

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ  
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Замалеев З.Х., Осипова Л.Э.,  
Валиуллин М.А., Сафиуллин Р.Г.

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ  
ПО ОТОПЛЕНИЮ И ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛОГО ДОМА**

Рекомендовано

Учебно-методическим объединением вузов РФ  
по образованию в области строительства  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению 270100 «Строительство»

**Казань 2007**

УДК 697.1 (107), 697.3:5 (107)  
ББК 31.38и73  
3-26

**Замалеев З.Х., Осипова Л.Э., Валиуллин М.А., Сафиуллин Р.Г.** / Под общей редакцией Посохина В.Н.

Примеры расчетов по отоплению и вентиляции жилых зданий: Учебное пособие. – Казань.: КГАСУ, 2007. – 176 с.

ISBN 978-5-7829-0195-0

Печатается по решению Редакционно-издательского совета КГАСУ.

Рассмотрены основные принципы проектирования систем обеспечения нормируемого микроклимата в жилых зданиях. Приведен порядок теплотехнической оценки наружных ограждений при определении теплопотерь отапливаемых помещений. Представлены примеры расчета и конструирования различных элементов и схем систем отопления и вентиляции, которые могут встретиться в практике курсового и дипломного проектирования.

Отдельное внимание уделено вопросам расчета систем поквартирного и индивидуального отопления, а также элементам автоматизированных узлов управления жилых зданий.

Пособие предназначено для студентов специальности 290700 «Теплогазоснабжение и вентиляция». Оно может быть полезно для студентов других строительных специальностей, а также для инженеров-проектировщиков гражданских зданий.

**Рецензенты:** профессор, д.х.н., заведующий кафедрой МАХП Казанского государственного технологического университета **Теляков Э.Ш.**;  
начальник инженерного отдела ОАО «Институт «Казгражданпроект»  
**Мануйлов Е.Ф.**;  
к.т.н., доцент кафедры «Отопление и вентиляция» МГСУ **Белова Е.М.**

УДК 697.1 (107), 697.3:5 (107)  
ББК 31.38и73

ISBN 978-5-7829-0195-0

© Казанский государственный архитектурно – строительный университет, 2007.

© Замалеев З.Х., Осипова Л.Э., Валиуллин М.А., Сафиуллин Р.Г.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Введение</b> .....	4
<b>Г л а в а 1. Тепловая защита зданий. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций</b> .....	5
1.1. Общие положения .....	5
1.2. Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха .....	5
1.3. Определение термического сопротивления конструкции ограждения .....	8
1.4. Расчет стационарного температурного поля в ограждении .....	11
1.5. Проверка конструкции ограждения на теплоустойчивость .....	12
1.6. Проверка ограждающей конструкции на воздухопроницание .....	14
1.7. Расчет влажностного режима ограждающей конструкции .....	16
1.8. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление и составление энергетического паспорта здания .....	20
<b>Г л а в а 2. Проектирование системы отопления здания</b> .....	29
2.1. Расчет теплопотерь и составление тепловых балансов помещений .....	29
2.2. Определение удельной тепловой характеристики здания .....	41
2.3. Общие сведения о традиционных системах отопления жилых зданий .....	42
2.4. Особенности поквартирного отопления. ....	48
2.5. Конструктивные требования к системам отопления. ....	52
2.6. Расчет нагревательных приборов. ....	56
2.7. Общие положения по гидравлическому расчету систем отопления .....	64
2.8. Гидравлический расчет системы отопления по удельной линейной потере давления .....	66
2.9. Гидравлический расчет системы отопления по характеристикам сопротивления и проводимостям .....	71
2.10 Расчет систем отопления с индивидуальными теплогенераторами на газовом топливе .....	80
<b>Г л а в а 3. Тепловые пункты для подключения систем отопления жилых зданий</b> ....	90
3.1. Общие положения .....	90
3.2. Подбор смесительных и циркуляционных насосов .....	93
3.3. Подбор гидроэлеватора .....	95
3.4. Подбор водоподогревателей для нужд отопления .....	97
<b>Г л а в а 4. Естественная вентиляция жилых зданий</b> .....	104
4.1. Основные положения .....	104
4.2. Расчет систем вентиляции малоэтажных зданий .....	105
4.3. Расчет систем вентиляции высотных зданий .....	117
<b>Приложение 1</b> .....	129
<b>Приложение 2</b> .....	137
<b>Приложение 3</b> .....	160
<b>Приложение 4</b> .....	171
<b>Список использованной литературы</b> .....	175

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие разработано для студентов, изучающих курс «Теплогазоснабжение и вентиляция».

На конкретных примерах в пособии разбираются вопросы, связанные с новыми требованиями по тепловой защите зданий, приводятся сведения для конструирования и расчета систем отопления и вентиляции помещений гражданских зданий.

В пособии много внимания уделено подбору оборудования индивидуальных автоматизированных тепловых пунктов, разработке энергетического паспорта здания. Приведены примеры подбора элементов поквартирного отопления, рассмотрены особенности расчета систем естественной вентиляции жилого дома с герметичными оконными блоками.

В начале каждой главы и раздела приведен пояснительный текст и формулы, на основе которых построены примеры.

При составлении пособия учитывались требования современных нормативных документов, а также опыт использования достижений отечественной и зарубежной техники в области устройства систем отопления и вентиляции жилых зданий. В пояснениях авторы старались избегать повторения материала, имеющегося в учебниках. Необходимую информацию из других учебных пособий можно получить по соответствующим ссылкам, указанным в тексте и списке литературных источников.

Для удобства пользования материалом в пособии приведены приложения с таблицами для расчета современных отопительно-вентиляционных установок и их техническими характеристиками. При составлении приложений авторы стремились привести все необходимые для расчетов сведения в удобной для студента форме. Приведенные в пособии справочные данные отвечают характеру и объему курсового проекта и расчетно-графической работы по отоплению и вентиляции, которые выполняются студентами разных строительных специальностей.

В соответствии с [5] допускается не проверять теплоустойчивость конструкций, имеющих  $D$  для стен выше четырех и для перекрытий – выше пяти.

При значении тепловой инерции  $D < 4$  требуется расчет ограждающей конструкции на теплоустойчивость. Конструкция имеет достаточную теплоустойчивость, если *амплитуда колебаний температуры* внутренней поверхности ограждения  $A_{\tau}^{des}$  не превышает *нормируемую* величину  $A_{\tau}^{req}$ , определяемую по формуле:

$$A_{\tau}^{req} = 2.5 - 0.1(t_{ext} - 21), \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1.11)$$

где  $t_{ext}$  - средняя месячная температура наружного воздуха за июль,  $^{\circ}\text{C}$ , принимаемая по таблице 3 [3].

Фактическая амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения зависит от амплитуды колебаний температуры *наружного воздуха*  $A_{\tau,ext}^{des}$  и величины ее уменьшения  $\nu$  в массиве ограждения:

$$A_{\tau,int}^{des} = \frac{A_{\tau,ext}^{des}}{\nu}, \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (1.12)$$

*Расчетная амплитуда* колебаний температуры наружного воздуха рассчитывается по формуле

$$A_{t,ext}^{des} = 0,5A_{t,ext} + \frac{\rho(J_{max} - J_{av})}{\alpha_e}, \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (1.13)$$

где  $A_{t,ext}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, принимаемая по [6];

$\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом ограждающей конструкции по [5];

$J_{max}$  и  $J_{av}$  – соответственно, максимальное и среднее значение суммарной солнечной радиации для вертикальных поверхностей,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , определяемые по [6] для расчетного района строительства;

$\alpha_{ext}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности для летних условий,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\alpha_{ext} = 1,16(5 + \sqrt{10V}), \text{ } \text{Вт}/\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}; \quad (1.14)$$

$V$  – расчетная скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ .

Величину уменьшения расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в многослойной ограждающей конструкции вычисляют по формуле

$$\nu = 0.9e^{D/\sqrt{2}} \frac{[(S_1 + \alpha_{int})(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_{ext} + Y_n)]}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_{ext}}, \quad (1.15)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;

$Y_i$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности слоев конструкции, определяемые в зависимости от их тепловой инерции:

- для слоев с тепловой инерцией  $D < 1$

$$Y_i = \frac{R_i S_i^2 + \alpha_{int}}{1 + R_i \alpha_{int}}; \quad (1.16)$$

- для слоев с тепловой инерцией  $D > 1$  принимаются равными коэффициентам теплоусвоения  $S$  материалов этих слоев.

При наличии в здании системы отопления с автоматическим регулированием температуры внутреннего воздуха теплоустойчивость ограждений в холодный период года не нормируется [4].

**Пример 4.** Провести оценку теплоустойчивости ограждающей конструкции для теплого периода года, используя условия примера 2.

*Максимальная амплитуда* суточных колебаний наружного воздуха в теплый период для г. Казани согласно приложению Г [6] составляет  $A_{t,ext} = 19.1$  °С.

Согласно приложению Ц [6] *максимальное и среднее значение суммарной солнечной радиации* для вертикальных поверхностей составляют, соответственно,  $J_{max} = 817$  Вт/м<sup>2</sup> и  $J_{av} = 327$  Вт/м<sup>2</sup>. Расчетная скорость ветра  $V = 4.2$  м/с [3].

Расчетные коэффициенты теплоусвоения  $S_i$  материальных слоев наружной стены принимаем по приложению Е [6]:

$$S_1 = 11.09 \text{ Вт/м}^2\text{°С}; \quad S_2 = 10.9 \text{ Вт/м}^2\text{°С}; \quad S_3 = 0.49 \text{ Вт/м}^2\text{°С}; \quad S_4 = 8.48 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

По формуле (1.10) определяем тепловую инерцию ограждающей конструкции

$$D = 0,015 \times 11,09 + 0,5 \times 10,9 + 4 \times 0,49 + 0,19 \times 8,48 = 0,18 + 5,45 + 1,96 + 1,6 = 9,7.$$

Так как значение тепловой инерции ограждающей конструкции  $D > 4$ , то дальнейшего расчета наружной стены на теплоустойчивость не требуется.

## 1.6. Проверка ограждающей конструкции на воздухопроницание

Способность материальных слоев ограждающей конструкции пропускать воздух называется *воздухопроницаемостью*. С гигиенической точки зрения воздухопроницаемость является положительным качеством, так как способствует естественной вентиляции помещения за счет *инфильтрации* наружного воздуха. С теплотехнической стороны это явление нежелательно, так как при инфильтрации в помещение попадает холодный воздух и понижается температура на внутренней поверхности ограждения. При *эксфильтрации* ухудшается влажностный режим конструкции и повышается вероятность конденсации влаги внутри нее.

При проверке ограждения на воздухопроницание сравниваются величины **нормируемого**  $R_{inf}^{reg}$ , м<sup>2</sup> ч·Па/кг и **фактического**  $R_{inf}^{reg}$  сопротивления воздухопроницанию.

*Нормируемое* значение  $R_{inf}^{reg}$ , м<sup>2</sup> ч·Па/кг определяется по формулам:

- для заполнений светопроемов (окон, балконных дверей и фонарей)

$$R_{inf}^{req} = (1/G_n) \cdot (\Delta P / \Delta P_o)^{2/3}; \quad (1.17)$$

- для остальных конструкций

$$R_{inf}^{req} = \frac{\Delta P}{G_n}, \quad (1.18)$$

где  $G_n$  – нормативная воздухопроницаемость ограждающей конструкции, кг/м<sup>2</sup>ч, устанавливается по таблице 11 [4] (см. также табл. П1.9 Приложения 1);

$\Delta P$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции, Па;

$\Delta P_0 = 10$  Па - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях свето-прозрачных ограждающих конструкций, при которой экспериментально определяется сопротивление воздухопроницанию  $R_{inf}^{des}$ .

*Разность давлений* воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций  $\Delta P$ , Па рассчитывается по формуле

$$\Delta P = 0.55Hg(\rho_{ext} - \rho_{int}) + 0.03g\rho \cdot V^2, \quad (1.19)$$

где  $H$  – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

$\rho_{ext}$ ,  $\rho_{int}$  – плотность, соответственно, наружного и внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяемая по значению их температуры ( $t_{ext}$  и  $t_{int}$ )

$$\rho = \frac{353}{273 + t}, \quad (1.20)$$

$V$ - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по таблице 1\* [3]; для зданий высотой свыше 60 м скорость  $V$  следует принимать с учетом коэффициента изменения скорости ветра по высоте [6].

*Фактическое* сопротивление воздухопроницанию конструкции  $R_{inf}^{des}$  определяют по формуле:

$$R_{inf}^{des} = R_{u1} + R_{u2} + R_{u3} + \dots + R_{un}, \text{ м}^2\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{кг}, \quad (1.21)$$

где  $R_{u1}, R_{u2}, R_{u3}, \dots, R_{un}$  - сопротивление воздухопроницанию материалов отдельных слоев конструкции, м<sup>2</sup>ч·Па/кг (Прил. 9 [5]).

Условие  $R_{inf}^{des} \geq R_{inf}^{reg}$  является условием нормальной эксплуатации ограждающей конструкции.

**Пример 5.** Выполнить проверку на воздухопроницание для наружной стены из условий примера 2. Высота здания от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты  $H = 11.6$  м. Расчетная скорость ветра  $V = 5.7$  м/с.

По табл. П1.9 Приложения 1 *нормативная воздухопроницаемость* для наружной стены составляет  $G_n = 0.5$  кг/м<sup>2</sup>ч.

*Плотность* наружного воздуха при расчетной температуре  $t_{ext} = -32$  °С определяем по формуле (1.20)

$$\rho_{ext} = \frac{353}{273 - 32} = 1.465 \text{ кг/м}^3;$$

плотность внутреннего воздуха помещений при расчетной температуре  $t_{int} = 21^\circ\text{C}$

$$\rho_{int} = \frac{353}{273 + 21} = 1.202 \text{ кг/м}^3.$$

Расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности наружной стены вычислим из выражения (1.19)

$$\Delta P = 0.55 \cdot 11.6 \cdot 9.8(1.465 - 1.202) + 0.033 \cdot 9.8 \cdot 1.465 \cdot 5.7^2 = 31.8 \text{ Па}.$$

Нормируемое сопротивление воздухопроницанию по формуле (1.18) составит

$$R_{inf}^{req} = \frac{31.8}{0.5} = 63.6, \text{ м}^2\text{чПа/кг}.$$

Сопротивления воздухопроницанию материалов слоев конструкции находим по приложению 9 [5]:

$$R_{u1} = 373 \text{ м}^2\text{чПа/кг}; R_{u2} = 18 \text{ м}^2\text{чПа/кг}; R_{u3} = 158 \text{ м}^2\text{чПа/кг}; R_{u4} = 2.0 \text{ м}^2\text{чПа/кг}.$$

Согласно (1.21) фактическое сопротивление воздухопроницанию для наружной стены

$$R_{inf}^{des} = 373 + 18 + 158 + 2 = 551 \text{ м}^2\text{чПа/кг}.$$

Сравнивая величины, полученные из формул (1.18) и (1.21),

$$R_{inf}^{des} = 551 \text{ м}^2\text{чПа/кг} > R_{inf}^{req} = 63.6 \text{ м}^2\text{чПа/кг};$$

делаем вывод о том, что данная конструкция отвечает предъявляемым к ней требованиям по воздухопроницанию.

## 1.7. Расчет влажностного режима ограждающей конструкции

Влажностный режим ограждений существенно влияет на их теплофизические качества. Увлажненные материалы имеют более высокие коэффициенты теплопроводности. Повышенная влажность ограждений неприемлема и с гигиенической точки зрения, так как создает благоприятные условия для развития в них плесени, грибков и других биологических процессов, способствует повышению влажности воздуха в помещении. От степени увлажнения конструкций зависит также их долговечность (морозостойкость, прочность, устойчивость к коррозии и пр.).

Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции  $R_{vp}$ , м<sup>2</sup>чПа/мг в пределах от внутренней поверхности и до плоскости возможной конденсации (слой утеплителя) определяют как сумму сопротивлений паропрооницанию отдельных материальных слоев ограждения

$$R_{vp} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (1.22)$$



где  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м;

$\mu_i$  – расчетный коэффициент паропроницаемости материала  $i$ -го слоя, мг/м·ч·Па.

Согласно Приложению 9 [4] найденное значение сопротивления паропроницанию  $R_{vp}$  должно быть не менее наибольшего из двух *нормируемых* сопротивлений паропроницанию -  $R_{vp1}^{reg}$  и  $R_{vp2}^{reg}$ .

1. Нормируемое сопротивление паропроницанию  $R_{vp1}^{reg}$  из условия *недопустимости накопления влаги* в ограждающей конструкции за *годовой период* эксплуатации определяется по формуле

$$R_{vp1}^{reg} = (e_{int} - E)R_{vp}^B / (E - e_{ext}), \quad (1.23)$$

где  $e_{int}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па

$$e_{int} = (\varphi_{int}/100)E_{int}; \quad (1.24)$$

$E_{int}$  – парциальное давление насыщенного водяного пара воздуха помещения при расчетной температуре  $t_{int}$  внутреннего воздуха, Па, принимается по табл. 5а [3];

$e_{ext}$  – среднее парциальное давление водяного пара за годовой период, Па, определяемое по табл. 5а [3];

$\varphi_{int}$  – относительная влажность воздуха в помещении;

$R_{vp}^B$  – сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, м<sup>2</sup> ч Па/мг, определяется согласно [6];

$E$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации

$$E = (E_1z_1 + E_2z_2 + E_3z_3)/12; \quad (1.25)$$

$E_1, E_2, E_3$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации в ограждении, принимаемое по табл. 5а [3] для средних температур наружного воздуха, соответственно, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, Па;

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес.

Зимний, весенне-осенний и летний периоды включают в себя месяцы со средними температурами воздуха, соответственно, ниже  $-5$  °С, от  $-5$  до  $+5$  °С, выше  $+5$  °С.

2. Нормируемое сопротивление паропроницанию  $R_{vp2}^{reg}$  из условия *ограничения влаги* в ограждающей конструкции за *период с отрицательными месячными температурами* наружного воздуха рассчитывается по формуле

$$R_{vp2}^{reg} = \frac{0,0024 z_0 (e_{int} - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta W_{av} + \eta}, \quad (1.26)$$

где  $z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, сут; принимается равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по [3];

$E_0$  – парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, Па; определяется при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами;

$\rho_{\omega}$  – плотность материала увлажняемого слоя, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_{\omega}$  – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимается равной толщине теплоизоляционного слоя ограждающей конструкции, м;

$\Delta W_{av}$  – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления  $z_0$  (табл.12 [4]);

$\eta$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\eta = 0.0024(E_0 - e_0^{ext})z_0 / R_{vp}^B, \quad (1.27)$$

$e_0^{ext}$  - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными месячными температурами, Па (табл. М1[6]).

**Пример 6.** Проверить, возможна ли конденсация водяных паров на внутренней поверхности стены из условий Примера 2.

*Температура точки росы  $t_d$ , °С* при значении расчетной температуры внутреннего воздуха  $t_{int}=21^{\circ}\text{C}$  и расчетной относительной влажности воздуха в помещении  $\varphi_{int}=60\%$  согласно приложению Л [5] составляет  $t_d=12.94^{\circ}\text{C}$ .

*Температура внутренней поверхности стены  $t_{x1}=19.8^{\circ}\text{C}$*  (см. Пример 3). Таким образом,  $t_d < t_{x1}$ . Следовательно, конденсации влаги на внутренней поверхности стены не будет.

**Пример 7.** Выполнить проверку ограждения из Примера 2 на паропроницание.

*Сопротивление паропроницанию* наружной стены  $R_{vp}$  вычислим как сумму сопротивлений паропроницанию отдельных слоев: штукатурки ( $\delta_1 = 0.015$  м), кирпичной кладки из силикатного кирпича ( $\delta_2 = 0.38$  м) и пенополистирола ( $\delta_3 = 0.2$  м).

*Расчетные коэффициенты паропроницаемости* материалов этих слоев согласно табл. Е1 [6] равны, соответственно:

$$\mu_1=0.09 \text{ мг/м чПа}; \quad \mu_2=0.14 \text{ мг/м чПа}; \quad \mu_3=0.05 \text{ мг/м чПа}.$$

Тогда по формуле (1.22)

$$R_{vp} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.015}{0.09} + \frac{0.38}{0.14} + \frac{0.2}{0.05} = 6.88 \text{ м}^2 \text{ чПа/мг}.$$

Определяем *нормируемые значения* сопротивления паропроницанию.

**1. Нормируемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации.**

Упругость насыщенного водяного пара при температуре воздуха в помещении  $t_{int}=21^{\circ}\text{C}$  составляет  $E_{int}=2488$  Па (табл. М2 [6]); относительная влажность воздуха в помещении  $\varphi_{int}=55\%$  (см. Пример 1).

Таким образом, из формулы (1.24) имеем

$$e_{int} = (55/100)2488 = 1368.4 \text{ Па}.$$

Продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года находим по данным [3]:

$$z_1 = 4 \text{ мес}, z_2 = 3 \text{ мес}, z_3 = 5 \text{ мес}.$$

Согласно [3] *средние температуры* соответствующих периодов составят:

$$t_{ext}^1 = -11.1 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{ext}^2 = 0.6 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{ext}^3 = 15.2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

*Температуру в плоскости возможной конденсации* вычислим по формуле

$$t_{v-x} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_k} \sum R_{int-v}, \quad (1.28)$$

где  $R_k = 5.03 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$  – сопротивление теплопередаче наружной стены (см. Пример 2);

$\sum R_{int-v}$  – термическое сопротивление теплопередаче слоев ограждающей конструкции до наружной поверхности утеплителя (см. Пример 2).

$$\sum R_{int-v} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.015}{0.93} + \frac{0.38}{0.76} + \frac{0.2}{0.05} = 4.63 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Тогда:

- для зимнего периода

$$t_{v-x} = 21 - \frac{21 + 11.1}{5.03} 4.63 = -8.6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При данной температуре по табл. М1 [6] *упругость насыщенного водяного пара* составит  $E_1 = 293 \text{ Па}$ .

- для весенне-осеннего периода

$$t_{v-x} = 21 - \frac{21 - 0.6}{5.03} 4.63 = 2.3 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ для которой } E_2 = 716 \text{ Па (табл. М2 [6]).}$$

- для летнего периода

$$t_{v-x} = 21 - \frac{21 - 15.2}{5.03} 4.63 = 15.6 \text{ }^\circ\text{C}; \text{ тогда } E_3 = 1772 \text{ Па (табл. М2 [6]).}$$

Из формулы (1.25) имеем:

$$E = (293 \times 4 + 716 \times 3 + 1772 \times 5) / 12 = 1015 \text{ Па}.$$

Определим *сопротивление паропрооницанию* части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации. В нашем случае это наружный слой кирпичной кладки (см. Пример 2).

$$R_{vp}^B = \frac{\delta_4}{\mu_4}; \quad R_{vp}^B = \frac{0.12}{0.14} = 0.857 \text{ м}^2 \text{ ч Па}/\text{мг},$$

где  $\delta_4 = 0.12 \text{ м}$  – толщина слоя кирпичной кладки;  $\mu_4$  – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя,  $\mu_4 = 0.14 \text{ мг}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$  (табл. Е1 [5]).

*Среднее парциальное давление водяного пара за годовой период* определим по табл.5а [3]:  $e_{ext} = 721.7 \text{ Па}$ .

Таким образом, мы определили все члены уравнения (1.23), что позволяет нам найти значение первого нормируемого сопротивления паропрооницанию:

$$R_{vp1}^{reg} = \frac{1368.4 - 1015}{1015 - 721.7} 0.857 = 1.03 \text{ м}^2 \text{ ч Па}/\text{мг}.$$

## 2. Нормируемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными месячными температурами наружного воздуха.

Продолжительность периода с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха для г. Казани по данным [3] составляет  $z_0 = 160$  сут.

