.-изд.л.)
Тираж 25000 экз. Изд. № АХ-6276 Зак. № 100 Цена 2 р. 59 к.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б