Плотность материала увлажняемого слоя (пенополистирол)  $\rho_w = 40$  кг/м<sup>3</sup> (табл. Е1 [5]); толщина данного слоя материала  $\delta_w = 0,20$  м (см. Пример 2).

Приращение расчетного массового отношения влаги в слое пенополистирола за период влагонакопления составляет

$$\Delta W_{av} = 25\% \text{ (табл.12 [4]).}$$

Средняя температура воздуха периода со средними месячными температурами ниже 0°С [3] составляет  $t_0^{ext} = -9,82$  °С, которой соответствует  $e_0^{ext} = 264$  Па (табл. М1[5]).

Температуру в плоскости возможной конденсации при данной температуре рассчитываем по формуле (1.9)

$$t_{v-x} = 12 - \frac{21 + 9,82}{5,03} 4,63 = -7,4 \text{ °С.}$$

Этой температуре соответствует упругость насыщенного водяного пара  $E_0 = 327$  Па (табл. М1[5]).

Находим коэффициент  $\eta$  по формуле (1.27)

$$\eta = \frac{0,0024(327 - 264)160}{0,857} = 28,2.$$

Тогда

$$R_{vp2}^{reg} = \frac{0,0024 \times 160(1493 - 327)}{40 \times 0,2 \times 25 + 28,2} = 1,96 \text{ м}^2 \text{ ч Па/мг.}$$

Таким образом, наибольшее из двух **нормируемых** сопротивлений паропроницанию  $R_{vp2}^{reg} = 1,96$  м<sup>2</sup> ч Па/мг меньше сопротивления паропроницанию ограждающей конструкций  $R_{vp} = 6,68$  м<sup>2</sup> ч Па/мг, что отвечает требованиям пункта 9.1 [4].

### 1.8. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление и составление энергетического паспорта здания

Для теплотехнической оценки объёмно-планировочных и конструктивных решений, а также для определения *энергетической эффективности* здания пользуются показателем - **удельный расход тепловой энергии на отопление здания**  $q_h^{dss}$ , кДж/(м<sup>2</sup>°С·сут) за **отопительный период**. Его *нормируемые* значения для различных типов зданий приведены в табл. 9 [4], для жилых зданий – в табл. П1.10 и П1.11 Приложения 1.

Схема расчета теплового баланса здания за отопительный период должна учитывать не только потери теплоты (трансмиссионные потери через *наружные ограждающие конструкции*, затраты тепловой энергии на *нагрев приточ-*

ного воздуха), но и их поступления (*бытовые тепловыделения, теплопоступления от солнечной радиации*).

Для расчета теплопоступлений от солнечной радиации используется новый климатический параметр – *суммарная солнечная радиация за отопительный период*, поступающая на горизонтальную и вертикальные поверхности *при действительных условиях облачности*, определяемая по приложению В [6].

Для контроля соответствия теплотехнических и энергетических показателей теплозащиты запроектированного, возведенного или эксплуатируемого здания составляется его **энергетический паспорт**. Энергетический паспорт дает возможность оценить *энергетическую эффективность здания* и должен включать в себя следующие данные:

- климатические характеристики района строительства, включая данные об отопительном периоде и интенсивности солнечной радиации на различно ориентированные поверхности при действительных условиях облачности;
- расчетную температуру и влажность внутреннего воздуха;
- общестроительные данные о геометрии и ориентации здания, его этажности и объеме, площади наружных ограждающих конструкций и пола отапливаемых помещений;
- данные о системах поддержания микроклимата помещений и способах их регулирования в зависимости от изменения климатических воздействий, других источниках поступления тепловой энергии в здание;
- проектные данные о теплозащите здания и энергетические параметры, включающие теплотехнические показатели как отдельных ограждений, так и здания в целом, а также сводные энергетические параметры здания, включающие удельный расход энергии на отопление здания как за отопительный период, так и приходящийся на одни градусо-сутки;
- проверку соответствия теплотехнических и энергетических показателей здания нормируемым значениям;
- изменения (объемно-планировочные, конструктивные, систем поддержания микроклимата) построенного здания по сравнению с проектом;
- результаты энергоаудита - определение энергопотребления и параметров теплозащиты здания после годового периода его эксплуатации и полученные на их основе обобщенные теплотехнические и энергетические параметры;
- сопоставление проектных и эксплуатационных теплозащитных и энергетических характеристик, присвоение класса энергетической эффективности с соответствующими льготами или санкциями, сертификация здания;
- мероприятия по повышению энергетической эффективности.

Данные паспорта об энергетических расходах здания заносятся в *банк данных* субъекта Российской Федерации и должны быть доступны будущему покупателю, собственнику или жильцу дома. Ниже приводятся примеры расчета *удельного расхода тепловой энергии на отопление* жилого дома и составления его *энергетического паспорта*.

**Пример 8.** Выполнить расчет теплотехнических и энергетических параметров жилого дома по Примеру 1. Составить энергетический паспорт здания.

Исходные данные. Здание жилое трехэтажное, с холодным чердаком. Общее количество квартир - 12. Стены - самонесущие с эффективным утеплителем, окна с тройным остеклением в деревянных отдельных переплетах. Чердачное перекрытие - железобетонное с эффективным утеплителем. Подвал – неотапливаемый, полы по грунту.

Здание подключено к централизованной системе теплоснабжения и имеет двухтрубную систему отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе.

Данные о приведенных сопротивлениях теплопередаче ограждающих конструкций приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Наименование ограждения	Состав слоев		Характеристики материала			Коэффициенты		
	NN пп	Наименование	Толщина $\delta_i$ , м	Теплопроводность $\lambda_i$ , Вт/м <sup>°C</sup> (пункт по [6])	Термическое сопротивление $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ , м <sup>2</sup> °C/Вт	теплотехнической однородности $r$	теплоотдачи	
							на внутренней поверхности $\alpha_{int}$ Вт/м <sup>2</sup> °C	на наружной поверхности $\alpha_{ext}$ Вт/м <sup>2</sup> °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наружная стена	1	Кладка из пустотелого керамического кирпича (ГОСТ 530-95)	0.12	0.64 (п.213)	0.187	0.7	8.7	23
	2	Пенополистирол (ГОСТ 15588)	0.2	0.05 (п.3)	4.0			
	3	Кладка из силикатного кирпича ГОСТ 379-95	0.38	0.76 (п.217)	0.5			
	4	Цементно-песчаный раствор (штукатурка)	0.015	0.93 (п.227)	0.016			
	$R_w^r = r \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{a1} + R_4 + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) = 0.7 \cdot \left( \frac{1}{8.7} + 0.016 + 0.5 + 4.0 + 0.165 + 0.187 + \frac{1}{23} \right) = 3.52 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внутренняя стена	1	Известково-песчаный раствор (штукатурка)	0.015	0.81 (п.229)	0.018			
	2	Кладка из силикатного кирпича (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	0.12	0.87 (п.209)	0,138			
	3	Известково-песчаный раствор (штукатурка)	0.015	0.81 (п.229)	0.018			
	$R_{in}^r = r \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_{int}} \right) = 1.0 \cdot \left( \frac{1}{8.7} + 0.018 + 0.138 + 0.018 + \frac{1}{8.7} \right) = 0.4 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$							
Чердачное перекрытие	1	Железобетонная плита (ГОСТ 26633)	0.16	2.04 (п.225)	0.078	1.0	8.7	12
	2	Пеностиролбетон	0.31	0.093**	3.333			
	$R_{c1}^r = r \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_1 + R_2 + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) = 1.0 \cdot \left( \frac{1}{8.7} + 0.078 + 3.333 + \frac{1}{12} \right) = 3.61 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пол первого этажа	1	Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup>	0.003	0.38 (п.249)	0.008	1.0	8.7	12
	2	Цементно-песчаный раствор (стяжка)	0.02	0.93 (п.227)	0.022			
	3	Плиты минераловатные ROCKWOOLL РУФ БАТТС	0.19	0.047*	4.042			
	4	Железобетонная плита (ГОСТ 26633)	0.15	0.87 (п.209)	0.172			
	5	Известково-песчаный раствор (штукатурка)	0.02	0.81 (п.229)	0.025			
	$R_f^r = r \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) = 1.0 \cdot \left( \frac{1}{8.7} + 0.022 + 4.042 + 0.172 + 0.025 + \frac{1}{12} \right) = 4.46 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$							
Окна и балкон. двери	1	Окна и балконные двери деревянные, с тройным остеклением ГОСТ 16289-86 (2002)	$R_F^r = 0.55 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (по прил. Л [6])					
Наружн. двери	1	Двери деревянные наружные двойные с тамбуром ГОСТ 24698-81 (2002)	$R_{ed}^r = 0.6R_w^r = 0.6 \cdot 2.895 = 1.74 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (п.5.7 [4])					

Согласно п.5.12 [4], удельный (на 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади пола квартир или полезной площади помещений [или на 1 м<sup>3</sup> отапливаемого объема]) расход тепловой энергии на отопление здания  $q_h^{des}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·°C·сут) должен быть меньше или равен нормируемому значению  $q_h^{req}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·°C·сут) и определяется путем выбора теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, объемно-планировочных решений, ориентации здания, типа, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления до удовлетворения условия

$$q_h^{des} \leq q_h^{req}.$$

Расчет удельного расхода тепловой энергии  $q_h^{des}$  на отопление здания проводим по методике, приведенной в [6].

1. В соответствии с требованиями подраздела 5.4 [6] вычисляем **геометрические характеристики** здания.

Общую площадь стен, включающая окна, балконные и входные двери в здание  $A_{w+F+ed}$ , м<sup>2</sup>, определяем по формуле

$$A_{w+F+ed} = p_{st} H_h + A_s, \quad (1.29)$$

где  $p_{st}$  - длина периметра внутренней поверхности наружных стен этажа, м;

$H_h$  - высота отапливаемого объема здания (от уровня пола первого этажа до потолка последнего этажа), м;

$A_s$  - дополнительная площадь наружных стен (лестничных клеток, лифтовых шахт), выходящих за пределы основного фасада (выше уровня потолка последнего этажа и ниже уровня пола первого этажа), м<sup>2</sup>. В данном проекте  $A_s = 0$ .

$$A_{w+F+ed} = 76.4 \times 9.6 = 743.0 \text{ м}^2.$$

Площадь наружных стен  $A_w$ ,  $\text{м}^2$ , находим по формуле

$$A_w = A_{w+F+ed} - A_F, \quad (1.30)$$

где  $A_F$  - площадь окон, определяется как сумма площадей всех оконных проемов,  $\text{м}^2$ . Для рассматриваемого здания данные о светопроемах приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Ориентация	Окна				Балконные и входные двери				$A_F$ , $\text{м}^2$
	Тип	Размеры проема, мм	Кол-во	Площадь, $\text{м}^2$	Тип	Размеры проема, мм	Кол-во	Площадь, $\text{м}^2$	
Ю	ОРС 18-18	1500×1500	6×3	40.5	-	-	-	-	40.5
С	ОРС 18-18	1500×1500	4×3	27.0	-	-	-	-	27.0
	ОРС 18-13	1500×1200	4×3	21.6	БРС 22-7.5	700×2100	4×3	17,64	39.24
Лестн. клетка	ОРС 18-18	1500×1500	2	4.5	ВДв	1500×2300	1	3.45	7.95
ИТОГО:									<b>114.7</b>

Таким образом  $A_F = 114.7 \text{ м}^2$  (включая площадь оконных проемов и входной двери в лестничном узле  $A_{FA} = 7.95 \text{ м}^2$ ). Тогда:

$$A_w = 743.0 - 114.7 = 628.3 \text{ м}^2.$$

Площадь покрытия  $A_c$ ,  $\text{м}^2$  и площадь перекрытия над подвалом  $A_f$ ,  $\text{м}^2$ , принимаем равными площади 1 этажа  $A_{st}$ :

$$A_{st} = A_{c1} = A_f = 319.3 \text{ м}^2 \text{ (включая площадь лестничного марша - } A_a = 34.2 \text{ м}^2 \text{)}.$$

Общую площадь наружных ограждающих конструкций  $A_e^{sum}$  здания вычисляем по формуле

$$A_e^{sum} = A_{w+F+ed} + A_{c1} + A_f = 743.0 + 319.3 + 319.9 = 1381.6 \text{ м}^2. \quad (1.31)$$

Площадь отапливаемых помещений  $A_h$ , равная сумме площадей жилых помещений (квартир) на 3-х этажах, составит

$$A_h = A_l = nA_{st} - A_a = 3 \cdot 319.3 - 34.2 = 923.7 \text{ м}^2.$$

Отапливаемый объем здания  $V_h$ ,  $\text{м}^3$  рассчитываем как произведение площади 1 этажа  $A_{st}$ ,  $\text{м}^2$  (площади, ограниченной внутренними поверхностями наружных стен) на высоту  $H_h$ , м этого объема, представляющую собой расстояние от пола первого этажа до потолка последнего этажа:

$$V_h = A_{st} H_h = 319.3 \cdot 9.6 = 3065,3 \text{ м}^3. \quad (1.32)$$

**Показатели объемно-планировочного решения** здания определяем по формулам:

- коэффициент остекленности фасадов здания

$$f = A_F / A_{w+F+ed} = 114.7 / 743 = 0.15, \quad (1.33)$$

что меньше нормируемого значения  $f^{req} = 0.18$  (см. п.5.11 [4]);



- показатель компактности здания

$$k_e^{des} = A_e^{sum} / V_h = 1381.6 / 3065.3 = 0.45 \text{ м}^{-1}, \quad (1.34)$$

что также меньше нормируемого значения, которое в соответствии с п.5.14 [4] для трехэтажных жилых зданий составляет  $k_e^{req} = 0.54 \text{ м}^{-1}$ ;

2. Рассчитываем **теплотехнические** и **теплоэнергетические** характеристики здания.

Приведенный коэффициент теплопередачи здания  $K_m^{tr}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С) определяем согласно формуле:

$$K_m^{tr} = (A_w / R_w^r + A_F / R_F^r + A_{ed} / R_{ed}^r + A_c / R_c^r + nA_{c1} / R_{c1}^r + nA_f / R_f^r + A_{f1} / R_{f1}^r) / A_e^{sum}, \quad (1.35)$$

где  $A_w, R_w^r$  - площадь, м<sup>2</sup>, и приведенное сопротивление теплопередаче, м<sup>2</sup>°С/Вт наружных стен (за исключением проемов);

$A_F, R_F^r$  - то же, заполнения светопроемов (окон и балконных дверей);

$A_{ed}, R_{ed}^r$  - то же, наружных дверей;

$A_c, R_c^r$  - то же, совмещенных покрытий;

$A_{c1}, R_{c1}^r$  - то же, чердачных перекрытий;

$A_f, R_f^r$  - то же, цокольных перекрытий;

$A_{f1}, R_{f1}^r$  - то же, перекрытий над проездами и под эркерами;

$n$  - то же, что в формуле (2.2).

$$K_m^{tr} = (628.3/3.52 + 114.7/0.55 + 3.45/1.74 + 0.9 \cdot 319.3/3.61 + 0.6 \cdot 319.3/4.46) / 1381.6 = 0.37 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

Кратность воздухообмена  $n_a$ , ч<sup>-1</sup> здания за отопительный период рассчитываем по формуле:

$$n_a^l = 3A_l / (\beta_v V_h), \quad (1.36)$$

где  $\beta_v$  - коэффициент, учитывающий долю внутренних ограждающих конструкций в отапливаемом объеме здания, принимаемый равным 0,85;

$V_h$  - отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>.

$$n_a^l = 3 \cdot 923.7 / (0.85 \cdot 3065.3) = 1.06 \text{ ч}^{-1}.$$

К этому воздухообмену добавляем *объем инфильтрующегося воздуха* через окна и входную дверь *лестничной клетки*. Количество инфильтрующегося воздуха  $G_{inf}$ , поступающего в лестничную клетку, определим по формуле

$$G_{inf} = (A_{FA} / R_{a,F}) \cdot (\Delta P_F / 10)^{2/3} + (A_{ed} / R_{a,ed}) \cdot (\Delta P_{ed} / 10)^{1/2}, \text{ кг/ч}, \quad (1.37)$$

где  $A_{ed}$  - площадь входной наружной двери лестничной клетки, м<sup>2</sup>;

$R_{a,F}$  и  $R_{a,ed}$  - требуемое сопротивление воздухопроницанию, соответственно, окон и входной наружной двери лестничной клетки, м<sup>2</sup> чПа<sup>2/3</sup>/кг, рассчитываемые по формулам (1.17) и (1.18);

$\Delta P_F$  и  $\Delta P_{ed}$  - расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, соответственно, для окон и входной наружной двери лестничной клетки, определяемая по формуле (1.19) заменой в ней величины 0,55 на 0,28.

Высота здания от уровня пола второго этажа до верха вытяжной шахты в нашем случае составляет  $H = 11.6$  м. Расчетная скорость ветра  $V = 5.7$  м/с (см. Пример 5). Удельные веса наружного воздуха и внутреннего воздуха лестничной клетки определяем по формуле (1.20):

$$\rho_{ext} = \frac{353}{273 - 32} = 1.465 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{int} = \frac{353}{273 + 16} = 1.221 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда

$$\Delta P_F = 0.55 \cdot 11.6 \cdot 9.8(1.465 - 1.221) + 0.033 \cdot 1.465 \cdot 9.8 \cdot 5.7^2 = 30.65 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{ed} = 0.28 \cdot 11.6(1.465 - 1.221) + 0.033 \cdot 1.465 \cdot 9.8 \cdot 5.7^2 = 23.17 \text{ Па}.$$

Нормативная воздухопроницаемость по табл.11 [4] при разности давлений  $\Delta P = 10$  Па имеет следующие значения: для окон в деревянных переплетах  $G_u = 6$  кг/ч·м<sup>2</sup>; для наружных входных дверей жилых зданий  $G_u = 7$  кг/ч·м<sup>2</sup>.

Требуемое сопротивление воздухопроницанию по формулам (1.17) и (1.18), соответственно:

- для окон -  $R_{a.F} = \frac{1}{G_u} \Delta P^{2/3} = \frac{10^{2/3}}{6} = 0,78 \text{ м}^2 \text{ чПа/кг}.$

- для дверей -  $R_{ed} = \frac{1}{G_u} \Delta P^{1/2} = \frac{10^{1/2}}{7} = 0,45 \text{ м}^2 \text{ чПа/кг}.$

Тогда расчетное количество инфильтрующегося в лестничную клетку воздуха составит:

$$G_{inf} = (7.95 / 0.78) \cdot (30.65 / 10)^{2/3} + (3.45 / 0.45) \cdot (23.17 / 10)^{1/2} = 56.34 \text{ кг/ч}.$$

Кратность воздухообмена за счет инфильтрующегося воздуха в лестничном узле равна

$$n_a^{el} = (G_{inf} k / \rho_a^{ht}) / (\beta_v V_h), \quad (1.38)$$

где  $k$  - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в светопрозрачных конструкциях, равный для окон и балконных дверей с тройными раздельными переплетами - 0,7 (приложение Г [4]);

$\rho_a^{ht}$  - средняя плотность приточного воздуха за отопительный период,

$$\rho_a^{ht} = 353 / [273 + 0.5(t_{int} + t_{ext})] = 353 / [273 + 0.5(16 - 32)] = 1.33 \text{ кг/м}^3.$$

$$n_a^{el} = (56.34 \cdot 0.7 / 1.33) / (0.85 \cdot 3065.3) = 0.011, \text{ ч}^{-1}.$$

Общая кратность воздухообмена в жилом здании равна сумме этих кратностей:

$$n_a = n_a^l + n_a^{el} = 1.06 + 0.011 = 1.07 \text{ ч}^{-1}. \quad (1.39)$$

Условный коэффициент теплопередачи здания  $K_m^{inf}$  определяем по формуле

$$K_m^{inf} = 0,28 c n_a \beta_v V_h \rho_a^{ht} k / A_e^{sum}, \quad \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \quad (1.40)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воздуха, равная 1.005 кДж/(кг·°C).

$$K_m^{inf} = 0.28 \cdot 1.005 \cdot 1.07 \cdot 0.85 \cdot 3065.3 \cdot 1.33 \cdot 0.7 / 1381.6 = 0.53 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Общий коэффициент теплопередачи здания  $K_m$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C), вычисляем по формуле

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf} = 0.37 + 0.53 = 0.9 \text{ Вт/м}^2\text{°С.}$$

3. Находим **энергетические показатели** здания:

*Общие теплопотери* через наружную ограждающую оболочку здания за *отопительный период*  $Q_h$ , МДж определяем по формуле

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_g^{sum}; \quad (1.41)$$

$$Q_h = 0,0864 \cdot 0,9 \cdot 5418 \cdot 1381,6 = 582070 \text{ МДж.}$$

*Бытовые теплопоступления* в здание за *отопительный период*  $Q_{inf}$ , МДж при норме удельных бытовых тепловыделений  $q_{inf} = 17 \text{ Вт/м}^2$  рассчитываем по формуле

$$Q_{inf} = 0,0864 q_{inf} z_{hf} A_f; \quad (1.42)$$

$$Q_{inf} = 0,0864 \cdot 17 \cdot 215 \cdot 923,7 = 291700 \text{ МДж.}$$

*Теплопоступления* в здание *от солнечной радиации* за *отопительный период*  $Q_s$ , МДж, определяются по формуле

$$Q_s = \tau_F k_F (A_{F1} I_1 + A_{F2} I_2 + A_{F3} I_3 + A_{F4} I_4) + \tau_{scy} k_{scy} A_{scy} I_{hor}, \quad (1.43)$$

где  $I_{hor}$ ,  $I_i$  - средняя за *отопительный период* величина солнечной радиации на горизонтальную и вертикальные (ориентированная по четырем фасадам здания) поверхности при действительных условиях облачности, МДж/м<sup>2</sup>; значения  $I$  определяются по методике, приведенной в приложении В [6];

$\tau_F$ ,  $\tau_{scy}$  - коэффициенты, учитывающие затенение, соответственно, окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения; для тройного остекления  $\tau_F = 0.5$  (табл. Л1[6]);

$k_F$ ,  $k_{scy}$  - коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений, соответственно, окон и зенитных фонарей; для окон с тройными переплетами  $k_F = 0,7$  (табл. Л1[6]);

$A_{scy}$  и  $A_{Fi}$  - соответственно, площадь зенитных фонарей и светопроемов фасадов здания, ориентированных по четырем направлениям, м<sup>2</sup>; по данным табл. 1.4 площадь оконных проемов на фасадах составляет:

- ориентированных на *Север* -  $A_{F1} = 27.0 + 39.24 = 66.24 \text{ м}^2$ ;
- ориентированных на *Юг* -  $A_{F2} = 40.5 + 4.5 = 45.0 \text{ м}^2$ .

Согласно приложению В [6] величина *солнечной радиации*  $I_i$ , при действительных условиях облачности для  $i$ -го месяца *отопительного периода* должна приниматься по данным таблиц 1.8, 1.9 и 1.10 [7]. В инженерной практике допустимо использовать другие доступные источники о соответствующих климатических параметрах. В частности, для расчетной широты г. Казани (56°с.ш.) можно принять данные о значениях  $I_i$  для г. Москвы, также расположенной на данной параллели [8].

Из табл.3.5 [8] находим, что интенсивность теплопоступлений от суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на вертикальные поверхности *Северной* и *Южной* ориентации за *отопительный период* составляет, соответственно:

$$I_1 = 12 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2 \times 3.6 = 43.2 \text{ МДж/м}^2;$$

$$I_2 = 551 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2 \times 3.6 = 1983.6 \text{ МДж/м}^2.$$

Тогда:

$$Q_s = 0,5 \cdot 0,7 \cdot (66,24 \cdot 43,2 + 45,0 \cdot 1983,6) = 32240 \text{ МДж.}$$

Расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период  $Q_h^y$ , МДж определяется по формуле Г.2 [4]:

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) \nu \zeta] \beta_h, \quad (1.44)$$

где  $\nu$  - коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение  $\nu = 0,8$ ;

$\zeta$  - коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления;  $\zeta = 0,95$  - в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;

$\beta_h$  - коэффициент, учитывающий дополнительное тепlopотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплого потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными тепlopотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, тепlopотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения; для многосекционных и других протяженных зданий  $\beta_h = 1,13$ .

$$Q_h^y = [582070 - (291700 + 32240) \cdot 0,8 \cdot 0,95] \times 1,13 = 379540 \text{ МДж.}$$

**Расчетный удельный расход тепловой энергии** на отопление здания  $q_h^{des}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут), определяем по формуле

$$q_h^{des} = 10^3 Q_h^y / (A_h D_d), \quad (1.45)$$

$$q_h^{des} = 10^3 \cdot 379540 / (923,7 \cdot 5418) = 75,84 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут)}$$

**Нормируемый удельный расход тепловой энергии** на отопление 3-х этажного жилого дома  $q_h^{req}$  принимаем в по таблице П1.9 Приложения 1, выполнив интерполяцию при значении отапливаемой площади  $A_h = A_l = 923,7 \text{ м}^2$ :

$$q_h^{req} = 75 - (1000 - 923,7) \frac{75 - 85}{1000 - 600} = 76,9 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут)}.$$

**Расчетный удельный расход тепловой энергии** меньше **нормируемого** значения. Проект жилого здания *соответствует требованиям*. Пример заполнения *энергетического паспорта* здания приведен в табл. П1.12 Приложения 1.

## ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

### 1.1. Общие положения

На теплоснабжение зданий расходуется до 40 % добываемого топлива, поэтому даже незначительное снижение потерь теплоты обеспечивает существенную экономию теплоэнергетических ресурсов. В последние годы кардинально изменились требования к *тепловой защите зданий*. Она должна обеспечивать не только *санитарно-гигиенические* параметры микроклимата помещений, но и *экономию энергии* при эксплуатации здания.

Требуемые теплозащитные и другие эксплуатационные качества наружных ограждений достигаются на основе *теплотехнических расчетов* путем целесообразного выбора строительных материалов с учетом их физико-технических свойств и рационального решения конструкций.

Современные нормативные документы по тепловой защите зданий устанавливают требования к *сопротивлению теплопередаче* ограждающих конструкций, к ограничению *температуры* и *конденсации влаги* на их внутренней поверхности, к *теплоустойчивости* и *воздухопроницаемости* наружных ограждений, а также к защите от *переувлажнения*.

Все эти требования рассматриваются в данном разделе на конкретных примерах.

### 1.2. Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха

Согласно п. 5.10 [1], в качестве расчетных параметров **наружного воздуха** следует принимать:

- *параметры А* - для систем вентиляции и воздушного душирования для теплого периода года;
- *параметры Б* - для систем отопления, вентиляции и воздушного душирования для холодного периода года, а также для систем кондиционирования для теплого и холодного периодов года.

Параметры **внутреннего воздуха** помещений (микроклимат) должны соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям в зависимости от функционального или технологического назначения помещений. *Микроклимат* помещений характеризуется температурой внутреннего воздуха  $t_{int}$ , радиационной температурой внутренних поверхностей ограждений  $t_R$ , относительной влажностью воздуха  $\varphi$  и скоростью его движения в помещении  $V_{int}$ .

*Гигиенические требования* к микроклимату помещений регламентируются нормами [2] и учитывают указанные выше факторы, а также тип физической деятельности людей, находящихся в помещении. Например, микроклимат жи-

лых помещений, где человек находится в относительном покое, определяют факторы, приведенные в Приложении 1, табл. П1.1.

**Пример 1.** Выбрать расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха для проектирования систем отопления и вентиляции жилого дома, план типового этажа и разрез которого показан на рис.1 и 2. Район строительства - г. Казань.

Параметры наружного воздуха принимаем согласно табл. 1 и 2 [3]. За расчетную температуру в холодный период года принимаем температуру воздуха *наиболее холодной пятидневки* обеспеченностью 0.92\*. В теплый период - среднюю максимальную температуру воздуха *наиболее теплого месяца*. Выбранные параметры для наружного воздуха сводим в табл.1.1.

Таблица 1.1

Период года	Параметры А			Параметры Б		
	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с
<i>Теплый</i>	24.7	69.0	3.8	-	-	-
<i>Холодный</i>	-	-	-	-32.0	83.0	4.3

Требуемые параметры микроклимата для помещений жилых и общественных зданий приведены в табл. П1.1 и П1.2 (Приложение 1). В таблицу 1.2 заносим основные требования к параметрам внутреннего воздуха для систем отопления и вентиляции проектируемого жилого дома.

Таблица 1.2

Помещение	Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С	Относительная влажность φ, %	Норма притока и количество удаляемого воздуха из помещения, м <sup>3</sup> /ч
Жилая комната с одной наружной стеной	20	55	3 м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup> помещения
То же, угловая	22	55	То же
Кухня с 4 <sup>x</sup> конфорочной газовой плитой	18	Не нормируется	90 м <sup>3</sup> /ч
Ванная комната	25	Не нормируется	25 м <sup>3</sup> /ч
Уборная	16	Не нормируется	25 м <sup>3</sup> /ч
Совмещенное помещение уборной и ванной	25	Не нормируется	50 м <sup>3</sup> /ч
Лестничная клетка	16	Не нормируется	-

\* В качестве показателя обеспеченности принимают величину, которая показывает в долях единицы число случаев, когда недопустимо отклонение от расчетных условий. Так, например, коэффициент обеспеченности 0.92 означает, что только в течение 8 зим из 100 могут быть отклонения выбранных параметров наружного воздуха от расчетных значений.

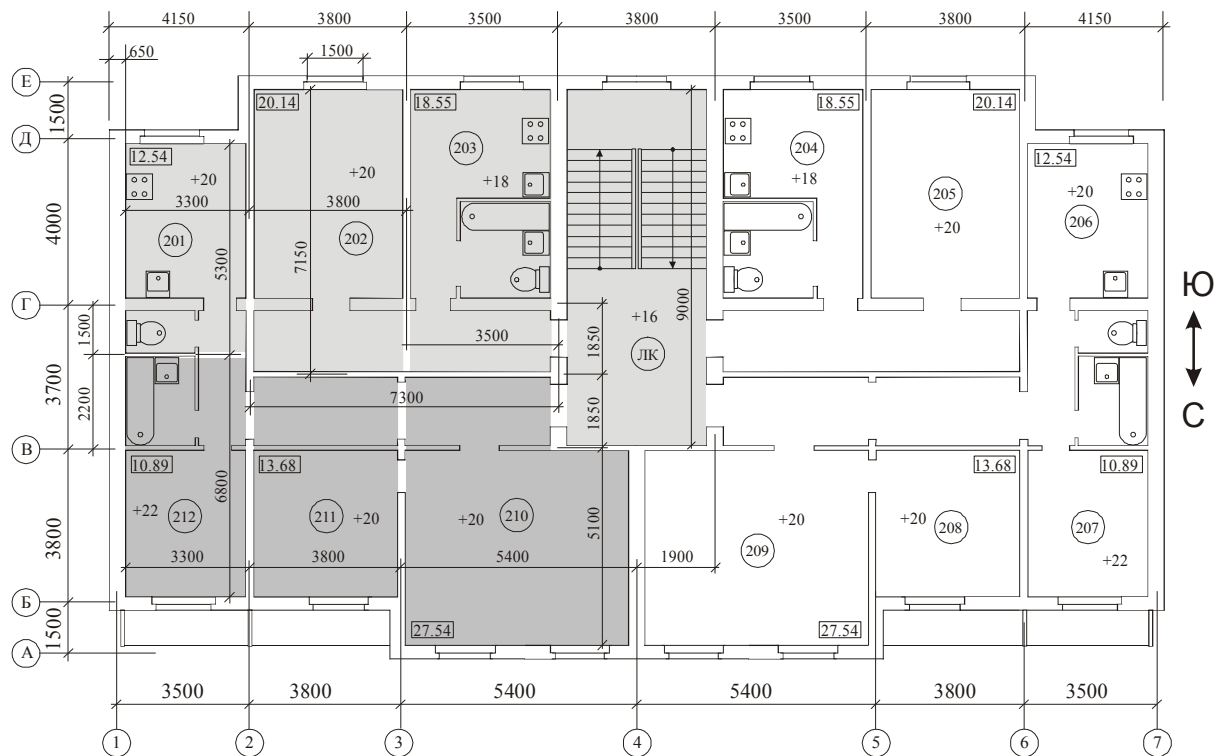


Рис. 1. К примеру 1.  
План 2 этажа расчетного многоквартирного жилого дома для г. Казани

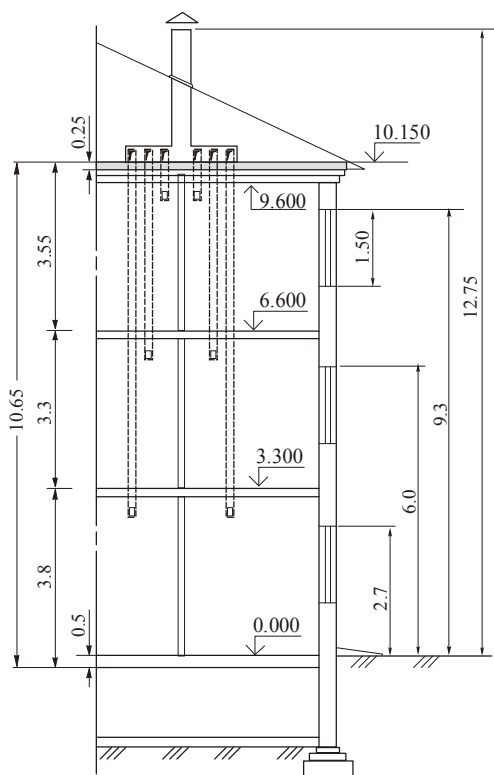


Рис. 2. К примеру 1.  
Разрез расчетного многоквартирного дома

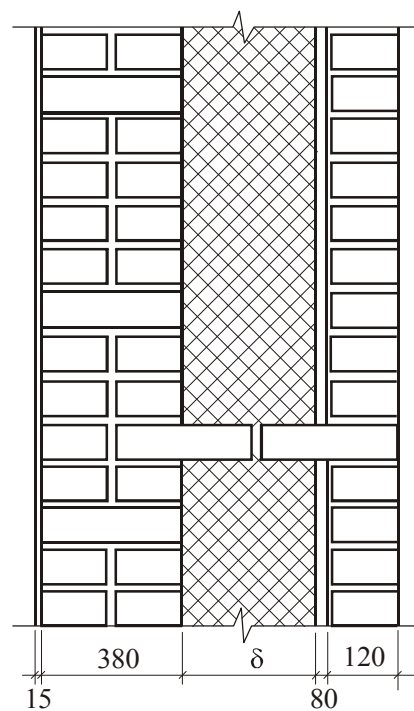


Рис. 3. К примеру 2.  
Конструкция наружной стены

### 1.3. Определение сопротивления теплопередаче конструкции ограждения

Одним из требований, предъявляемых к наружным ограждениям зданий, является условие, чтобы величина их **приведенного** (фактического) *сопротивления теплопередаче*  $R_o$ ,  $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$  была не меньше **нормируемого** (требуемого) значения  $R_{req}$ . Нормируемое сопротивление теплопередаче  $R_{req}$  установлено для каждой ограждающей конструкции на принципах обеспечения санитарно-гигиенических требований внутри помещения и ограничения теплопотерь в отопительный период.

*Нормируемое* значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции  $R_{req}$ , принимается по [4] в зависимости от величины *градусо-суток отопительного периода*  $D_d$ ,  $\text{°C}\cdot\text{сут}$ , определяемой по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht}, \quad (1.1)$$

где  $t_{int}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха помещений здания,  $\text{°C}$ ;

$t_{ht}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период,  $\text{°C}$ ;

$z_{ht}$  – продолжительность отопительного периода, сут.

*Приведенное* сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции  $R_o$  с последовательно расположенными **однородными** слоями определяется по формуле

$$R_o = R_{si} + R_k + R_{se}, \quad (1.2)$$

где  $R_{si} = \frac{1}{\alpha_{int}}$ ,  $\alpha_{int}$  – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности конструкции,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{°C}$ ;

$R_k$  – термическое сопротивление теплопроводности ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями,  $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ ;

$R_{se} = \frac{1}{\alpha_{ext}}$ ,  $\alpha_{ext}$  – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности конструкции для условий холодного периода,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{°C}$ .

Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha$  характеризуют интенсивность теплообмена между поверхностью ограждающей конструкции и окружающей средой.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции с **неоднородными** слоями  $R_{o(r)}$ ,  $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$  рассчитывается с учетом коэффициента теплотехнической однородности  $r$ , принимаемого по [5] в зависимости от вида и величины теплопроводных включений (связей и т.п.)

$$R_{o(r)} = R_o \cdot r. \quad (1.3)$$

*Термическое сопротивление* теплопроводности ограждающей конструкции  $R_k$  с последовательно расположенными однородными слоями определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоев

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{al}, \quad (1.4)$$



где  $R_1, R_2 \dots R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции;  
 $R_{a1}$  – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки (если присутствует).

Термическое сопротивление теплопроводности  $R$ ,  $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$  отдельного *однородного слоя* ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1.5)$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя конструкции, м;

$\lambda_i$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$ .

Коэффициент  $\lambda$  является физическим параметром вещества, характеризует способность тел проводить теплоту и зависит от структуры материала, его пористости и влажности.

Величина, обратная сопротивлению теплопередаче, носит название **коэффициент теплопередачи**  $k$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ . Он характеризует интенсивность передачи теплоты от внутреннего воздуха помещения к наружному воздуху через разделяющую их ограждающую конструкцию здания. Коэффициент теплопередачи численно равен количеству теплоты, которое передается через единицу площади поверхности ограждения в единицу времени при разности температур между внутренним и наружным воздухом в один градус. Значение коэффициента теплопередачи необходимо для определения теплотерь через ограждающие конструкции здания.

**Пример 2.** Определить термическое сопротивление и толщину утеплителя многослойной ограждающей конструкции наружной стены (рис. 3) жилого дома. Район строительства - г. Казань.

Наружные климатические условия и параметры внутреннего воздуха принимаем из условий примера 1:

- расчетная температура наружного воздуха  $t_{ext} = -32 \text{ °C}$  [1];
- расчетная средняя температура внутреннего воздуха для холодного периода года  $t_{int} = 21 \text{ °C}$  [2];
- оптимальная влажность воздуха внутри здания для холодного периода года  $\varphi_{int} = 55 \%$  [2];
- средняя температура наружного воздуха отопительного периода  $t_{ht} = -5.7 \text{ °C}$  [3];
- продолжительность отопительного периода  $z_{ht} = 218$  сут [3].

Согласно формуле (1.1) значение градусо-суток отопительного периода

$$D_d = (21 + 5,7)218 = 5820,6 \text{ °C} \cdot \text{сут.}$$

Найденному значению  $D_d$  соответствует *нормируемое* значение сопротивления теплопередаче наружной стены  $R_{req} = 3,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (см. табл. П1.3 Приложения 1).

*Коэффициент теплотехнической однородности* стен из кирпича с утеплителем для жилых зданий  $r = 0,7$  [5]. С учетом этого коэффициента определим *требуемое* значение сопротивления теплопередачи конструкции

$$R_{reg(r)} = \frac{R_{reg}}{r} = \frac{3,44}{0,7} = 4,91 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт.}$$

Уравнение (1.4) для термического сопротивления теплопроводности наружной стены в нашем случае запишется в следующем виде:

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{a1}, \text{ м}^2\text{°C/Вт}, \quad (1.6)$$

- где  $R_1$  – термическое сопротивление слоя штукатурки из цементно-песчаного раствора,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  
 $R_2$  – термическое сопротивление слоя внутренней кладки из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  
 $R_3$  – термическое сопротивление слоя теплоизоляционного материала из пенополистирола,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  
 $R_4$  – термическое сопротивление слоя наружной кладки из пустотного керамического кирпича на цементно-песчаном растворе,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  
 $R_{a1}$  – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ .

Расчетные значения *коэффициента теплопроводности* материалов отдельных слоев  $\lambda_i$  принимаем по приложению Е [5] в зависимости от условий эксплуатации ограждающей конструкции. Согласно табл.2 [4] влажностному режиму помещений «нормальный» в зоне влажности района строительства «нормальная» соответствуют условия эксплуатации Б.

Тогда:

- $\lambda_1 = 0.93 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$  – коэффициент теплопроводности слоя штукатурки из цементно-песчаного раствора;
- $\lambda_2 = 0.76 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$  – то же, слоя внутренней кладки из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе;
- $\lambda_3 = 0.05 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$  – то же, слоя теплоизоляционного материала из пенополистирола, (см. табл. П1.8 Приложения 1);
- $\lambda_4 = 0.64 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$  – то же, слоя наружной кладки из пустотного керамического кирпича на цементно-песчаном растворе.

Конструктивные размеры слоев наружной стены следующие:

- $\delta_1 = 0.015 \text{ м}$  – толщина слоя штукатурки из цементно-песчаного раствора;
- $\delta_2 = 0.38 \text{ м}$  – толщина слоя внутренней кладки из силикатного кирпича;
- $\delta_3$  – искомая толщина утеплителя, м;
- $\delta_4 = 0.12 \text{ м}$  – толщина слоя наружной кладки из пустотного керамического кирпича.

Определяем термические сопротивления теплопроводности материалов отдельных слоев конструкции по формуле (1.5):

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.015}{0.93} = 0.016 \text{ м}^2\text{°C/Вт}; \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.38}{0.76} = 0.5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}; \quad R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.12}{0.64} = 0.187 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки принимаем по приложению 4 [5]:

$$R_{a1} = 0.165 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

Для определения необходимой *толщины слоя утеплителя* ( $\delta_3$ ) примем, что  $R_o = R_{reg(r)}$ . Тогда, согласно уравнению (1.2) имеем:

$$R_{reg(r)} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + R_{a1} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \text{ м}^2\text{°C/Вт}, \quad (1.7)$$

где  $\alpha_{int} = 8.7 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$  – по табл.7[4] (табл.П1.5);  $\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$  – по табл. 6\* [5] (табл.П1.6).

Отсюда искомая величина толщины слоя утеплителя может быть определена из формулы

$$\delta_3 = \left( R_{reg(r)} - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} - R_{al} - \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \lambda_3; \quad (1.8)$$

$$\delta_3 = \left( 4,9 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,015}{0,93} - \frac{0,38}{0,76} - \frac{0,12}{0,64} - 0,165 - \frac{1}{23} \right) 0,05 = 0,195 \text{ м.}$$

После приведения величины  $\delta_3$  к стандартной толщине слоя утеплителя получим окончательное значение  $\delta_3=0,2$  м. Подставив эту величину  $\delta_3$  в формулу (1.2), найдем *действительное термическое сопротивление* ограждающей конструкции с однородными слоями

$$R_o = \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{0,38}{0,76} + \frac{0,2}{0,05} + 0,165 + \frac{0,12}{0,64} + \frac{1}{23} \right) = 5,05 \text{ м}^2\text{°C/Вт.}$$

С учетом теплотехнической неоднородности стены имеем

$$R_{o(r)} = r \cdot R_o = 0,7 \cdot 5,05 = 3,52 \text{ м}^2\text{°C/Вт.}$$

Таким образом,  $R_{o(r)} > R_{req}$ , что отвечает требованиям [4].

#### 1.4. Расчет стационарного температурного поля в ограждении

При проектировании ограждающей конструкции необходимо знать не только величину его сопротивления теплопередаче, но и температуры в любой плоскости при заданных значениях температур воздуха с одной и с другой стороны ограждений. Эти сведения дают возможность определить условия *конденсации влаги* в толще конструкции и правильно определить место расположения теплоизоляционных и пароизоляционных слоев.

Особое значение для теплотехнической оценки ограждения имеет величина температуры на его внутренней поверхности, так как по ней оценивается возможность появления конденсата на поверхности.

При **стационарном** режиме теплопередачи через ограждение *температура в любой плоскости x* определяется по формуле:

$$t_x = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} R_{int-x}, \text{ °C} , \quad (1.9)$$

где  $R_{int-x}$  – сумма термических сопротивлений части конструкции от внутренней поверхности ограждения до рассматриваемой плоскости  $x$ ,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;

$R_o$  - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;

$t_{int}$  – расчетная средняя температура воздуха в помещениях здания, °C;

$t_{ext}$  – расчетная средняя температура наружного воздуха в холодный период года, °C.

**Пример 3.** Рассчитать стационарное температурное поле в наружной стене, конструкция которой приведена на рис.3.

Расчет стационарного режима теплопередачи через стену проводим при заданном сопротивлении теплопередаче конструкции  $R_o = 5,05 \text{ м}^2 \text{°C/Вт}$ . Определяем температуры на границах слоев наружной стены по формуле (1.9):

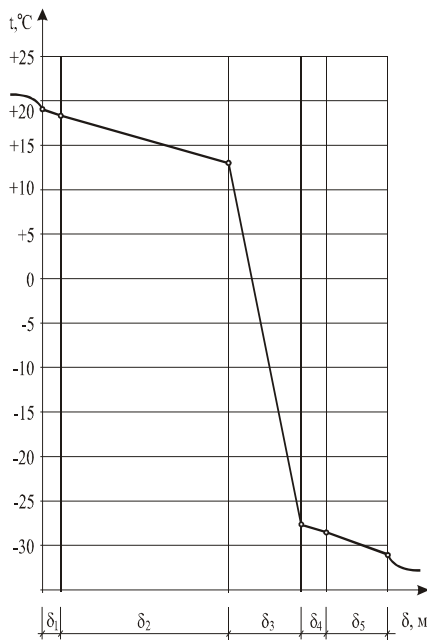


Рис.4.

$$t_{x1} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} R_{si} = 21 - \frac{21 + 32}{5.05} 0.115 = 19.8 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{x2} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} (R_{si} + R_1) = 21 - \frac{21 + 32}{5.05} 0.131 = 19.6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{x3} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} (R_{si} + R_1 + R_2) = 21 - \frac{21 + 32}{5.05} 0.631 = 14.4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{x4} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3) = 21 - \frac{21 + 32}{5.05} 4.631 = -27.6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{x5} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = 21 - \frac{21 + 32}{5.05} 4.796 = -29.4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{x6} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{a1}) = 21 - \frac{21 + 32}{5.05} 4.983 = -31.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

График распределения температур по толщине конструкции наружной стены приведен на рис. 4.

### 1.5. Проверка конструкции ограждения на теплоустойчивость

Свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры внутренней поверхности при периодическом изменении проходящего через нее теплового потока называется *теплоустойчивостью* ограждения. Теплоустойчивость конструкции зависит не только от характеристик слоев материалов, но и от порядка их расположения. Наличие воздушной прослойки увеличивает теплоустойчивость конструкции.

Периодические изменения температур воздуха вызывают изменения температуры внутренней поверхности ограждения. В зимних условиях при небольших значениях  $R_o$  это может приводить к понижению температуры на поверхности ниже *температуры точки росы* и к образованию на ней *конденсата*.

В летних условиях под действием *солнечной радиации* и высокой температуры воздуха ограждение сильно нагревается. Часть тепла проникает через его толщу, повышая температуру внутренней поверхности. При недостаточной теплоустойчивости это приводит к значительному повышению температуры воздуха в помещении и, следовательно, к нарушению комфортных условий.

Теплоустойчивость ограждения оценивают безразмерной величиной *тепловой инерции*  $D$ , которая определяется по формуле

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + R_3 S_3 + \dots + R_n S_n, \quad (1.10)$$

где  $R_i$  - термические сопротивления теплопроводности материальных слоев ограждения,  $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$S_i$  - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала слоев,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

### 2.1 Расчет теплотерь и составление тепловых балансов помещений

В холодное время года каждое помещение жилого здания теряет теплоту при теплопередаче через наружные ограждения. Эти потери называют *трансмиссионными*. Так же, но в меньшей степени теплота помещения теряется через внутренние ограждения, отделяющие данное помещение от смежных с более низкой температурой воздуха.

Кроме того, теплота расходуется на *нагревание наружного воздуха*, который проникает (*инфильтруется*) в помещение через неплотности наружных ограждений естественным путем (за счет разности давлений наружного и внутреннего воздуха, а также под действием ветра) и за счет работы системы вытяжной вентиляции квартир. Инфильтрация происходит через неплотности и щели в конструкциях окон, балконных дверей, через наружные и внутренние двери, а также через стыки стеновых панелей. Инфильтрацию воздуха через оштукатуренные кирпичные и крупнопанельные стены можно не учитывать из-за их высокого сопротивления воздухопроницанию.

В установившемся (стационарном) режиме потери теплоты равны ее *поступлениям* в помещение от людей, бытового оборудования, источников искусственного освещения. Такие теплопоступления называют *бытовыми*.

Учёт всех перечисленных составляющих потерь и поступления теплоты необходим для определения *дефицита* или *избытка* ее в помещении. Избыток теплоты ( $+\Delta Q$ ) обычно ассимилируется системой вентиляции. Наличие дефицита теплоты ( $-\Delta Q$ ) указывает на необходимость устройства в помещении отопления.

Для определения расчётной тепловой мощности отопительных приборов и системы отопления всего жилого здания  $Q_h$  составляется *баланс расходов теплоты* для каждого помещения при расчётных условиях наружного воздуха в холодный период года:

$$\Delta Q = Q_{tr} + Q_{inf} - Q_{int}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{tr}$  – трансмиссионные теплотопери, Вт;  
 $Q_{inf}$  – расход теплоты на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение путем инфильтрации, Вт;  
 $Q_{int}$  – бытовые поступления теплоты, Вт.

*Трансмиссионные теплотопери* через отдельные ограждающие конструкции определяются по формуле:

$$Q_{tr} = K \cdot A \cdot (t_p - t_{ext}) \cdot n \cdot (1 + \Sigma \beta), \quad (2.2)$$

где  $A$  – расчетная площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>, правила обмера которой приведены в Приложении 2;  
 $K$  – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/м<sup>2</sup>°С;  
 $t_p$  – расчетная температура воздуха в помещении, °С;

$t_{ext}$  – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода - при расчете потерь теплоты через наружные ограждения; температура воздуха более холодного помещения - при расчете потерь теплоты через внутренние ограждения, °С;  
 $n$  – коэффициент, принимаемый по табл. П1.7 Приложения 1 в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;  
 $\beta$  – поправка, учитывающая добавочные потери теплоты (в долях от основных потерь).

Поправка к основным потерям теплоты  $\beta$  учитывает:

- *ориентацию ограждения.*  
 Для наружных вертикальных и наклонных (вертикальная проекция) стен, дверей и окон, обращенных на север, восток, северо-восток и северо-запад  $\beta = 0,1$ ; для ограждений, обращенных на юго-восток и запад  $\beta = 0,05$ ;
- *наличие двух и более наружных стен.*  
 Принимается в размере двух градусов к температуре внутреннего воздуха, или в виде добавки  $\beta = 0,015$  на каждую наружную стену.
- *скорость ветра.*  
 При скорости наружного воздуха  $V \geq 5$  м/с принимается в размере  $\beta = 0.01$ .
- *высоту помещения (кроме лестничных клеток).*  
 На каждый 1 метр высоты ограждения выше четырех метров поправка  $\beta = 0.015$ .
- *частоту открывания входных наружных дверей лестничных клеток:*
  - для одинарных дверей поправка  $\beta = 0.21H$ ;
  - для двойных дверей без тамбура  $\beta = 0.27H$ ;
  - для двойных дверей с тамбуром  $\beta = 0.31H$ ;
  - для тройных дверей с двумя тамбурами между ними поправка  $\beta = 0.29H$ .

Здесь  $H$  - высота здания или лестничной клетки, м, отсчитываемая от уровня земли до карниза кровли.

Затраты теплоты на нагревание воздуха, *инфильтрующегося* в кухни, определяют по зависимости:

$$Q_{inf} = 0,278 \cdot \Sigma G_{inf} c (t_p - t_{ext}) k, \text{ Вт}, \quad (2.3)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1.005 кДж/кг°С;  
 $k$  – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока в конструкциях, равный: 0.8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами и 1 – со спаренными переплетами;  
 $\Sigma G_{inf}$  – массовый расход воздуха, инфильтрующегося через неплотности наружных ограждений за счет разности давлений воздуха внутри и снаружи ограждения, кг/ч,

$$\Sigma G_{inf} = \frac{0,21 \Sigma \Delta p_1^{0,67} \cdot A_1}{R_{u1}} + \frac{\Sigma \Delta p_2^{0,5} \cdot A_2}{R_{u2}}. \quad (2.4)$$

Здесь  $A_1, R_{u1}$  – соответственно, площадь, м<sup>2</sup>, окон и балконных дверей и сопротивление их воздухопроницанию, м<sup>2</sup>·ч/кг;  $A_2, R_{u2}$  – то же, наружных и внутренних дверей ( $R_{u2}$  следует принимать равным: для дверей помещений – 0.3, для дверей при входе из коридоров на открытые пожарные лестницы или лоджии – 0.47);

$\Delta p_1, \Delta p_2$  – разность давлений воздуха, Па, на наружной и внутренней поверхностях, соответственно, окон и наружных дверей  $i$ -го этажа, рассчитываемая по формуле

$$\Delta p_i = g(H - h_i) (\rho_{ext} - \rho_p) + 0,5 \rho_{ext} v^2 (c_{en} - c_{ep}) k_l - p_{int}, \quad (2.5)$$

$H$  - высота здания, м, от уровня земли до верха карниза;

$h_i$  - расчетная высота, м, отсчитываемая от уровня земли до верха окон и дверей  $i$ -го этажа;

$\rho_{ext}$ ,  $\rho_p$  и  $v$  - то же, что в формуле (1.19);

$c_{en}$ ,  $c_{ep}$  - аэродинамические коэффициенты, соответственно, для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания; для отдельно стоящих плоских сплошных конструкций  $c_{en} = 0.8$ ;  $c_{ep} = -0.6$ ;

$p_{int}$  - условно-постоянное давление воздуха, Па, в помещениях (зданиях), имеющих системы вентиляции с искусственным побуждением; при расчете  $p_{int}$ , учитывается дисбаланс масс воздуха, подаваемых и удаляемых этими системами из помещения; в частности, в жилых зданиях с естественной вытяжной вентиляцией, не компенсируемой приточным воздухом, принимается равным 0.

$k_l$  - коэффициент, учитывающий изменение скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания (табл. П2.1 Приложения 2).

Для жилых комнат определяют затраты теплоты  $Q_a$  на нагрев приточного (вентиляционного) воздуха, количество которого нормируется по [1]

$$Q_a = 0,278 \cdot L \cdot \rho_{ext} \cdot c \cdot (t_p - t_{ext}), \quad (2.6)$$

где  $L$  - нормативный объемный расход вентиляционного воздуха (при естественной вентиляции), не компенсируемый подогретым приточным воздухом,  $L = 3 \cdot A_f$ , м<sup>3</sup>/ч;

$A_f$  - площадь пола жилого помещения, м<sup>2</sup>;

$\rho_{ext}$  - плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

*Бытовые поступления теплоты* для жилых помещений и кухни определяют по формуле

$$Q_{int} = q_{int} \cdot A_f, \quad (2.7)$$

где  $q_{int}$  - величина бытовых тепловыделений на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений и кухни, Вт/м<sup>2</sup>, принимаемая для:

- жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (при расчетной заселенности квартиры 20 м<sup>2</sup> общей площади на человека и менее)  $q_{int} = 17$  Вт/м<sup>2</sup>;
- жилых зданий без ограничения социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 45 м<sup>2</sup> общей площади на человека и более)  $q_{int} = 10$  Вт/м<sup>2</sup>;
- других жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции величины  $q_{int}$  между 17 и 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Тепловая мощность *системы отопления* во всех случаях больше расчетных потерь теплоты отапливаемого здания из-за неизбежного завышения поверхностей принимаемых к установке отопительных приборов (за счет округления их до ближайшего типоразмера или целого числа секций), теплоотдачи трубопроводов в неотапливаемых помещениях, увеличенных теплотерь “зарadiatorными” участками наружных ограждений. Поэтому, наряду с расчетными теплотерями зданий, следует рассчитывать величину теплового потока системы отопления.

Тепловая мощность системы отопления  $Q_{sh}$ , кВт находится по формуле

$$Q_{sh} = Q_h \beta_1 \beta_2 + Q_{ad} \quad (2.8)$$

где  $Q_h$  – расчетные теплотери отапливаемого здания, Вт;

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий теплоотдачу дополнительной площади принимаемых к установке отопительных приборов за счет округления сверх расчетной площади, определяется по следующим значениям:

шаг номенклатурного ряда отопительных приборов, Вт . . . . . 0,12; 0,15; 0,18; 0,21; 0,24;  
значение коэффициента  $\beta_1$  . . . . . 1,02; 1,03; 1,04; 1,06; 1,08;

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери из-за размещения отопительных приборов у наружных ограждений, принимаемый по табл. П2.2 Приложения 2;

$Q_{ad}$  – дополнительные потери теплоты, связанные с остыванием теплоносителя в подающих и обратных магистралях, проходящих в неотапливаемых помещениях, Вт.  $Q_{ad}$  определяются на основе данных табл. П2.3 Приложения 2 о теплоотдаче изолированных труб при коэффициенте эффективности теплоизоляции 0.75.

**Пример 9.** Выполнить расчет теплотерь помещений трехэтажного жилого дома для г. Казани. План типового этажа здания показан на рис.1. Главный фасад здания (со стороны входной двери) ориентирован на Юг.

Наружные климатические условия и параметры внутреннего воздуха соответствуют значениям, приведенным в Примере 1. Расчетные коэффициенты теплопередачи ограждений сведены в табл.2.1.

Таблица 2.1

Наименование ограждения	Обозн.	$R^r, \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$	$K = 1/R^r, \text{ Вт}/\text{м}^2\text{C}$
Наружная стена (см. Пример 2)	НС	3.52	0.284
Внутренняя стена	ВС	0.40	2.500
Чердачное перекрытие	Пт	3.61	0.277
Перекрытие над холодным подвалом	Пл	4.46	0.224
Окна с тройным остеклением в отдельных деревянных переплетах	ТО	0.55	1.828
Балконная дверь с тройным остеклением	БД	0.55	1.828
Входная дверь лестничной клетки	ВД	1.74	0.575

Расчеты тепловых балансов помещений ведем в табличной форме (см. таблицу 2.2). Каждое помещение жилого дома нумеруем по часовой стрелке, начиная с верхнего левого угла плана здания. Нумерацию помещений первого этажа начинаем с номера 101, второго – с 201 и т.д. Лестничную клетку выделяем и обозначаем как одно помещение (ЛК1) с расчетной высотой  $H = 10.65$  м от уровня пола первого этажа до верха утеплителя чердачного перекрытия.

По формуле (2.2) рассчитываем *трансмиссионные теплотери* через наружные стены (НС), окна с тройным остеклением (ТО), перекрытия над неотапливаемым подвалом (Пл), перекрытия верхнего этажа (Пт), балконные (БД) и наружные входные двери (ВД). Расчеты выполняем для каждой комнаты в отдельности, учитывая потери и поступление теплоты из смежных помещений через внутренние стены (ВС), если разность температур внутреннего воздуха этих помещений больше 3 °С.

Значения коэффициентов  $n$  принимаем по табл. П1.7 Приложения 1:

- для наружных стен, окон, балконных дверей и входной двери лестничной клетки  $n = 1$ ;



- для чердачного перекрытия с кровлей из рулонных материалов  $n = 0.9$ ;
- для перекрытия над неотапливаемым подвалом без световых проемов в стенах, расположенного выше уровня земли  $n = 0.6$ .

Габариты ограждающих конструкций определяем по *правилам обмера*, приведенным в Приложении 2. Размеры окон в провет составляют -  $1.5 \times 1.5(h)$  м, балконных дверей -  $0.7 \times 2.1(h)$  м. Расчетную высоту наружных стен принимаем:

- для 1-го этажа (от низа перекрытия над подвалом до уровня чистого пола 2-го этажа)  $h = 3.8$  м;
- для 2-го этажа (по отметкам чистого пола между этажами)  $h = 3.3$  м;
- для 3-го этажа (от уровня чистого пола 2-го этажа до верха кровельного слоя чердачного перекрытия)  $h = 3.55$  м.

Для упрощения вычислений при расчете трансмиссионных потерь теплоты площадь окон и дверей из площади стен не вычитаем, а величину коэффициентов теплопередачи  $K_{ТО}$ ,  $K_{БД}$  и  $K_{ВД}$  принимаем уменьшенной на величину  $K_{НС}$  (наружной стены). Суммарные теплопотери помещения при этом не меняются.

Теплопотери коридоров, ванных комнат и санузлов отдельно не рассчитываем, а относим к смежным жилым помещениям и кухням, суммируя габариты их ограждающих конструкций. В жилых зданиях с системой центрального горячего водоснабжения это допустимо, поскольку необходимый догрев воздуха ванных комнат до нормируемых  $25^\circ\text{C}$  обеспечивается теплоотдачей от полотенцесушителей.

*Величину добавочных потерь  $\beta$*  принимаем:

- для наружных стен, балконных дверей и окон, обращенных на *Север* и *Восток* – в размере 0.1; на *Запад* – в размере 0.05;
- для конструкции наружной двери лестничной клетки (двойные двери с тамбуром между ними) - в размере  $\beta = 0,27H$  при расчетной высоте здания  $H = 10.65$  м.

Расчетная разность давлений для определения затрат теплоты на нагрев воздуха, инфильтрующегося в кухни каждого этажа, составляет:

$$\Delta p_{1\text{эт}} = 9.81(10.65 - 2.7)(1.46 - 1.21) + 0,5 \cdot 1.46 \cdot 4.3^2(0.8 - (-0.6)) \cdot 0.5 = 28.9 \text{ Па},$$

$$\Delta p_{2\text{эт}} = 9.81(10.65 - 6.0)(1.46 - 1.21) + 0,5 \cdot 1.46 \cdot 4.3^2(0.8 - (-0.6)) \cdot 0.65 = 23.7 \text{ Па},$$

$$\Delta p_{3\text{эт}} = 9.81(10.65 - 9.3)(1.46 - 1.21) + 0,5 \cdot 1.46 \cdot 4.3^2(0.8 - (-0.6)) \cdot 0.65 = 15.6 \text{ Па},$$

Для окон лестничной клетки теплопотери на инфильтрацию рассчитываем с учетом разности давления воздуха  $\Delta p$  на уровне расположения верха каждого окна по высоте здания:

$$\Delta p_{1\text{лк}} = 9.81(10.65 - 4.5)(1.46 - 1.22) + 0,5 \cdot 1.46 \cdot 4.3^2(0.8 - (-0.6)) \cdot 0.5 = 23.9 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{2\text{лк}} = 9.81(10.65 - 8.3)(1.46 - 1.22) + 0,5 \cdot 1.46 \cdot 4.3^2(0.8 - (-0.6)) \cdot 0.65 = 17.8 \text{ Па}.$$

*Бытовые теплопоступления* в жилых помещениях и кухне определяем по формуле (2.7), применяя норму теплопоступлений на  $1\text{ м}^2$  площади пола в размере  $q_{\text{инт}} = 17 \text{ Вт/м}^2$ .

Результаты расчета затрат теплоты на инфильтрацию, значения теплопоступлений и балансы теплоты в помещениях жилого дома, полученные по формуле (2.1), приведены в графе 17 табл. 2.2.

Расчетные потери теплоты здания составляют  $Q_h = 64448 \text{ Вт}$ .

Таблица 2.1

## Расчет теплотерь помещений жилого дома

№ пом.	Наименование помещения	$t_{int}$ , °C	Характеристики ограждения					$\Delta t$ , °C	$n$	Основные потери $Q$ , Вт	Добавки $\beta$		Потери через ограждение $Q_{tr}$ , Вт	Затраты на инфильт. $Q_{inf}$ Вт	Бытовые тепло-поступл. $Q_{int}$ Вт	Тепло-потери помещения $\Delta Q$ , Вт
			Обозн.	Ориен.	Размеры $a \times b$ , м	$A$ , м <sup>2</sup>	$K$ , $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$				На ориен.	Другие				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Помещения первого этажа</b>																
101	Кухня (угловая)	20	НС	Ю	4,10×3,80	15,58	0,284	52	1,0	230	-	-	230			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	В	6,10×3,80	23,18	0,284	52	1,0	342	0,10	-	377			
			Пл	-	5,30×3,30	17,49	0,224	52	0,6	122	-	-	122			
														$\Sigma$ 908	910	297
102	Жилая комната	20	НС	Ю	4,40×3,80	16,72	0,284	52	1,0	247	-	-	247			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	В	2,10×3,80	7,98	0,284	52	1,0	118	0,10	-	130			
			Пл	-	3,30×7,15	23,60	0,224	52	0,6	165	-	-	165			
														$\Sigma$ 721	1228	401
103	Кухня	18	НС	Ю	3,50×3,80	13,30	0,284	50	1,0	189	-	-	189			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	50	1,0	173	-	-	173			
			Пл	-	3,50×7,15	25,03	0,224	50	0,6	168	-	-	168			
														$\Sigma$ 530	1252	425
104	Кухня	см. помещение 103														1356
105	Жилая комната	20	НС	Ю	4,40×3,80	16,72	0,284	52	1,0	247	-	-	247			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	З	2,10×3,80	7,98	0,284	52	1,0	118	0,05	-	124			
			Пл	-	3,30×7,15	23,60	0,224	52	0,6	165	-	-	165			
														$\Sigma$ 715	1228	401

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
106	Кухня (угловая)	20	НС	Ю	4,10×3,80	15,58	0,284	52	1,0	230	-	-	230			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	З	6,10×3,80	23,18	0,284	52	1,0	342	0,05	-	359			
			Пл	-	5,30×3,30	17,49	0,224	52	0,6	122	-	-	122			
															Σ 891	910
107	Жилая комната (угловая)	22	НС	С	4,10×3,80	15,58	0,284	54	1,0	239	0,10	-	263			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	54	1,0	149	0,10	-	164			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	54	1,0	122	0,10	-	134			
			НС	З	6,80×3,80	25,84	0,284	54	1,0	396	0,05	-	416			
			Пл	-	6,00×3,30	19,80	0,224	54	0,6	144	-	-	144			
												Σ 1121	1070	337	1854	
108	Жилая комната	20	НС	С	3,80×3,80	14,44	0,284	52	1,0	213	0,10	-	235			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	52	1,0	144	0,10	-	158			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	52	1,0	117	0,10	-	129			
			Пл	-	3,80×5,45	20,71	0,224	52	0,6	145	-	-	145			
															Σ 666	1078
109	Жилая комната	20	НС	С	6,00×3,80	22,80	0,284	52	1,0	337	0,10	-	370			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			НС	З	2,10×3,80	7,98	0,284	52	1,0	118	0,05	-	124			
			ВС	-	1,60×3,80	6,08	2,500	4	1,0	61	-	-	61			
			ВС	-	1,85×3,80	7,03	2,500	4	1,0	70	-	-	70			
			Пл	-	5,20×5,10	26,52	0,224	52	0,6	185	-	-	185			
			Пл	-	3,60×1,85	6,66	0,224	52	0,6	47	-	-	47			
															Σ 1252	1727
110	Жилая комната	20	НС	С	6,00×3,80	22,80	0,284	52	1,0	337	0,10	-	370			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			НС	В	2,10×3,80	7,98	0,284	52	1,0	118	0,10	-	130			
			ВС	-	1,60×3,80	6,08	2,500	4	1,0	61	-	-	61			
			ВС	-	1,85×3,80	7,03	2,500	4	1,0	70	-	-	70			

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			Пл	-	5,20×5,10	26,52	0,224	52	0,6	185	-	-	185			
			Пл	-	3,60×1,85	6,66	0,224	52	0,6	47	-	-	47			
													Σ 1258	1727	564	2421
111	Жилая комната	20	см. помещение 108													1392
112	Жилая комната (угловая)	22	НС	С	4,10×3,80	15,58	0,284	54	1,0	239	0,10	-	263			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	54	1,0	149	0,10	-	164			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	54	1,0	122	0,10	-	134			
			НС	В	6,80×3,80	25,84	0,284	54	1,0	396	0,10	-	436			
			Пл	-	6,00×3,30	19,80	0,224	54	0,6	144	-	-	144			
													Σ 1140	1228	337	2032
<b>И т о г о по первому этажу:</b>																<b>20332</b>
<b>Помещения второго этажа</b>																
201	Кухня (угловая)	20	НС	Ю	4,10×3,30	13,53	0,284	52	1,0	200	-	-	200			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	В	6,10×3,30	20,13	0,284	52	1,0	297	0,10	-	327			
															Σ 706	910
202	Жилая комната	20	НС	Ю	4,40×3,30	14,52	0,284	52	1,0	214	-	-	214			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	В	2,10×3,30	6,93	0,284	52	1,0	102	0,10	-	113			
												Σ 506	1228	401	1333	
203	Кухня	18	НС	Ю	3,50×3,30	11,55	0,284	50	1,0	164	-	-	164			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	50	1,0	173	-	-	173			
														Σ 337	1252	425
204	Кухня	18	см. помещение 203													1164
205	Жилая комната	20	НС	Ю	4,40×3,30	14,52	0,284	52	1,0	214	-	-	214			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	З	2,10×3,30	6,93	0,284	52	1,0	102	0,05	-	107			
															Σ 501	1228

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
206	Кухня (угловая)	20	НС	Ю	4,10×3,30	13,53	0,284	52	1,0	200	-	-	200			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	З	6,10×3,30	20,13	0,284	52	1,0	297	0,05	-	312			
						Σ 691			910			297			1304	
207	Жилая комната (угловая)	22	НС	С	4,10×3,30	13,53	0,284	54	1,0	207	0,10	-	228			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	54	1,0	149	0,10	-	164			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	54	1,0	122	0,10	-	134			
			НС	З	6,80×3,30	22,44	0,284	54	1,0	344	0,05	-	361			
			Σ 888			1070			337			1621				
208	Жилая комната	20	НС	С	3,80×3,30	12,54	0,284	52	1,0	185	0,10	-	204			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	52	1,0	144	0,10	-	158			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	52	1,0	117	0,10	-	129			
						Σ 491			1078			352			1217	
209	Жилая комната	20	НС	С	6,00×3,30	19,80	0,284	52	1,0	292	0,10	-	322			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			НС	З	2,10×3,30	6,93	0,284	52	1,0	102	0,05	-	107			
			ВС	-	1,60×3,30	5,28	2,500	4	1,0	53	-	-	53			
			ВС	-	1,85×3,30	6,11	2,500	4	1,0	61	-	-	61			
			Σ 938			1727			564			2101				
210	Жилая комната	20	НС	С	6,00×3,30	19,80	0,284	52	1,0	292	0,10	-	322			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			НС	В	2,10×3,30	6,93	0,284	52	1,0	102	0,10	-	113			
			ВС	-	1,60×3,30	5,28	2,500	4	1,0	53	-	-	53			
			ВС	-	1,85×3,30	6,11	2,500	4	1,0	61	-	-	61			
			Σ 943			1727			564			2106				

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
211	Жилая комната	20	см. помещение 208													1217
212	Жилая комната (угловая)	22	НС	С	4,10×3,30	13,53	0,284	54	1,0	207	0,10	-	Σ228			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	54	1,0	149	0,10	-	164			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	54	1,0	122	0,10	-	134			
			НС	В	6,80×3,30	22,44	0,284	54	1,0	344	0,10	-	379			
													Σ 905	1228	337	1796
<b>И т о г о по второму этажу:</b>																<b>17670</b>
<b>Помещения третьего этажа</b>																
301	Кухня (угловая)	20	НС	Ю	4,10×3,55	14,56	0,284	52	1,0	215	-	-	215			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	В	6,10×3,50	21,66	0,284	52	1,0	320	0,10	-	352			
			Пт	-	5,30×3,30	17,49	0,277	52	0,9	227	-	-	227			
													Σ 973	910	297	1586
302	Жилая комната	20	НС	Ю	4,40×3,55	15,62	0,284	52	1,0	231	-	-	231			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	В	2,10×3,55	7,46	0,284	52	1,0	110	0,10	-	121			
			Пт	-	3,30×7,15	23,60	0,277	52	0,9	306	-	-	306			
													Σ 837	1228	401	1664
303	Кухня	18	НС	Ю	3,50×3,55	12,43	0,284	50	1,0	176	-	-	176			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	50	1,0	173	-	-	173			
			Пт	-	3,50×7,15	25,03	0,277	50	0,9	312	-	-	312			
													Σ 661	1252	425	1488
304	Кухня	18	см. помещение 303													1488
305	Жилая комната	20	НС	Ю	4,40×3,55	15,62	0,284	52	1,0	231	-	-	231			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	З	2,10×3,55	7,46	0,284	52	1,0	110	0,05	-	116			
			Пт	-	3,30×7,15	23,60	0,277	52	0,9	306	-	-	306			
													Σ 832	1228	401	1658

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
306	Кухня (угловая)	20	НС	Ю	4,10×3,55	14,56	0,284	52	1,0	215	-	-	215			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	-	-	179			
			НС	З	6,10×3,55	21,66	0,284	52	1,0	320	0,05	-	336			
			Пт	-	5,30×3,30	17,49	0,277	52	0,9	227	-	-	227			
						Σ 957										
307	Жилая комната (угловая)	22	НС	С	4,10×3,55	14,56	0,284	54	1,0	223	0,10	-	246			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	54	1,0	149	0,10	-	164			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	54	1,0	122	0,10	-	134			
			НС	З	6,80×3,55	24,14	0,284	54	1,0	370	0,05	-	389			
			Пт	-	6,00×3,30	19,80	0,277	54	0,9	267	-	-	267			
			Σ 1199											1070	337	1932
308	Жилая комната	20	НС	С	3,80×3,55	13,49	0,284	52	1,0	199	0,10	-	219			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	52	1,0	144	0,10	-	158			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	52	1,0	117	0,10	-	129			
			Пт	-	3,80×5,45	20,71	0,277	52	0,9	268	-	-	268			
						Σ 775										
309	Жилая комната	20	НС	С	6,00×3,55	21,30	0,284	52	1,0	315	0,10	-	346			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			НС	З	2,10×3,55	7,46	0,284	52	1,0	110	0,05	-	116			
			ВС	-	1,60×3,55	5,68	2,500	4	1,0	57	-	-	57			
			ВС	-	1,85×3,55	6,57	2,500	4	1,0	66	-	-	66			
			Пт	-	5,20×5,10	26,52	0,277	52	0,9	344	-	-	344			
			Пт	-	3,60×1,85	6,66	0,277	52	0,9	86	-	-	86			
						Σ 1409										
310	Жилая комната	20	НС	С	6,00×3,55	21,30	0,284	52	1,0	315	0,10	-	346			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			ДО	С	1,50×1,50	2,25	1,534	52	1,0	179	0,10	-	197			
			НС	В	2,10×3,55	7,46	0,284	52	1,0	110	0,10	-	121			
			ВС	-	1,60×3,55	5,68	2,500	4	1,0	57	-	-	57			
			ВС	-	1,85×3,55	6,57	2,500	4	1,0	66	-	-	66			

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			Пт	-	5,20×5,10	26,52	0,277	52	0,9	344	-	-	344			
			Пт	-	3,60×1,85	6,66	0,277	52	0,9	86	-	-	86			
													Σ 1415	1727	564	2577
311	Жилая комната	20	см. помещение 308													1500
312	Жилая комната (угловая)	22	НС	С	4,10×3,55	14,56	0,284	54	1,0	223	0,10	-	246			
			ДО	С	1,20×1,50	1,80	1,534	54	1,0	149	0,10	-	164			
			БД	С	0,70×2,10	1,47	1,534	54	1,0	122	0,10	-	134			
			НС	В	6,80×3,55	24,14	0,284	54	1,0	370	0,10	-	407			
			Пт	-	6,00×,30	19,80	0,277	54	0,9	267	-	-	267			
													Σ 1217	1228	337	2109
ЛК	Лестничная клетка	16	НС	Ю	3,80×10,65	40,47	0,284	48	1,0	552	-	-	552			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	48	1,0	166	-	-	166			
			ДО	Ю	1,50×1,50	2,25	1,534	48	1,0	166	-	-	166			
			ВД	Ю	1,50×2,30	3,45	0,575	48	1,0	95	-	3,13	393			
			ВС	-	11,2×10,65	119,28	2,500	-4	1,0	-1193	-	-	-1193			
			Пл	-	3,80×9,00	34,20	0,224	48	0,6	221	-	-	221			
			Пт	-	3,80×9,00	34,20	0,277	48	0,9	409	-	-	409			
													Σ 714	3286		3999
<b>И т о г о по третьему этажу:</b>																<b>25643</b>
<b>Суммарные теплотери здания, Вт</b>																<b>64448</b>



## 2.2 Определение удельной тепловой характеристики здания.

В главе 1 отмечалось, что теплотехнической оценкой конструктивно-планировочных решений и тепловой эффективности конкретного здания является его **удельный расход тепловой энергии**  $q_h^{des}$  кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут) за **отопительный период**. Для ориентировочных подсчетов при определении потребности в теплоте для отопления квартала, района города, при проектировании системы центрального теплоснабжения, а также при сопоставлении объемно-планировочных и конструктивных решений различных жилых зданий используют величину **удельной тепловой характеристики здания**  $q_o$ :

$$q_o = \frac{Q_{sh}}{V(\bar{t}_{int} - t_{ext})}, \text{ Вт/м}^3\text{°С} \quad (2.9)$$

или

$$q_o = \frac{Q_{sh}}{F}, \text{ Вт/м}^2, \quad (2.10)$$

где  $Q_{sh}$  - тепловая мощность системы отопления, Вт;

$V$  - объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;

$F$  - площадь отапливаемых помещений, м<sup>2</sup>;

$\bar{t}_{int}$  - средняя температура воздуха в помещениях здания, °С.

Удельную теплотребность на отопление здания или группы зданий за год (отопительный период)  $q_{ht}$  определяют по формуле

$$q_{ht} = \left( \frac{Q_{sh} \times (\bar{t}_{int} - t_{ht})}{\bar{t}_{int} - t_{ext}} \right) / \frac{D_d}{F} \text{ Вт/(м}^2\text{°С·сут)}. \quad (2.11)$$

По величине  $q_{ht}$  еще в период технико-экономического обоснования проекта имеется возможность определить тип и количество котлов в котельной, площадь складов топлива или диаметр газопровода, диаметры теплотрасс системы центрального теплоснабжения и т.д. для нужд отопления квартала, района города. При сравнении удельных тепловых характеристик зданий, расположенных в разных климатических зонах, их значения приводят к одинаковым условиям путем умножения на поправочный коэффициент  $a$ . Для жилых зданий

$$a = 0.54 + 22 / (\bar{t}_{int} - t_{ext}). \quad (2.12)$$

**Пример 10.** Определить удельную тепловую характеристику жилого дома, используя данные о теплотерях  $Q_h = 64448$  Вт из примера 9. Потери теплоты изолированными теплопроводами составляют  $Q_{ad} = 8230$  Вт.

Определяем тепловую мощность системы отопления здания по формуле (2.8)

$$Q_{sh} = 64448 \cdot 1.04 \cdot 1.02 + 8230 = 76590 \text{ Вт.}$$

Тогда удельная тепловая характеристика здания из формулы (2.9) равна

$$q_o = \frac{76590}{26.0 \times 15.0 \times 10.6 \cdot (20 + 32)} = 0.36 \text{ Вт/м}^3\text{°С.}$$

### 2.3 Общие сведения о традиционных системах отопления жилых зданий.

Выделяемая организмом человека теплота должна быть отдана окружающему воздуху помещения в таком количестве, чтобы человек не испытывал при этом ощущения холода или перегрева. Лишь небольшой диапазон температур внутреннего воздуха от 18 до 23 °С (в зависимости от назначения помещения в жилом доме) в сочетании с определенной влажностью воздуха и скоростью его движения удовлетворяют хорошему самочувствию людей.

Температурная обстановка в помещении в первую очередь зависит от тепловой мощности системы отопления, от расположения обогревающих устройств, теплофизических свойств наружных и внутренних ограждений, интенсивности других источников поступления и потерь теплоты.

**Система отопления жилого здания** проектируется с целью создания в помещениях *комфортной* для человека температурной обстановки, поддерживающей баланс затрат теплоты на испарение с поверхности кожи и легких, а также теплоты, отводимой с поверхности тела посредством конвекции и излучения. Каждая система отопления представляет собой *комплекс элементов* для получения (котел, индивидуальный тепловой пункт), транспортирования (теплопроводы, каналы) и передачи теплоты (отопительные приборы) во все отапливаемые помещения здания.

Наибольшее распространение в жилых зданиях получили системы *водяного отопления* (СВО), имеющие ряд преимуществ перед паровыми, воздушными и другими системами. СВО обладают наибольшей надежностью (нормативный срок службы до 50 лет), бесшумны, просты и удобны в эксплуатации, полностью соответствуют санитарно-гигиеническим и архитектурно-строительным требованиям к инженерным системам жилых зданий.

Системы СВО различаются по конструкции стояков (однотрубные и двухтрубные), местоположению распределительных магистральных теплопроводов (с верхней и нижней разводкой), по способу прокладки стояков в здании (горизонтальные и вертикальные), по схеме движения воды в подающих и обратных магистралях (тупиковые и с попутным движением). Выбор конкретной системы СВО определяется конфигурацией здания, условиями его проектирования и строительства.

В нашей стране широкое распространение получили *однотрубные* вертикальные системы с последовательным присоединением отопительных приборов. Практически повсеместно они стали основным типом отопительных систем в многоэтажных жилых зданиях. Положительных свойств у таких систем несколько:

- более высокая, по сравнению с двухтрубными системами, гидравлическая и тепловая устойчивость;
- экономия металла при сравнительно невысокой цене на электрическую энергию, необходимую для циркуляции воды;
- простота монтажа и возможность унификации элементов систем (этаже-стояков с приборными узлами).

Первоначально однотрубные системы выполнялись только с верхней разводкой, распределительные трубопроводы горячей воды прокладывались, как правило, по чердакам или техническим этажам зданий (рис.5). Когда в массовом строительстве стали сооружаться бесчердачные кровли, были предложены и внедрены однотрубные системы с нижней разводкой в подвалах и цокольных этажах зданий (рис. 6). В таких системах стояки состоят из двух частей - подъемной и опускной («П-образные» стояки). К каждой из частей стояка присоединяются нагревательные приборы по односторонней или двухсторонней схеме. Воздух из системы отопления удаляется через воздуховыпускные краны, установленные в пробках радиаторов или на подводках к приборам верхних этажей.

Однотрубные СВО имеют и ряд существенных недостатков. В таких системах вода с наивысшей температурой ( $t_c=105^\circ\text{C}$ ) поступает лишь в первые по ходу отопительные приборы. Вода, проходя последовательно через приборы стояка, доходит до последних по ходу приборов с низкой температурой. Последние приборы на стояке, как правило, имеют большие габариты при относительно низкой теплоотдаче. Это неудобно конструктивно и вызывает нарекания жильцов, так как в помещениях с такими приборами наблюдается недотоп. Использование осевых и смещенных замыкающих участков между подводками к отопительным приборам позволяет увеличить температуру на входе в приборы, но при этом растут гидравлические потери на тройниках и регулирующей арматуре. Кроме того, регулирование теплоотдачи на одном отопительном приборе сказывается на всей последовательно соединенной цепочке приборов стояка.

Для индустриализации процесса заготовки и уменьшения трудоемкости монтажных работ однотрубные стояки проектируют с односторонним присоединением отопительных приборов и подводками одинаковой длины  $l = 350 \div 400$  мм. При этом стояк размещают на расстоянии  $150 \pm 50$  мм от откоса оконного проема (рис.7), что нередко нарушает одно из требований для размещения приборов отопления, по которому ось прибора и ось оконного проема должны совпадать (максимальное отклонение не должно превышать 50 мм).

Основным недостатком однотрубных СВО в современных условиях является отсутствие возможности индивидуального (поквартирного) учета расхода теплоты.

В *двухтрубных* вертикальных СВО отопительные приборы присоединяют к стояку по параллельной схеме (рис.8, 9). В таких системах вода к каждому прибору поступает с одинаковой температурой, допустимой для жилых зданий ( $t_c=95^\circ\text{C}$ ). Величина перепада температур в каждом нагревательном приборе одинакова ( $\Delta t = 15 \div 20^\circ\text{C}$ ) и равна перепаду температур в системе в целом, что позволяет иметь минимальные поверхности нагрева. На подводках к приборам устанавливается запорно-регулирующая арматура (радиаторные термостаты), позволяющая осуществлять количественно-качественное регулирование.

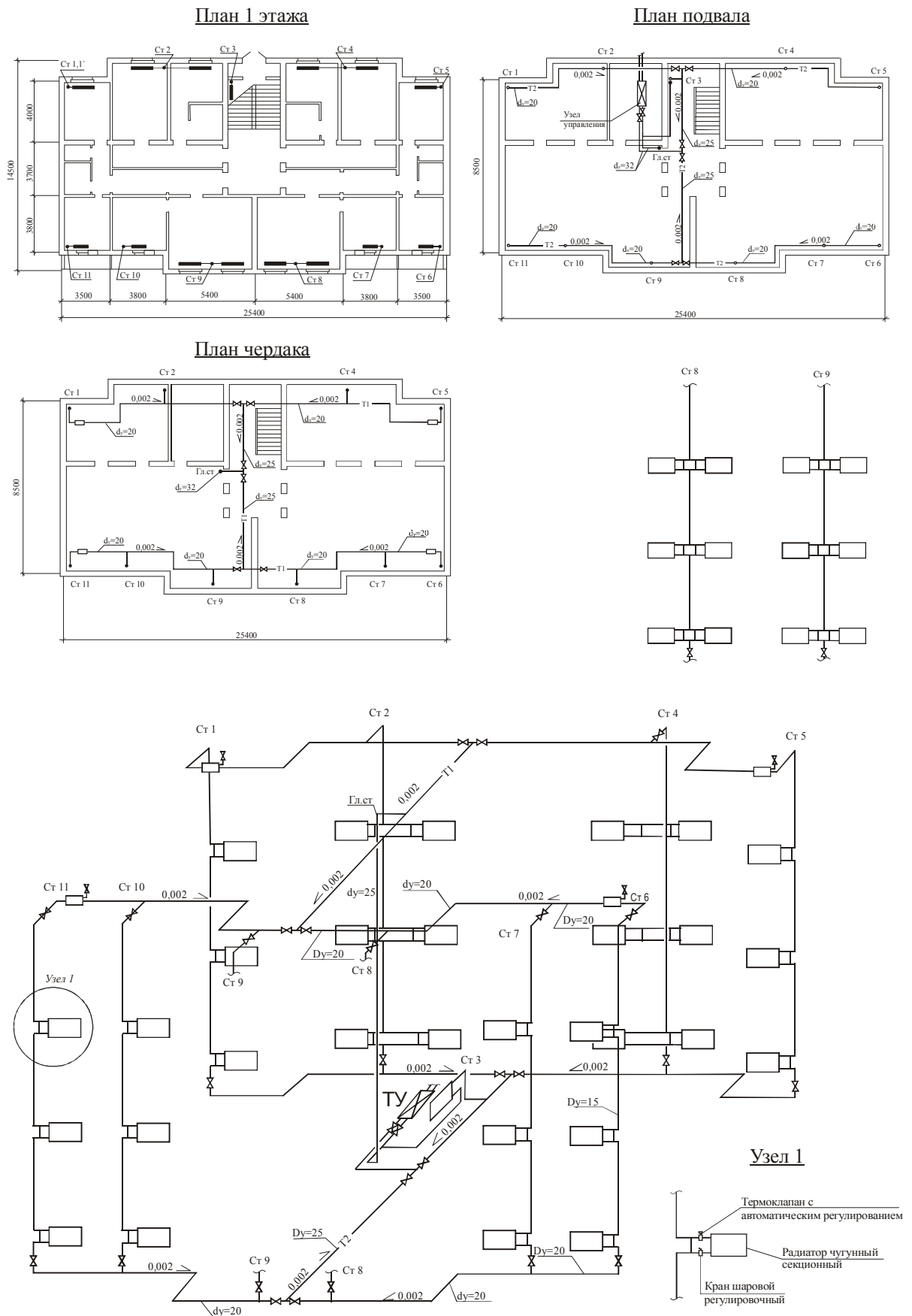


Рис.5. Размещение стояков и магистралей однотрубной системы с верхней разводкой



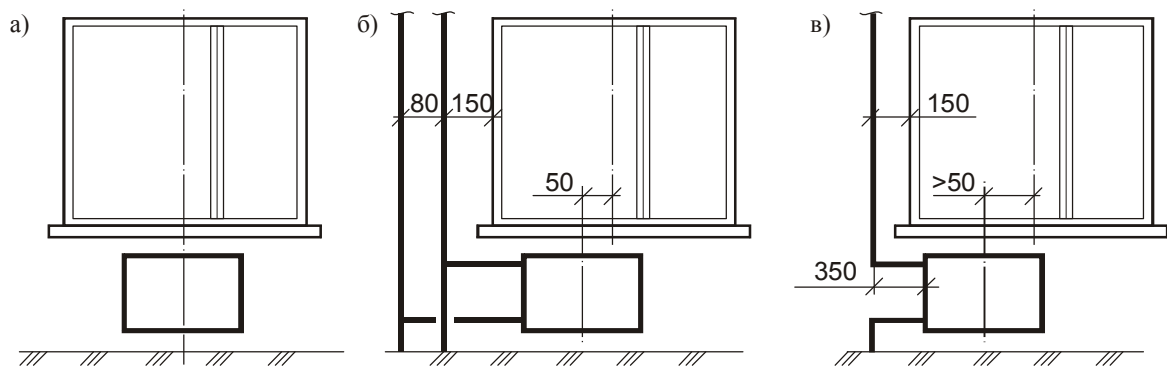


Рис. 7. Схемы установки прибора под окном при двухтрубной и однотрубной СВО  
 а) требуемая; б) допустимая; в) неудовлетворительная

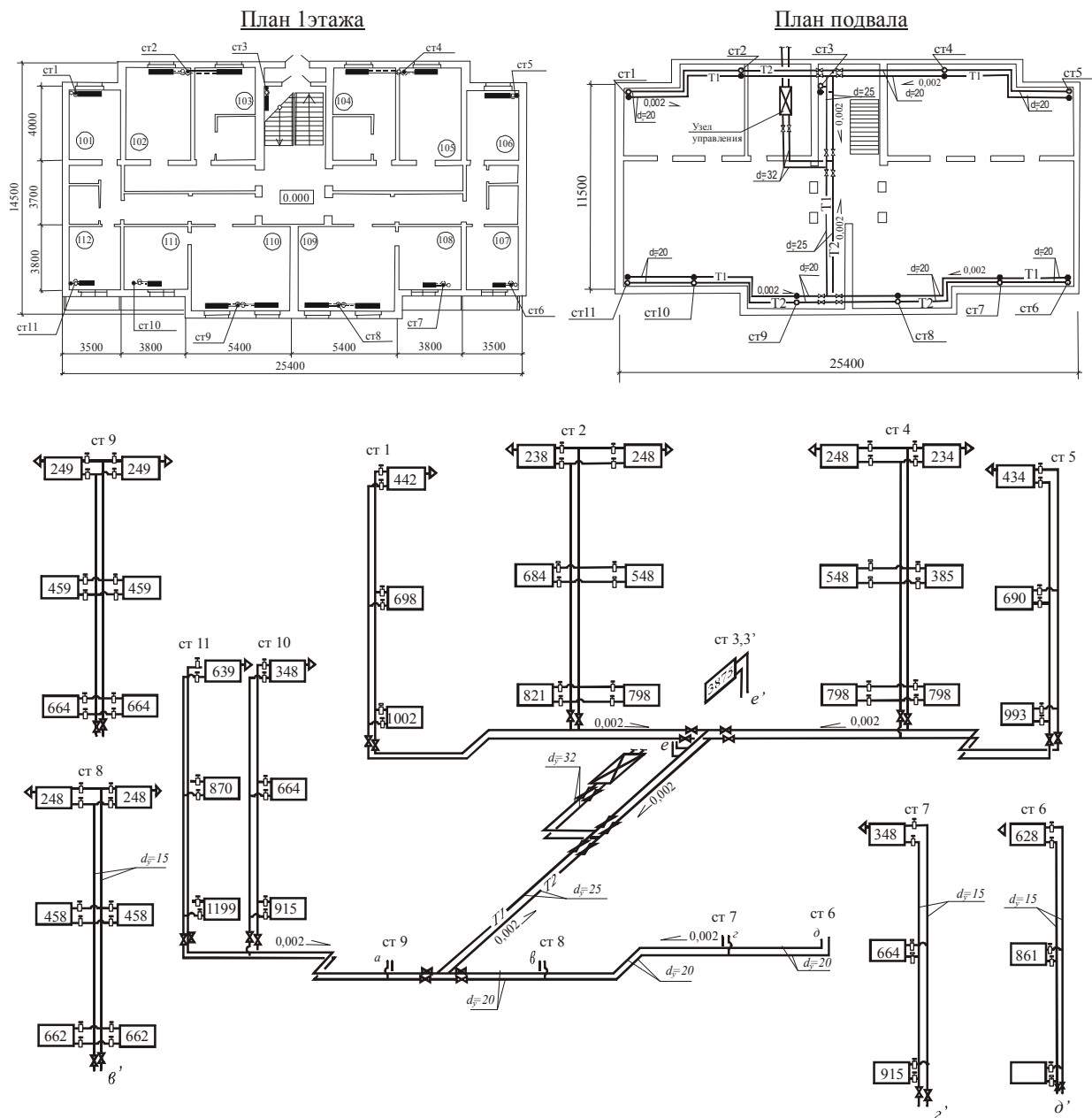


Рис. 8. Конструкция двухтрубной системы отопления с нижней разводкой

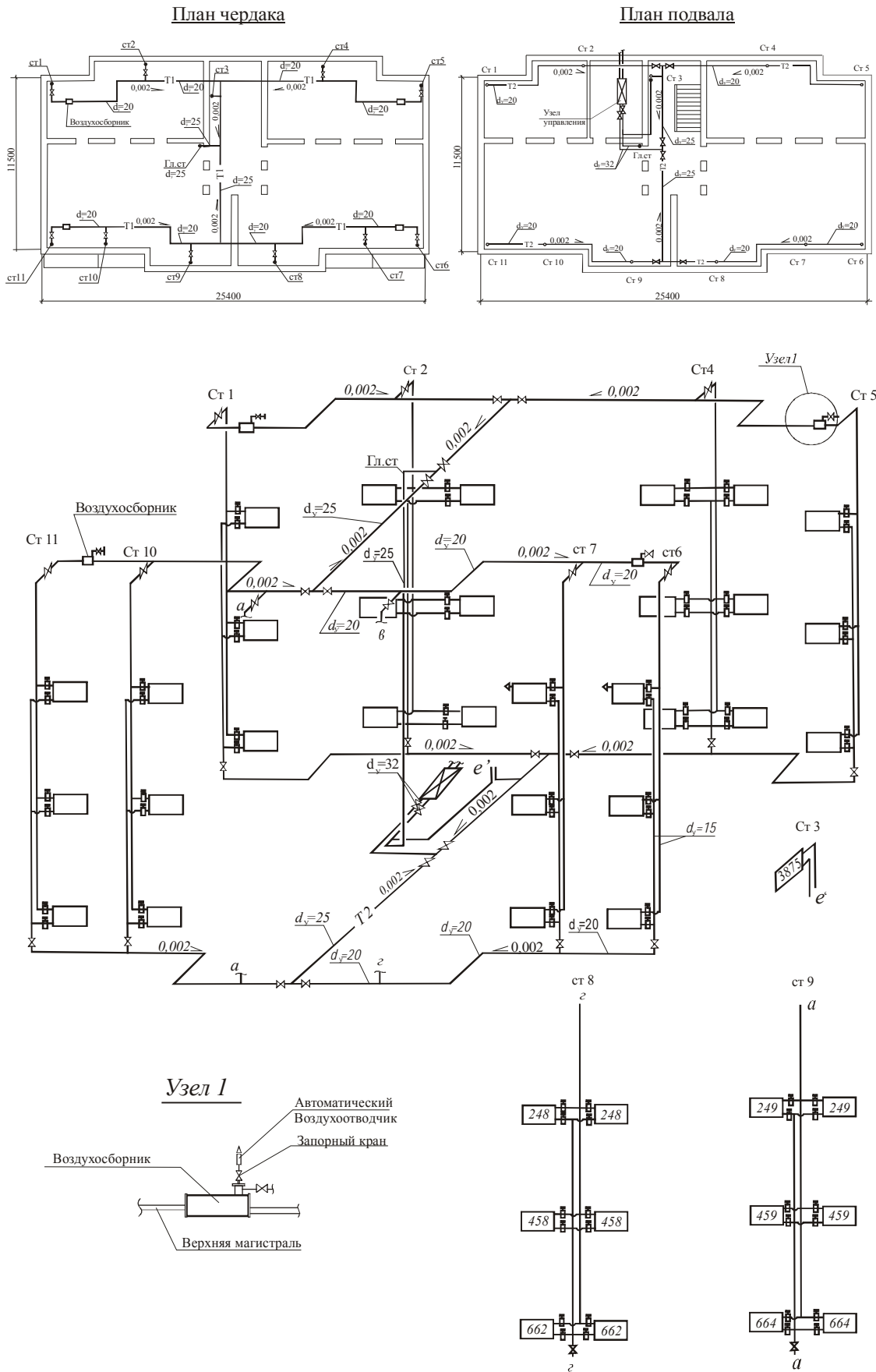


Рис. 9. Трассировка трубопроводов двухтрубной СВО с верхней разводкой

## 2.4 Особенности поквартирного отопления

В соответствии с современными требованиями к проектированию **энергоэффективных** жилых зданий, в СВО следует предусматривать *комплексное автоматическое регулирование* параметров теплоносителя, обеспечивающее требуемую точность и стабильность комфортных условий и экономный расход тепловой энергии. Комплексное автоматическое регулирование включает в себя следующие основные требования:

- регулирование в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) или автоматизированных узлах управления (АУУ), обеспечивающее изменение температуры теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха;
- индивидуальное автоматическое регулирование на каждом отопительном приборе с термостатом, обеспечивающее поддержание заданной жильцом температуры помещения.

Требование по индивидуальному учету расхода теплоты ведет к преимущественному распространению *двухтрубных СВО с поквартирным* присоединением систем к ИТП и с установкой теплосчетчиков на вводе в каждую квартиру (рис.10). Дополнительные преимущества таких систем:

- обеспечивается возможность энергосбережения при поквартирном учете тепла;
- обеспечивается более устойчивая работа системы отопления в целом, так как при замене нагревательных приборов, трубопроводов или других элементов системы в отдельных квартирах это не сказывается на теплоснабжении остальных квартир жилого дома.

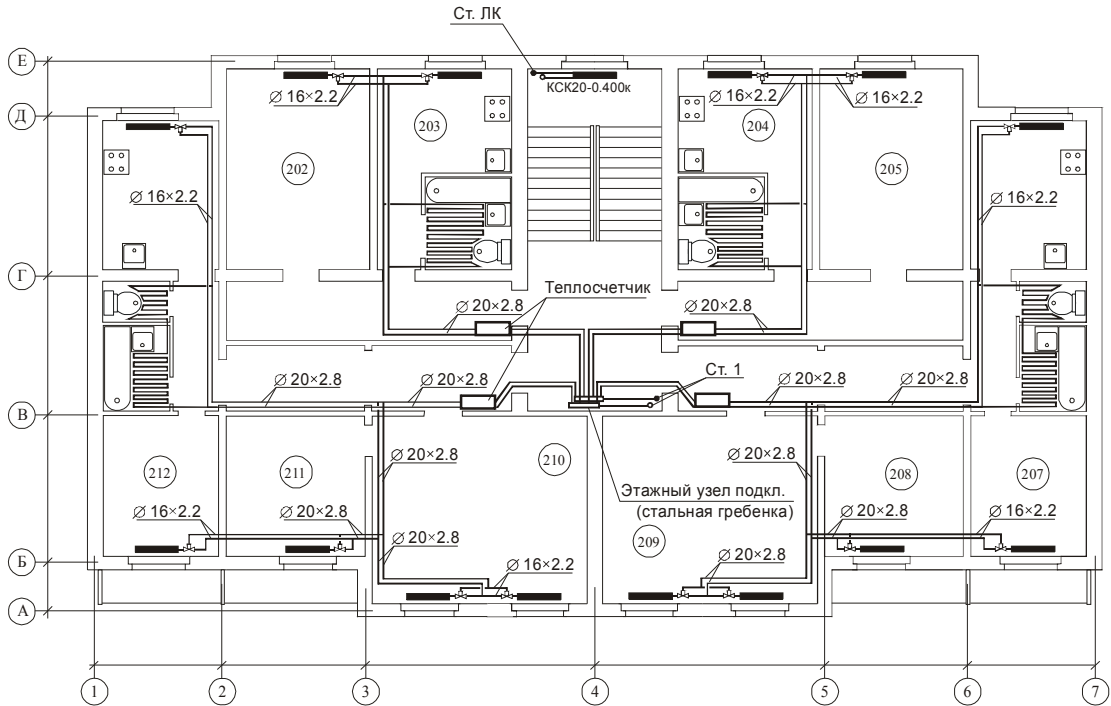
Кроме того, при устройстве поквартирной схемы СВО стояки прокладывают в доступных местах, например, в холлах с установкой *резервного отключающего крана*, что обеспечивает отключение квартиры в аварийной ситуации при отсутствии жильцов без доступа в квартиру.

Если совсем недавно двухтрубные системы рекомендовалось применять только для зданий не более 3-х этажей (из-за значительного расхода труб и фасонных частей), то в последнее время они чаще проектируются и для высотных зданий. При использовании индивидуальных регуляторов теплоотдачи приборов с повышенными сопротивлениями (*термостатов*) двухтрубная СВО оказывается более высокоэффективной и теплогидравлически устойчивой по сравнению с однотрубной. На это указывают результаты исследований многих отечественных специалистов, а также зарубежный опыт, где практически отсутствуют однотрубные системы отопления.

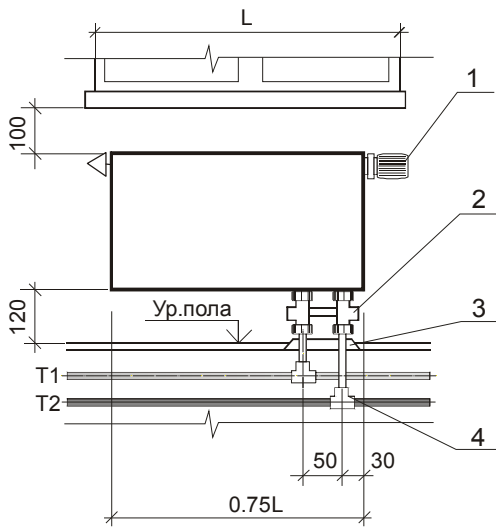
Прокладка труб системы отопления в самой квартире может выполняться по любой схеме (вертикальной или горизонтальной, попутной или тупиковой, с присоединением отопительных приборов по одно- или двухтрубной схеме). Все зависит от конкретных условий: габаритов квартиры, ее этажности, размещения в объемно-планировочной структуре здания.



## ПЛАН ЭТАЖА



### Схема присоединения отопительного прибора

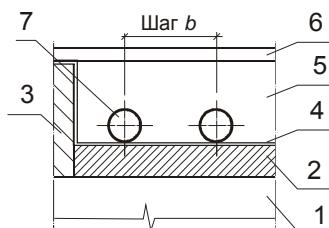


- 1 - термостатическая головка;
- 2 - узел присоединения прибора;
- 3 - розетка;
- 4 - тройник обжимной.

### Стальная гребенка для подпольного отопления



### Конструкция подпольного нагревателя



- 1 - перекрытие;
- 2 - тепловая изоляция;
- 3 - лента краевая (отделяющая от стен);
- 4 - влагоустойчивая изолирующая пленка;
- 5 - бетонная отливка;
- 6 - половое покрытие;
- 7 - труба.

Рис. 10 Конструктивные элементы поквартирной системы отопления

Разработаны несколько схем разводки трубопроводов при поквартирном отоплении (рис.11). Наиболее удобной является *линейная схема* с прокладкой труб по внешнему периметру квартиры. Трубы и фитинги системы прокладываются в плинтусах, либо бетонируются в конструкциях пола. Также применяется подпольная прокладка трубопроводов с *антидиффузионным слоем* или прокладка труб в *кожухе* (гофре).

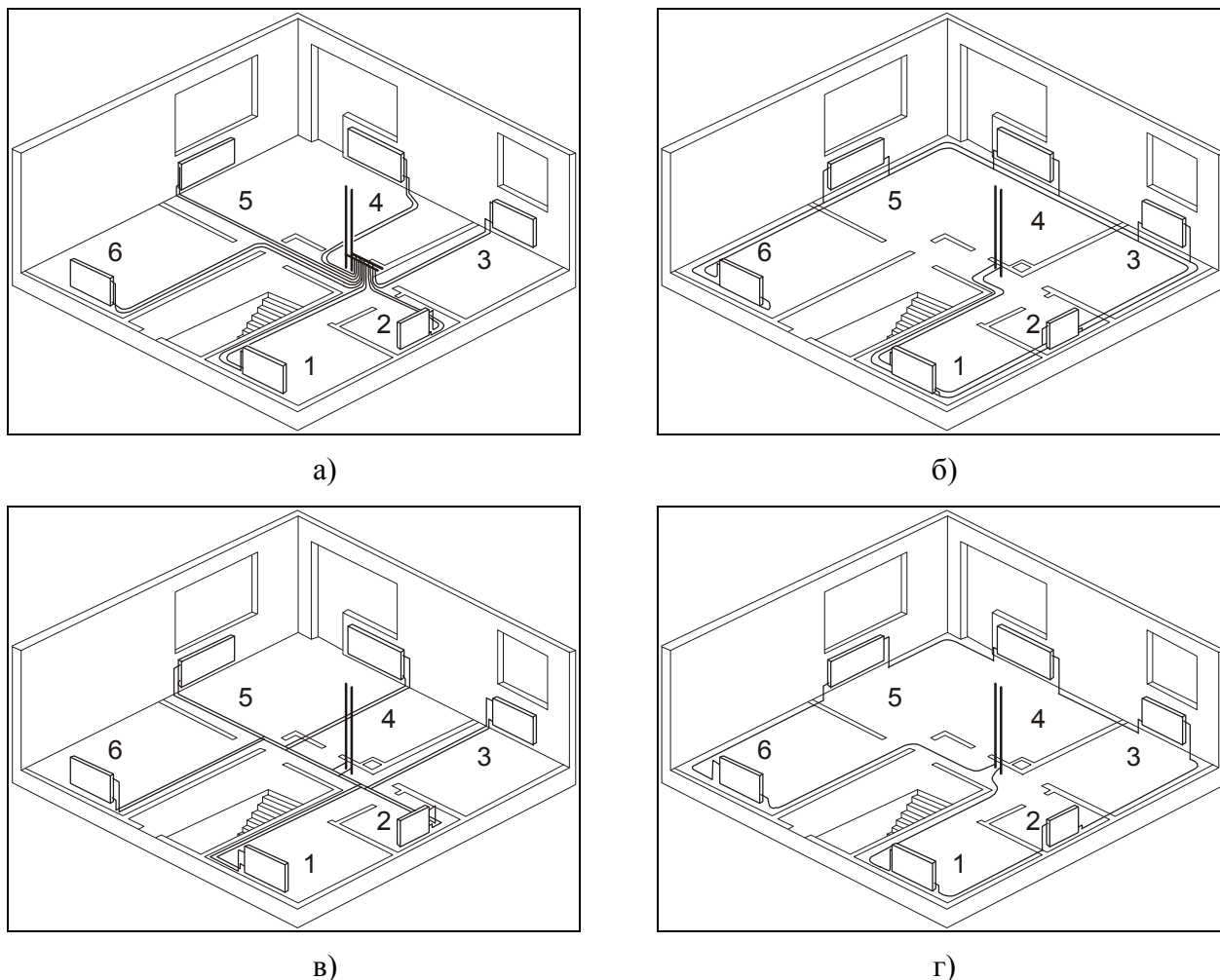


Рис. 11. Схемы прокладки трубопроводов систем поквартирного отопления

#### **Укладка горизонтальная двухтрубная.**

Эта укладка, представленная на рис.11, *а*, характеризуется центральным расположением стояка, с которого осуществляется подача воды через распределитель (гребенку), установленный в шкафу в стене. Отопительные приборы отдельными отводами подключаются к распределителю. Чаще всего трубы прокладываются в защитной трубке.

#### **Укладка двухтрубная в горизонтальной петле.**

При укладке в петле (рис.11, *б*) трассировка трубопроводов ведется вдоль наружных стен здания. Подающий и обратный стояки могут быть скомпонованы вместе, либо отдельно. Трубы могут быть уложены в шпихте пола, либо за обшивкой у пола. Отопительные приборы требуют индивидуальных воздуховыпускных клапанов.

### **Укладка двухтрубная горизонтальная смешанная.**

Схему такой трассировки иллюстрирует рис.11, в. Трубы укладываются в слое пола по системе "труба в трубе". При закладке тройников в пол применяют зажимные соединители с кольцом, которые насаживаются при помощи специального инструмента. Отопительные приборы требуют индивидуальных воздуховыпускных клапанов.

### **Укладка однетрубная в горизонтальной петле.**

Этот вид прокладки труб (рис.11, г) характеризуется последовательным подключением отопительных приборов. Стояки (подающий и обратный) могут проходить вместе либо отдельно. Трубы проводятся по контуру помещения, причем, обратная труба от одного отопительного прибора является одновременно подающей для последующего. Отопительные приборы оснащены воздуховыпускными клапанами. Трубы также могут быть проложены за обшивкой у пола.

При разводке в конструкциях пола (бетонирование) применяют *полимерные трубы*. В качестве теплоизоляции используют материалы из *вспененного полиэтилена* - импортный "термофлекс", отечественный "энергофлекс", белорусский "стенофлекс". В отапливаемых помещениях целесообразно изолировать как подающую, так и обратную магистраль.

К применению *меди* в качестве материала трубопроводов внутриквартирных разводов надо подходить осторожно. Наличие в одной системе таких разнородных металлов, как медь и сталь (или алюминий) в сочетании с хлорированной водой может создать условия для интенсивной коррозии. При наличии блуждающих токов, создаваемых близко проходящими источниками постоянного тока (трамвай, троллейбус, метро), хлорированная вода будет вести себя как электролит.

В последнее время широко применяется *индивидуальное поквартирное отопление*: прямо на квартиру ставится термоблок или отопительный агрегат, работающий на газовом топливе. Это, по сути, водонагреватель, но полностью автоматизированный, с программным управлением. Система имеет локальную разводку труб в пределах помещений (горизонтальная разводка), обеспечивает одновременно и отопление, и горячее водоснабжение квартиры.

Поквартирное отопление с газовыми теплоагрегатами раньше было возможно только в зданиях до пяти этажей (по требованиям пожаробезопасности). Сейчас же его применение разрешено вне зависимости от этажности (при использовании газовых агрегатов с закрытой камерой сгорания).

На рис. П2.3 Приложения 2 приведены чертежи элементов конструкции индивидуальной системы отопления отдельно стоящего здания с двумя газовыми котлами PROTHERM (Чехия). Там же показан пример оформления схемы обвязки котлов и узла циркуляционного насоса типа ЦВЦ с мембранным расширительным баком.

## 2.5 Конструктивные требования к системам отопления

Размещение стояков. В жилых зданиях стояки систем отопления рекомендуется располагать ближе к наружным углам помещения во избежание их промерзания и конденсации влаги. Для обслуживания лестничных клеток следует выделять самостоятельные проточные стояки без регулирующей арматуры, так как они подвержены большей опасности замораживания. Главный стояк системы с верхней разводкой размещается в лестничной клетке.

Отопление ванных комнат в зданиях более 4-х этажей должно осуществляться от полотенцесушителей, присоединенных к циркуляционному трубопроводу системы горячего водоснабжения, поэтому в ванных комнатах отопительные стояки не предусматриваются.

Число стояков зависит от способов присоединения к ним нагревательных приборов (рис. 12).

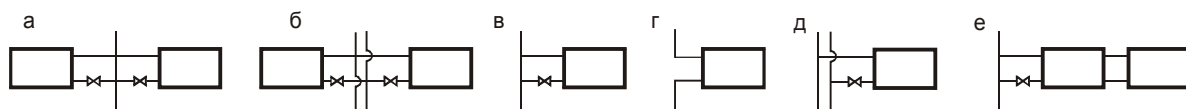


Рис. 12. Варианты присоединения нагревательных приборов к стоякам:  
а – двухстороннее в однотрубной системе отопления; б – то же в двухтрубной системе;  
в, д – одностороннее; з – по проточной схеме; е – присоединение прибора на цепке

В двухтрубных системах подающий стояк располагается справа, обратный – слева (если смотреть на стояк из помещения). Стояки двухтрубных систем и однотрубных систем с верхней разводкой следует размещать таким образом, чтобы каждый из них имел двухстороннее присоединение приборов.

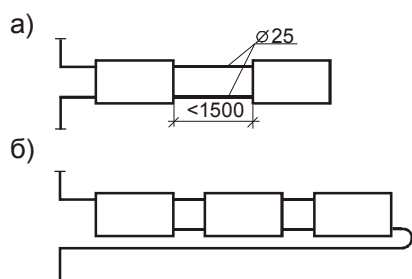


Рис.13 Приборы на цепке

С целью экономии расхода труб необходимо стремиться использовать наименьшее число стояков. При размещении стояков нужно иметь в виду, что возможно присоединение нагревательных приборов, устанавливаемых в одном помещении или в разных вспомогательных помещениях (кухни, коридоры, туалеты и т.п.) на *цепке* (рис.13). Расстояние между этими радиаторами рекомендуется принимать не более 1,5 м.

Радиаторы с большим количеством секций в каждом (более 25) или три прибора следует присоединять на цепке по диагональной схеме (рис.13, б).

Однотрубная система водяного отопления с нижней разводкой должна состоять из экономически более выгодных и гидравлически более устойчивых П-образных стояков, присоединенных своими нижними концами к подающей и обратной магистралям, проложенным по подвалу, техническому подполью или в подпольных каналах 1-ого этажа. Подъемный участок П-образного стояка, присоединяемый к подающей магистрали, прокладывается при радиаторном

отоплении по помещениям с меньшими тепловыми потерями, а опускной стояк, присоединяемый к обратной линии, - по помещениям с большими теплопотерями.

Подъемные участки стояков могут быть транзитными (без нагревательных приборов), в этом случае на них предусматриваются П-образные компенсаторы тепловых удлинений. Для экономии труб число транзитных стояков должно быть минимальным.

**Размещение отопительных приборов.** В жилых зданиях в качестве отопительных приборов рекомендуется применять *радиаторы* и *конвекторы*. Для обеспечения теплового комфорта в помещении (равномерной по высоте температуры воздуха) целесообразнее применять невысокие и длинные приборы (конвекторы), чем высокие и короткие (радиаторы). Длина отопительного прибора в жилых зданиях должна быть не менее 65% длины окна. Если высота от пола до низа окна небольшая (но не менее 300 мм), то следует применять низкие конвекторы плинтусного типа высотой 200÷300 мм. Если эта высота менее 200 мм, то необходимо предусматривать напольное отопление.

Нагревательные приборы размещают, в основном, по периметру наружных стен в нишах либо открыто *под окнами* для локализации холодных потоков воздуха, ниспадающих вдоль остекления (рис.14, а). Дополнительные приборы устанавливают у *глухой* наружной стены в угловых жилых помещениях. Установка нагревательных приборов у внутренних стен здания допускается только при невозможности размещения их у наружной стены, так как при этом происходит нежелательное понижение температуры внутренней поверхности наружных стен (рис.14, б).

В крупнопанельных зданиях отопительные приборы устанавливают свободно у наружных стен. В зданиях с кирпичными наружными стенами отопительные приборы утапливают в специальные подоконные ниши глубиной 130 мм для прокладки прямых подводов к приборам.

Желательна установка прибора по оси окна, а при использовании унифицированных узлов этаже-стояков однотрубных СВО приборы привязываются к стоякам на расстоянии 350÷500 мм от среза оконного проема (подводки длиной 350÷400 мм для стояков диаметром 15 и 20 мм и 500 мм – для стояков диаметром 25 мм).

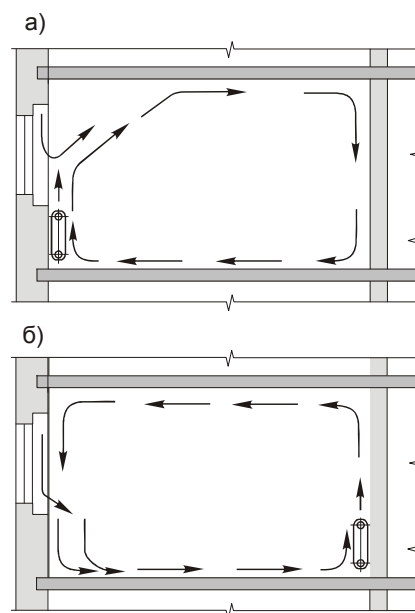


Рис. 14

Движение воздуха в помещении  
а) при установке прибора под окном;  
б) при установке прибора у внутренней стены

Приборы в двухтрубных схемах присоединяются к вертикальным стоякам по параллельной схеме на уровне 60 мм от пола. Стояки прокладывают открыто, на расстоянии 35 мм от внутренней поверхности стен до оси трубы. Максимальная длина подводок при двухтрубной схеме не должна превышать 1,25÷1,5 м, уклон подводки – 5÷10 мм на всю ее длину.

Особое размещение отопительных приборов требуется в лестничных клетках, где естественное движение воздуха способствует теплопереносу в верхнюю их часть и вызывает переохлаждение нижней части. В связи с этим в лестничных клетках целесообразно располагать отопительные приборы в нижней их части рядом со входными дверями (за тамбуром). В зданиях до 4-х этажей приборы в лестничных клетках следует устанавливать только на первом этаже и присоединять к самостоятельному стояку. В высотных зданиях 2/3 приборов монтируют на первых двух этажах, 1/3 распределяют по остальным этажам.

На подводках к отопительным приборам следует размещать регулируемую арматуру, за исключением приборов в помещениях гардеробных, душевых, санитарных узлов и лестничных клеток. Желательно устанавливать автоматические терморегуляторы, с помощью которых можно поддерживать заданную потребителем температуру воздуха в помещении.

С появлением на рынке металлополимерных труб появилась возможность прокладывать трубы от коллектора поквартирных СВО к отопительным приборам в конструкции пола, а сами приборы стали изготавливаться с нижней (донной) подводкой. Нижнее присоединение к отопительному прибору позволяет практически полностью скрыть все трубопроводы в помещении.

Прокладка магистралей. После расстановки стояков и нагревательных приборов решается задача их объединения магистральными разводящими теплопроводами. Система отопления при этом разбивается на ряд отдельных отключаемых веток, которые, располагаясь в здании по отдельным его частям, секциям или фасадам, могли бы допускать гибкое регулирование или отключение соответствующих частей отопительной системы (рис. 5÷9). Это позволяет поддерживать в отдельных частях здания свой режим отапливания, отличный от предусматриваемого в остальной части.

При разбивке на ветви необходимо, чтобы тепловые нагрузки ветвей по возможности уравнивались и чтобы стояки, расположенные возле узла управления, имели подъемные и опускные участки, присоединенные к одной и той же ветви.

При нижней разводке в зданиях *без подвала* магистральные подающие и обратные трубопроводы прокладываются над полом 1 этажа. Если под зданием запроектирован подвал, то подающие магистрали удобнее располагать в подвале (вместе с обратными магистралями). При решении вопроса о возможности расположения магистралей над полом 1 этажа необходимо учитывать обязательность выдерживания уклона для этих трубопроводов.

Там, где высота подоконников не дает возможности расположить магистрали над полом, приходится для магистралей предусматривать подпольные ка-

налы (рис. 15). Ширина и глубина подпольных каналов зависит от количества размещённых в них магистралей, их диаметров, длины и величины уклона труб.

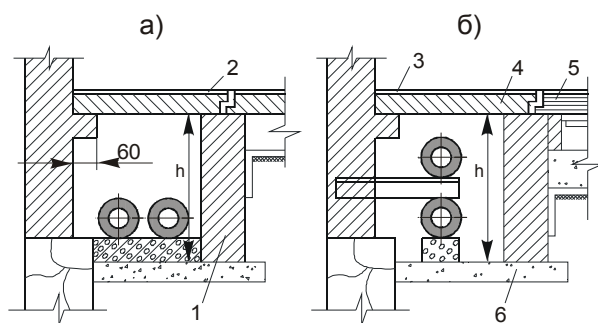


Рис. 15 Поперечные разрезы подпольных каналов: а) пол сплошной; б) пол деревянный; 1 - кирпичная стенка толщиной 1,5 кирпича; 2 - съемная железобетонная плита; 3 - съемный щит; 4 - съемная железобетонная плита; 5 - лага; 6 - бетонная подготовка

В большинстве случаев ширину каналов для одной - двух труб принимают в пределах 300÷500 мм при глубине  $h = 400 \div 600$  мм. Подпольные каналы, как правило, располагают у наружных стен здания.

Магистралы, проектируемые в подвале, могут располагаться над полом, под окнами и под потолком (500 мм от внутренней поверхности).

Для монтажа и эксплуатации наиболее удобна прокладка магистралей под окнами подвала. В подвалах подпольные каналы для труб, как правило, не допускаются по причине возможного нарушения грунта вблизи подошвы фундамента.

В системах отопления с верхней разводкой подающие магистралы прокладываются на чердаке. В целях достижения наименьшей протяженности трубопроводов их можно располагать по схеме, показанной на рис. 16, а. Эта схема допустима при ширине здания  $b < 9$  м. При ширине здания  $b > 9$  м применяется схема в четыре ветви (рис. 16, б). Системы отопления небольших зданий (частных домов, коттеджей) можно проектировать в виде одной или двух тупиковых веток при количестве стояков не более 6÷7 (рис. 16, в).

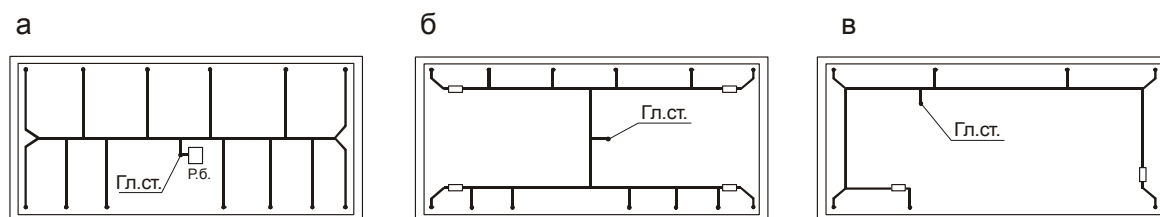


Рис.16 Размещение распределительных магистралей на чердаке: а - при ширине здания менее 9 м; б - при ширине здания более 9 м; в - система с двумя ветвями в небольших зданиях

Подающие магистралы на чердаке рационально располагать по схеме, показанной на рис. 16, б. В этом случае чердак не загромождается и упрощается регулировка нагревательных приборов.

Все трубопроводы, располагаемые на чердаках, должны быть уложены на кирпичных столбиках или подвешены к стропилам. Для удобства монтажа, эксплуатации системы отопления и компенсации тепловых удлинений стояков трубопроводы на чердаках прокладываются на расстоянии 1÷1,5 м от наружной



стены. В зданиях с совмещенными кровлями независимо от их этажности возможно применение двухтрубной вертикальной системы отопления с нижней разводкой трубопроводов.

Компенсация температурных удлинений труб. Для компенсации температурного расширения труб в однотрубной системе можно использовать ее изгибы при смещении замыкающего участка от оси стояка не менее 200 мм (при низкотемпературной воде). Компенсация удлинения магистралей выполняется прежде всего естественными их изгибами, связанными с планировкой здания. Только прямые магистрали значительной длины, особенно при высокой температуре воды, снабжаются П – образными компенсаторами.

Удаление воздуха из системы отопления. Необходимо предусматривать удаление воздуха из системы. При нижней разводке - через воздуховыпускные краны, устанавливаемые в верхних пробках радиаторов последнего этажа и приборов лестничных клеток, а также в верхних точках любых обводных линий, где может образоваться воздушная пробка. При верхней разводке - через воздухоотборники, расширительные баки, автоматические воздухоотводчики.

Величину уклонов магистральных трубопроводов следует принимать не менее 0,002 (в системах с естественной циркуляцией – не менее 0.005).

## 2.6 Расчет отопительных приборов

Отопительные приборы системы отопления представляют собой поверхностные теплообменники, с помощью которых осуществляется теплопередача от теплоносителя в обогреваемые помещения.

При выборе вида и типа отопительных приборов учитывают ряд факторов: назначение, архитектурно-строительную планировку и особенности теплового режима помещения, вид системы отопления, технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели приборов.

Основная характеристика прибора – **номинальный условный тепловой поток**  $Q_{н.у}$ , Вт/м<sup>2</sup> или Вт/секц. Он представляет собой теплоотдачу 1 м<sup>2</sup> поверхности прибора или одной его секции, полученную при стандартных сертификационных испытаниях прибора. Стандартными считаются следующие условия испытаний:

- температура греющего теплоносителя на входе в прибор  $t_2 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура теплоносителя на выходе из прибора  $t_o = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающего воздуха  $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- разность средних температур теплоносителя и воздуха (температурный напор прибора)

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_s = \frac{t_2 + t_o}{2} - t_s = \frac{105 + 70}{2} - 18 = 70 \text{ }^\circ\text{C};$$

- расход теплоносителя через прибор – 0,1 кг/с (360 кг/ч);
- атмосферное давление – 1013 гПа (101300 Па).



В табл. П2.5 Приложения 2 приведены данные некоторых отопительных приборов, рекомендуемых для использования в жилых зданиях.

*Расчет отопительных приборов* сводится к определению либо **числа секций** (элементов) разборного радиатора, либо **типа** неразборного радиатора и конвектора, нагревательная площадь поверхности которых может обеспечить передачу в помещение теплового потока не менее требуемого  $Q_{np}$ .

Исходными данными для расчета отопительного прибора являются потери теплоты помещением (дефицит теплоты  $-\Delta Q = Q_{np}$ ), расчетные температуры теплоносителя на входе и выходе из системы отопления, требуемая температура воздуха помещения и расчетная температура наружного воздуха.

Определяют *теплоотдачу труб стояка и проводок*, открыто проложенных в пределах помещения:

$$Q_{mp} = q_v l_v + q_z l_z, \quad (2.13)$$

где  $q_v$  и  $q_z$  – теплоотдача 1 м вертикальных и горизонтальных труб, Вт/м (табл. П2.4 Приложения 2);

$l_v$  и  $l_z$  – длина труб в пределах помещения, м.

Необходимая *теплоотдача прибора* определяется по формуле:

$$Q_{np} = Q_{ном} - 0,9Q_{mp}, \quad (2.14)$$

где  $Q_{ном}$  – требуемая тепловая нагрузка на отопительном приборе, Вт, равная теплотерям помещения.

Минимальное *число секций*  $N$  разборного радиатора или требуемая площадь поверхности нагрева  $F$  несекционного прибора находятся из формулы:

$$N_{min}(F_{min}) = \frac{Q_{нт} \cdot \beta_4}{Q_{н.у} \cdot \beta_3}, \quad (2.15)$$

где  $Q_{н.у}$  – номинальный условный тепловой поток одной секции радиатора или 1 м<sup>2</sup> поверхности прибора, Вт/секц (Вт/м<sup>2</sup>), см. Приложение П2;

$Q_{нт}$  – требуемый номинальный тепловой поток для выбора типоразмера прибора;

$\beta_4$  – коэффициент, учитывающий способ установки прибора (Прил. 2, табл. П2.6);

$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий число секций в приборе (Прил. 2, табл. П2.6); для несекционных приборов  $\beta_3 = 1$ .

Величина требуемого номинального теплового потока прибора  $Q_{нт}$  должна учитывать отклонения реальных условий эксплуатации прибора от стандартных

$$Q_{н.т.} = \frac{Q_{np}}{\varphi_k}, \quad (2.16)$$

где  $\varphi_k$  – комплексный коэффициент приведения к действительным условиям эксплуатации

$$\varphi_k = \left( \frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left( \frac{G_{np}}{360} \right)^p \cdot \epsilon \cdot \psi \cdot c_{np}. \quad (2.17)$$

Здесь  $\Delta t_{cp}$  - средний температурный напор прибора, °С;  
 $G_{np}$  - расход воды, проходящей через прибор, кг/ч;  
 $\epsilon$  - коэффициент учета атмосферного давления в данной местности (табл.9.1[9]);  
 $n, p, c_{np}$  - экспериментальные числовые показатели для конкретного типа прибора, определяемые по табл. 2.5 Приложения 2;  
 $\psi$  - коэффициент, учитывающий направление движения воды в приборе:

- при движении воды «сверху-вниз»  $\psi=1$ ;
- при движении воды «снизу-вверх»  $\psi=1,03$ ;
- при движении воды «снизу-вниз»  $\psi=1,12$ .

Средний температурный напор прибора  $\Delta t_{cp}$  определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_e, \quad (2.18)$$

где  $t_{cp}$  - средняя температура воды в отопительном приборе, °С.

Для двухтрубных систем  $\Delta t_{cp}$  допустимо определять как

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_e = \frac{t_2 + t_o}{2} - t_e, \quad (2.19)$$

где  $t_2$  и  $t_o$  - расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах системы, °С;

Средняя температура воды в приборе при однотрубной схеме рассчитывается по формуле

$$t_{cp} = t_{ex} - 0.5\Delta t_{np} = t_{ex} - \frac{0.5Q_{np}}{cG_{np}}\beta_1\beta_2, \quad (2.20)$$

где  $\Delta t_{np}$  - расчетный перепад температуры воды в приборе, °С;  
 $\beta_1$  - поправочный коэффициент, учитывающий теплопередачу через дополнительную площадь (сверх расчетной) приборов, принятых к установке (табл. П2.6 Приложения 2);  
 $\beta_2$  - поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери вследствие размещения отопительных приборов у наружных стен (табл. П2.6 Приложения 2).  
 $t_{ex}$  - температура воды, входящей в прибор, с учетом падения температуры по длине подводящих теплопроводов, °С:

$$t_{ex} = t_2 - (\Sigma\Delta t_m + \Sigma\Delta t_{nom}) - \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{Q_{cm}}(t_2 - t_o), \quad (2.21)$$

где  $\Sigma\Delta t_m$  - суммарное понижение температуры воды на участках подающего магистрального теплопровода от начала системы до рассматриваемого стояка (стр.45 [9]);  
 $\Sigma\Delta t_{nom}$  - понижение температуры воды на участках стояка до расчетного прибора

$$\Sigma\Delta t_{nom} = \frac{3,6 \cdot q_e \cdot l_{yч} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{c \cdot G_{yч}}. \quad (2.22)$$

Расход воды, проходящей через прибор, рассчитывается по формулам:

- для двухтрубных систем

$$G_{np} = \frac{3,6 \cdot Q_{np}}{4,187 \cdot (t_z - t_o)}; \quad (2.23)$$

- для однотрубных систем (с учетом коэффициента затекания  $\alpha$  и расхода воды  $G_{cm}$  в стояке или ветке)

$$G_{np} = \alpha \cdot G_{cm} = \alpha \cdot \frac{3,6 \cdot Q_{cm}}{4,187 \cdot (t_z - t_o)}. \quad (2.24)$$

Значения коэффициентов затекания воды в приборных узлах однотрубных стояков принимаются по табл. 9.3 [9].

**Пример 11.** Определить число секций радиатора типа М-90, установленного на 2-м этаже у наружной стены без ниши под подоконником в помещении высотой 2.7 м при  $Q_{пом}=1000$  Вт и  $t_{int}=18$  °С, если радиатор присоединяется к однотрубному стояку  $d_y=20$

со смещенными замыкающими участками (с краном КРТ на подводке длиной 0.5 м) системы водяного отопления с нижней разводкой. Параметры теплоносителя в системе отопления  $t_z = 95$  °С,  $t_o = 70$  °С. Схема стояка приведена на рис. 17, его тепловая нагрузка  $Q_{cm}=10600$  Вт.

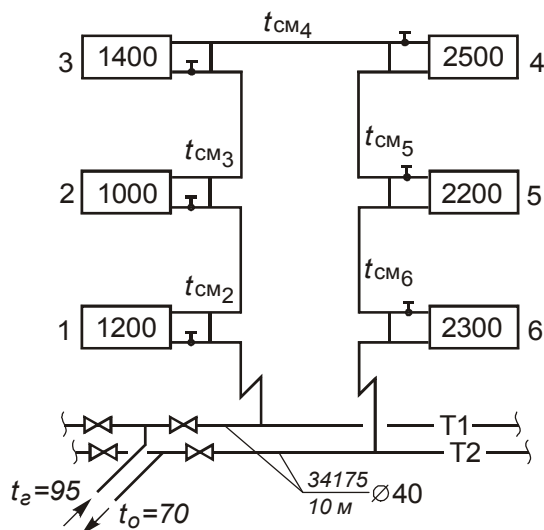


Рис.17

Расход теплоносителя в стояке определим по формуле (2.23):

$$G_{cm} = \frac{3,6 \cdot 10600}{4,187 \cdot (95 - 70)} = 364,8 \text{ кг/ч.}$$

- Коэффициент затекания воды в прибор для приведенной схемы стояка составляет  $\alpha=0.5$  (табл. 9.3 [9]).

- Расход воды, проходящей через прибор, определится из формулы (2.20)

$$G_{np} = \alpha G_{cm} = 1 \cdot 364,8 = 182,4 \text{ кг/ч.}$$

- Диаметр участка магистрали до рассматриваемого стояка -  $d_y=20$  (длина  $l=10$  м), диаметр подводок и замыкающего участка -  $d_y=15$ . Тогда понижение температуры воды на участке магистрали до стояка (см. стр.45 [9]) составит  $\Delta t_M = 0,4$  °С.
- Температуры воды на входе в прибор 2 этажа определится из формулы (2.21)

$$t_{ex} = 95 - 0,4 - \frac{1200}{10600} \cdot (95 - 70) = 91,85 \text{ °С.}$$

- Температура воды на входе в прибор 3 этажа по формуле (2.21):

$$t_{cm3} = 95 - 0,4 - \frac{1200 + 1000}{10600} = 89,6 \text{ °С.}$$

- Температура теплоносителя на выходе из прибора 2 этажа рассчитывается по следующему соотношению:

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{вх}} - \Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - \frac{3.6 Q_{\text{пр}}}{4.187 G_{\text{пр}}} = 91.85 - \frac{3.6 \cdot 1000}{4.187 \cdot 182.4} = 87.15 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- Теплоотдача вертикальных и горизонтальных труб определяется по формуле (2.13). Предварительно рассчитываем длины основных участков труб и значения удельных тепловыделений  $q_e$  и  $q_z$  по табл. П2.4 Приложения 2.

*Вертикальные участки:* стояк длиной  $l_{cm} = 2.7 - 0.5 = 2.2$  м плюс замыкающий участок длиной  $l_{zy} = 0.5$  м.

*Горизонтальные участки:* горячая и обратная подводка  $l_{hc} = l_{np} = 0.5$  м.

Для стояка  $d_y 20$ , теплоотдача 1 м открыто проложенной трубы при разности температур  $89.6 - 18 = 71.6 \text{ } ^\circ\text{C}$  -  $q_e = 76$  Вт; для замыкающего участка  $d_y 15$  -  $q_e = 60.5$  Вт; для горячей подводки  $d_y 15$  -  $q_z = 79.5$  Вт;

для обратной подводки при разности температур  $87.15 - 18 = 69.15 \text{ } ^\circ\text{C}$  -  $q_z = 75$  Вт (температура воды в обратной подводке принимается равной температуре теплоносителя на выходе из прибора).

Таким образом, суммарная теплоотдача открыто проложенных трубопроводов

$$Q_{mp} = 2.2 \cdot 76 + 0.5 \cdot 60.5 + 79.5 \cdot 0.5 + 0.5 \cdot 75 = 274.6 \text{ Вт}.$$

- Определим тепловую мощность рассчитываемого прибора по формуле (2.14)

$$Q_{np} = 1000 - 0.9 \cdot 274.6 = 743 \text{ Вт}.$$

- Средняя температура воды в приборах по формуле (2.20)

$$t_{cp} = 91.85 - \frac{0.5 \cdot 3.6 \cdot 1000 \cdot 1.05 \cdot 1.02}{4.187 \cdot 182.4} = 89.35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- Средний температурный напор в приборе по формуле (2.18)

$$\Delta t_{cp} = 89.35 - 18 = 71.35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- Для определения комплексного коэффициента приведения номинального условного теплового потока по формуле (2.17) предварительно находим значения коэффициентов  $n$ ,  $c$ ,  $p$  и  $v$  для радиатора М-90 по табл. П2.5 Приложения 2 или по табл. 9.1, 9.2 [9]:

$$n = 0.25, \quad c = 0.97, \quad p = 0.04, \quad v = 1.0, \quad \psi = 1.0$$

$$\Phi_k = \left( \frac{71.35}{70} \right)^{1+0.25} \cdot \left( \frac{182.4}{360} \right)^{0.04} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.97 = 1.03.$$

- Требуемый номинальный тепловой поток для выбора типоразмера прибора (2.16)

$$Q_{н.т.} = \frac{743}{1.03} = 722 \text{ Вт}.$$

- Ориентировочное число секций радиатора определяем по формуле (2.15):

$$N = \frac{722}{140} = 5.16 \text{ шт.}$$

Значение номинального теплового потока одной секции радиатора М-90  $Q_{н.у} = 140$  Вт/секц определяем по табл. 2.5 Приложения 2.

- Определяем поправочный коэффициент  $\beta_3$ , учитывающий число секций в приборе. Для числа секций  $<10$  его можно рассчитать по формуле

$$\beta_3 = 0.97 + \frac{34}{N \cdot Q_{ny}} ; \quad \beta_3 = 0.97 + \frac{34}{5.16 \cdot 140} = 1.017 .$$

- Коэффициент, учитывающий способ установки прибора (табл. П2.6 Прил. 2) –  $\beta_4 = 1.03$ .
- Расчетное число устанавливаемых секций радиатора М-90 по формуле (2.15)

$$N_{min} = 5.16 \frac{1.03}{1.017} = 5.2 \approx 6 \text{ секц.}$$

**Пример 12.** Определить марку открыто устанавливаемого настенного конвектора с кожухом типа КН-20к «Универсал-20» малой глубины для помещения на 3 этаже для однотрубного проточного стояка, схема которого приведена на рис. 18.

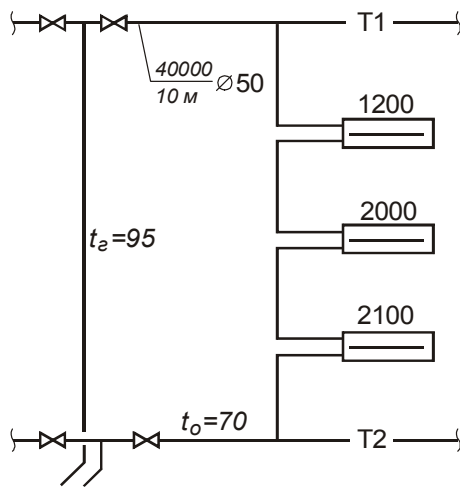


Рис.18

Высота помещений – 2.7 м. Диаметр стояка и подводок –  $d_y 15$ , диаметр магистрали –  $d_y 50$ . Система отопления с верхней разводкой при  $t_e = 95^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 70^\circ\text{C}$ . Температура внутреннего воздуха помещений  $t_{int}=18^\circ\text{C}$ . Тепловая нагрузка стояка  $Q_{cm}=5300$  Вт.

Расход теплоносителя в стояке по формуле (2.23):

$$G_{cm} = \frac{3.6 \cdot 5300}{4.187 \cdot (95 - 70)} = 182.3 \text{ кг/ч.}$$

- Понижение температуры воды на участке магистрали до рассчитываемого стояка составляет  $\Sigma\Delta t_M = 0.3^\circ\text{C}$ .

- Средняя температура воды в приборе по формуле (2.20)

$$t_{cp} = 95 - 0.3 - \frac{0.5 \cdot 3.6 \cdot 1200 \cdot 1.05 \cdot 1.02}{4.187 \cdot 182.3} = 91.8^\circ\text{C}.$$

- Средний температурный напор в приборе по формуле (2.18)

$$\Delta t_{cp} = 91.8 - 18 = 73.8^\circ\text{C}.$$

- Теплоотдача вертикальных и горизонтальных труб в рассчитываемом помещении будет складываться из теплоотдачи участка стояка ( $l_{cm}=2,2$  м,  $d_y 15$ ) и горизонтальных горячей и обратной подводки ( $l=0,5$  м,  $d_y 15$ ).

По разности температур теплоносителя в стояке и горячей подводке и окружающего воздуха  $94.7 - 18 = 76.7^\circ\text{C}$  находим по табл. П2.4 Приложения 2:

$$q_e = 67 \text{ Вт}; \quad q_z = 87 \text{ Вт.}$$

Теплоотдача обратной подводки определяется по разности температур теплоносителя на выходе из прибора и окружающего воздуха.

$$\text{Температура воды на выходе из прибора: } t_{вых} = t_{вх} - \Delta t_{пр} = 94.7 - \frac{3.6 \cdot 1200}{4.187 \cdot 182.3} = 89.2^\circ\text{C}.$$

Теплоотдача открыто проложенных трубопроводов:

$$Q_{mp} = 2.2 \cdot 76 + 0.5 \cdot 60.5 + 79.5 \cdot 0.5 + 0.5 \cdot 75 = 274.6 \text{ Вт.}$$

Таким образом, для обратной подводки при  $89.2 - 18 = 71.2 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $q_2 = 79 \text{ Вт}$ .

Суммарная теплоотдача открыто проложенных трубопроводов составляет:

$$Q_{mp} = 2.5 \cdot 67 + 0.5 \cdot 87 + 79 \cdot 0.5 = 250.5 \text{ Вт.}$$

- Определим *тепловую мощность* рассчитываемого конвектора по формуле (2.14)

$$Q_{np} = 1200 - 0.9 \cdot 250.5 = 974.5 \text{ Вт.}$$

- Комплексный коэффициент приведения равен  $\varphi_k = \left(\frac{73.8}{70}\right)^{1.3} \cdot \left(\frac{182.3}{360}\right)^{0.07} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1.0$ .

- Номинальный тепловой поток для выбора типоразмера прибора по формуле (2.16)

$$Q_{н.м.} = \frac{974.5}{1.0} = 974.5 \text{ Вт.}$$

По табл. 2.5 Приложения 2 принимаем к установке один концевой конвектор «Универсал-20» с кожухом (КН-20-1.049к). Он имеет ближайшее к расчетному значение  $Q_{нм} = 1049 \text{ Вт}^*$ .

**Пример 13.** Определить число секций радиаторов типа МС-140-108 для жилого дома по рис.1. В здании принята двухтрубная система отопления с параметрами теплоносителя  $t_2 = 95^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 70^\circ\text{C}$  (см. рис. 9).

Приведем расчет приборов для **помещения 101**. Приборы для остальных помещений будут рассчитаны аналогичным образом.

- Определяем *теплоотдачу труб стояка и проводок*, открыто проложенных в пределах помещения 101, по формуле (2.13):

$$Q_{mp} = q_в l_в + q_r l_r = 78 \cdot 2,8 + 81 \cdot 2 \cdot 0,4 = 250,8 \text{ Вт.}$$

Необходимая *теплоотдача прибора* в рассматриваемом помещении составит:

$$Q_{np} = Q_{ном} - 0,9Q_{mp} = 1520 - 0,9 \cdot 250,8 = 915 \text{ Вт.}$$

*Средний температурный напор* прибора при двухтрубной схеме по формуле (2.19)

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_в = \frac{t_2 + t_0}{2} - t_в = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 57.6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

*Расход воды*, проходящей через отопительный прибор, из формулы (2.23) составит

$$G_{np} = \frac{3.6 \cdot Q_{np}}{4.187 \cdot (t_2 - t_0)} = \frac{3.6 \cdot 915}{4.187 \cdot 25} = 39.24 \text{ кг/ч.}$$

- Рассчитываем *комплексный коэффициент приведения* по формуле (2.17):

$$\varphi_k = \left(\frac{\Delta t_{cp}}{70}\right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{np}}{360}\right)^p \cdot \psi \cdot c = \left(\frac{57.6}{70}\right)^{1.3} \cdot \left(\frac{39.24}{360}\right)^{0.02} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.97 = 0.743.$$

---

\* При выборе типоразмера конвектора с меньшей относительно расчетного значения теплоотдачей необходимо учитывать, что тепловой поток прибора не должен уменьшиться более чем на 5% или на 60 Вт от требуемого по расчету.

Требуемый номинальный тепловой поток для выбора типоразмера прибора (2.16)

$$Q_{н.м.} = \frac{Q_{np}}{\varphi_k} = \frac{915}{0,743} = 1232 \text{ Вт.}$$

Минимальное число секций чугунного радиатора определяем по формуле (2.15):

$$N_{min} = \frac{Q_{н.м.} \cdot \beta_4}{Q_{ч.р.} \cdot \beta_3} = \frac{1232 \cdot 1}{150 \cdot 1} = 8.2 \approx 8 \text{ секций,}$$

(при открытой установке  $\beta_4=1$ ; для радиаторов из 5÷10 секций  $\beta_3=1$ ).

Аналогичные расчеты остальных приборов здания сводим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

**Расчет отопительных приборов жилого дома**

№ пом.	$t_6, \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_{ном}, \text{ Вт}$	$G_{np}, \text{ кг/ч}$	$\Delta t_{cp}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t_M, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t_{ном}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi_k$	$Q_{mp}, \text{ Вт}$	$Q_{np}, \text{ Вт}$	$Q_{н.м.}, \text{ Вт}$	$N, \text{ секц.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
101	22	1141	39,24	57,6	0,68	5,03	0,743	250	915	1232	8
102	20	1049	36,10	59,44	0,44	5,67	0,772	268	807	1046	7
103	18	949	32,66	61,03	0,44	6,5	0,797	357	628	788	6
104	18	949	32,66	61,03	0,52	6,5	0,797	357	628	788	6
105	20	1017	35	59,31	0,52	5,85	0,769	248	794	1033	7
106	22	1132	39	57,6	0,74	5,06	0,742	250	906	1221	8
107	22	1297	44,63	57,9	0,8	4,42	0,749	250	1071	1431	10
108	20	1066	36,7	59,35	0,692	5,6	0,771	260	832	1079	8
109	20	1649	56,75	60,46	0,484	3,6	0,796	327	1354	1702	12
110	20	1652	56,84	60,49	0,42	3,6	0,797	327	1357	1699	12
111	20	1066	36,7	59,38	0,636	5,6	0,771	260	832	1079	8
112	22	1332	46	58,02	0,676	4,29	0,752	250	1107	1472	10
201	22	837	29	56,76	0,68	6,8	0,724	250	611	844	6
202	20	912	31,4	59,03	0,45	6,5	0,763	268	614	805	6
203	18	699	24,05	59,87	0,45	8,8	0,773	357	377	489	4
204	18	699	24,05	59,87	0,45	8,8	0,772	357	377	489	4
205	20	613	21,10	57,4	0,52	9,7	0,729	248	390	535	4
206	22	829	28,5	56,7	0,74	6,9	0,722	250	603	435	3
207	22	994	34,22	57,2	0,8	5,7	0,734	250	769	1047	7
208	20	815	28,07	58,5	0,7	7,3	0,752	260	581	773	6
209	20	1241	42,7	59,86	0,48	4,8	0,782	327	946	1210	8
210	20	1243	42,8	59,9	0,42	4,8	0,782	327	948	1213	8
211	20	815	28,07	58,5	0,64	7,3	0,753	260	581	772	6
212	22	1003	34,5	57,3	0,67	5,72	0,735	250	778	1058	7
301	22	580	19,97	55,26	0,68	9,8	0,694	79	509	734	5
302	20	466	16,03	55,92	0,45	12,7	0,702	90	384	547	4
303	18	399	13,74	56,54	0,45	15,46	0,709	172	244	345	3
304	18	399	13,74	56,54	0,45	15,46	0,709	172	244	345	3
305	20	461	16	55,8	0,52	12,8	0,7	90	380	543	4
306	22	572	19,7	15,13	0,74	10	0,7	79	501	724	5
307	22	762	26,23	56,3	0,8	7,5	0,715	79	691	966	7
308	20	500	17,21	56,15	0,69	12	0,706	82	426	603	4
309	20	819	28,2	58,62	0,48	7,27	0,754	149	684	908	6
310	20	821	28,3	58,58	0,42	7,24	0,754	149	687	911	6
311	20	500	17,21	56,18	0,64	12	0,707	82	426	603	4
312	22	772	26,56	56,46	0,67	7,4	0,718	79	701	976	7
ЛК	16	3875	133	65,56	0,27	1,6	0,900	80	3803	4226	29

## 2.7 Общие положения по гидравлическому расчету систем отопления

*Гидравлический расчет* СВО в соответствии с законами гидравлики выполняется по следующему принципу: действующая в системе разность давления (насосного и естественного) полностью расходуется на преодоление сопротивления движению. Расчет заключается в подборе по сортаменту таких диаметров труб, при которых подается *расчетное количество* теплоносителя в отопительные приборы системы.

Гидравлический расчет выполняют по аксонометрической схеме системы, на которой выявляют циркуляционные кольца, делят их на участки, наносят значения тепловых нагрузок (расходов воды).

Вначале подбирают диаметры трубы и определяют потери давления в них при перемещении расчетного количества воды по наиболее энергоемкому направлению, т.е. имеющему наибольшую длину и проходящему через самый нагруженный стояк или прибор. Такое направление называют *главным циркуляционным кольцом* (ГЦК).

Второй этап расчета заключается в подборе диаметров труб других циркуляционных колец, частично содержащих уже подобранные участки ГЦК и участки ответвлений. Диаметры ответвлений принимаются такими, чтобы потери давления при перемещении расчетных расходов воды по этим участкам были равны располагаемым давлениям в точках магистрали ГЦК, где эти ответвления присоединяются. При расчетах стремятся, чтобы потери давления по всем циркуляционным кольцам системы были одинаковы.

*Располагаемое давление*, действующее в циркуляционном кольце системы отопления, запишется:

$$\Delta P_P = \Delta P_H + B(\Delta P_{e.нр.} + \Delta P_{e.тр.}), \quad (2.25)$$

где  $\Delta P_H$  - давление, создаваемое насосом или смесительной установкой, Па;

$\Delta P_{e.нр.}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее в расчетном кольце системы вследствие охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta P_{e.тр.}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее за счет охлаждения воды в трубах, Па.

Для вертикальных однетрубных систем отопления  $B = 1,0$ ; для горизонтальных однетрубных и для двухтрубных систем  $B = 0,4$ .

**Насосное циркуляционное давление**  $\Delta P_H$  выбирается:

а) при независимой схема присоединения системы отопления – равным потерям давления в системе при предельно допустимой скорости движения воды в трубах;

б) при зависимой схеме присоединения без смешения – равным разности давлений в наружных теплопроводах  $P_1 - P_2$  в месте их ввода в здание;



в) при зависимой схеме со смешением выбирают исходя из располагаемой разности давлений  $P_1 - P_2$  и коэффициента смешения. В практических расчетах для этой схемы пользуются следующим соотношением:

$$\Delta P_H = 100 \Sigma l, \quad (2.26)$$

где  $\Sigma l$  – сумма длин расчетных участков циркуляционного кольца, м.

**Естественное циркуляционное давление**  $\Delta P_{e.нр.}$  определяется по формулам:

- в *вертикальной однотрубной* системе при  $N$  приборах в стояке, входящем в расчетное кольцо

$$\Delta P_{e.нр.} = \frac{\beta g}{c G_{см.}} \sum_1^N (Q_i h_i) \beta_1 \beta_2, \quad (2.27)$$

- где  $Q_i$  - необходимая теплоотдача теплоносителем в помещение, Вт;  
 $h_i$  - вертикальное расстояние между условными центрами нагрева воды в тепловом пункте и охлаждения в стояке для  $i$ -го прибора, м;  
 $\beta$  - среднее приращение плотности при понижении температуры воды на  $1^\circ\text{C}$  (табл. 10.4 [ ]);  
 $\beta_1, \beta_2$  - поправочные коэффициенты, учитывающие дополнительную теплоотдачу в помещении (стр. 157 [10]);  
 $G_{см.}$  - расход воды в стояке, определяемый по формуле (2.23), кг/ч, с учетом поправочных коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$

$$G_{см.} = \frac{\sum_1^N Q_i}{c (t_z - t_o)} \beta_1 \beta_2. \quad (2.28)$$

- в горизонтальной однотрубной, а также в кольцах двухтрубных систем

$$\Delta P_{e.нр.} = \beta g h_1 (t_z - t_o), \quad (2.29)$$

- где  $h_1$  - вертикальное расстояние между условными центрами нагрева воды в тепловом пункте и охлаждения в ветви или отопительном приборе на нижнем этаже здания, м.

**Естественное циркуляционное давление**  $\Delta P_{e.мр.}$  учитывается только в системах отопления с верхней разводкой. Для его определения можно воспользоваться следующими эмпирическими зависимостями:

- для двухтрубных систем

$$\Delta P_{e.мр.} = 24 l^\alpha n_{эм}^{1.6}; \quad (2.30)$$

- для однотрубных систем

$$\Delta P_{e.мр.} = 1.57 l^\alpha n_{эм}^{2.74}, \quad (2.31)$$

- где  $l$  – расстояние по горизонтали от главного стояка до расчетного, м;  
 $\alpha$  – показатель степени; для 1 этажа  $\alpha = 0.2$ , для каждого последующего уменьшается на 0.02.

Гидравлический расчет системы выполняют *двумя способами*:

- по **удельным потерям давления**, исходя из принятого расхода воды в трубах, по которому подбирается их диаметр;
- по **характеристикам гидравлического сопротивления** и проводимостям, исходя из выбранного диаметра труб, когда определяется расход воды в них.

Перепад температуры воды в стояках или ветвях системы в первом случае принимается равным  $\Delta t_{сист}$ , а во втором случае – переменным (допустимое отклонение  $\pm 7^\circ\text{C}$  при  $\Delta t_{сист}$  до  $45^\circ\text{C}$ ).

## 2.8 Гидравлический расчет системы отопления по удельной линейной потере давления

При подборе диаметра труб в главном циркуляционном кольце исходят из принятого расхода воды на участках и среднего ориентировочного значения **удельной линейной потери давления**, определяемого по формуле

$$R_{cp.} = \frac{0,65\Delta P_p}{\Sigma l}, \text{ Па/м.} \quad (2.32)$$

Задавшись диаметром  $d$  трубы и определив по формуле (2.28) количество воды на расчетном участке, по таблице П.1 прил. II [9] определяют *скорость* движения воды  $V$ , м/с и фактическое значение *удельного сопротивления*  $R$ . При этом оно должно быть близко по величине к ранее определенному значению  $R_{cp.}$

*Потери давления на трение* на расчетном участке рассчитывают по формуле

$$\Delta P_{тр} = R \times l \text{ Па.} \quad (2.33)$$

Далее, по табл. П.10÷ П.19 прил. II [9] определяют сумму коэффициентов *местных сопротивлений* (КМС) на расчетном участке  $\Sigma \xi$ . Местные сопротивления на границе 2-х участков (тройники, крестовины) относят к участку с меньшим расходом теплоносителя.

По значению  $\Sigma \xi$  и скорости воды на участке  $V$  рассчитывают *потери давления на местные сопротивления*

$$Z = \Sigma \xi \cdot \frac{\rho V^2}{2}, \text{ Па.} \quad (2.34)$$

Величину  $Z$  можно также определить из табл. П2.7 и П2.8 Приложения 2.

*Суммарные потери давления* на всех участках главного циркуляционного кольца  $\Sigma(Rl + Z)$  сравнивают с величиной расчетного располагаемого давления в системе отопления  $\Delta P_p$ . Расхождение между ними при тупиковом движении

теплоносителя не должно превышать 15%. Невязка между сопротивлениями ГЦК и каждого «малого» циркуляционного кольца допустима не более 25%.

При невозможности увязки потерь давления путем соответствующего подбора диаметра труб, гидравлический расчет выполняют способом характеристик гидравлического сопротивления.

В исключительных случаях предусматривается установка *диафрагм* (дроссельных шайб) в основаниях отдельных стояков. Диаметр отверстия регулирующей диафрагмы определяют, исходя из расхода воды в стояке, по формуле

$$d_{iu} = 3.57 \frac{\sqrt{G_{cm}}}{\sqrt[4]{\Delta P}}, \text{ мм}, \quad (2.35)$$

где  $G_{cm}$  – расход теплоносителя в стояке, кг/ч;

$\Delta P$  – необходимая для увязки разность давлений, равная  $(0.85P_p - P_{cm})$ , Па;

$P_{cm}$  – расчетное давление в стояке, Па.

**Пример 13.** Выполнить гидравлический расчет двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой (рис. 19). Расчетная температура теплоносителя равна  $t_2 = 95^\circ\text{C}$ ;  $t_0 = 70^\circ\text{C}$ .

Отопительные приборы – стальные панельные радиаторы типа РСВ. Система отопления присоединена по независимой схеме через водоподогреватель к наружным тепловым сетям.

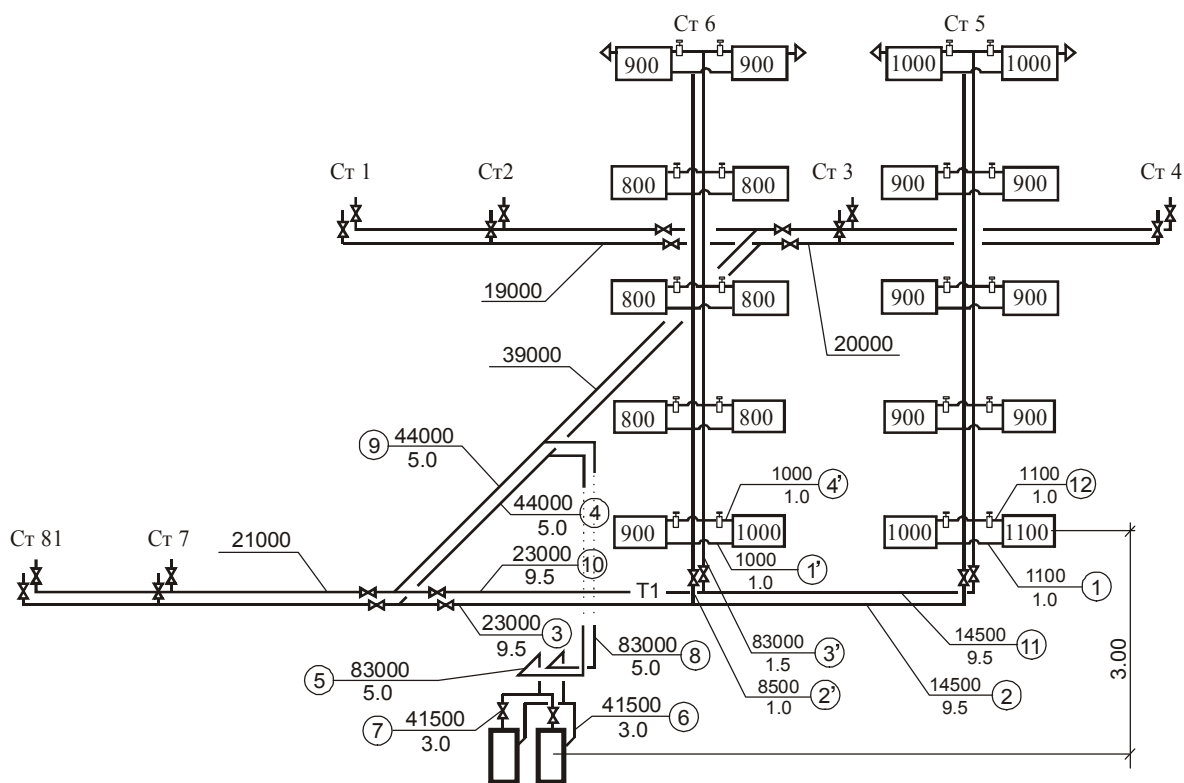


Рис. 19 Расчетная схема двухтрубной системы отопления

Так как схема движения воды в магистральных теплопроводах принята тупиковой, то главное циркуляционное кольцо проходит через наиболее удаленный **стояк 5 (наиболее удаленный и нагруженный)**.

Система отопления с водоподогревателем может быть с насосным или естественным побуждением, определим какая же система будет в рассматриваемом примере. Это зависит от радиуса действия системы и от величины удельной линейной потери давления.

Радиус действия системы отопления составляет 19 м, что меньше допустимой длины циркуляционного кольца в естественных СВО ( $l_{\text{ЦК}} \leq 30$  м при  $R_{\text{cp}} > 4$  Па/м). По данному признаку система отопления может быть с *естественной циркуляцией* теплоносителя. Определим величину естественного циркуляционного давления по формуле (2.29):

$$\Delta P_{e.np} = 0,64 \cdot 9,8 \cdot 3,0 (95 - 70) = 470,4 \text{ Па.}$$

Длина циркуляционного кольца, проходящего через **стояк 5**, составляет  $\Sigma l = 75,5$  м. Тогда по формуле (2.32):

$$R_{\text{cp}} = \frac{0,65 \cdot 470,4}{75,5} = 3,14 \text{ Па/м} < 4 \text{ Па/м}.$$

Следовательно, величина естественного давления недостаточна для преодоления сил трения и местных сопротивлений. Поэтому необходимо установить насос и данная система будет с *искусственной циркуляцией*.

Насосное циркуляционное давление в среднем составляет  $\Delta P_H = 10$  кПа.

Расчетное циркуляционное давление определим по формуле (2.25):

$$\Delta P_p = 10000 + 0,4 \cdot 470,4 = 10188 \text{ Па.}$$

Определяем по формуле (2.32) среднее ориентировочное значение удельной линейной потери давления

$$R_{\text{cp}} = \frac{0,65 \cdot 10188,0}{75,5} = 87,7 \text{ Па/м.}$$

Вычисляем расходы воды на участках по формуле (2.28) при  $\beta_1 = 1,06$  и  $\beta_2 = 1,10$ .

Заполняем в расчетном бланке (табл. 2.3) первые четыре колонки, беря показатели со схемы системы (рис. 19).

По табл. прил. 2, стр. 212 [9] по расходу воды на участках выбираем диаметр труб  $d$ , ориентируясь на значение  $R_{\text{cp}}$ , записываем в табл. 2.3 скорость движения воды  $V$  и действительные значения удельной линейной потери давления  $R$ . Затем вычисляем линейные потери давления на участках.

Суммы **коэффициентов местных сопротивлений** на участках магистралей и стояка находим по таблицам 11.10; 11.11 и 11.12 [9] или по табл. П2.7 и П2.8 Приложения 2:

### Участок 1.

выход из прибора	$\xi = 0,3$
крестовина поворотная	$\xi = 3$
	$\Sigma \xi = 3,3$ .

### Участок 2.

вентиль $d=25$	$\xi = 9$
кран пробковый $d=25$	$\xi = 1$
отвод $d=25$	$\xi = 0,6$
тройник проходной	$\xi = 1$
	$\Sigma \xi = 11,6$ .

<u>Участок 3.</u>	вентиль $d=25$	$\xi = 9$
	тройник поворотный	$\xi = 1,5$
		<hr/>
		$\sum \xi = 10,5$
<u>Участок 4.</u>	тройник поворотный	$\xi = 1,5$
<u>Участок 5.</u>	три отвода $d=40$	$\xi = 0,4 \times 3 = 1,2$
<u>Участок 6.</u>	тройник поворотный	$\xi = 1,5$
	вентиль $d=32$	$\xi = 0,5$
		<hr/>
		$\sum \xi = 2$
<u>Участок 7.</u>	внезапное сужение	$\xi = 0,5$
	вентиль $d=32$	$\xi = 0,5$
	отвод $d=32$	$\xi = 0,2$
	тройник поворотный	$\xi = 1,5$
		<hr/>
		$\sum \xi = 2,7$
<u>Участок 8.</u>	отвод $d=40$	$\xi = 0,5$
<u>Участок 9.</u>	тройник поворотный	$\xi = 1,5$
<u>Участок 10.</u>	вентиль $d_y=32$	$\xi = 0,5$
	тройник поворотный	$\xi = 1,5$
		<hr/>
		$\sum \xi = 2$
<u>Участок 11.</u>	тройник проходной	$\xi = 1$
	отвод $d_y=15$	$\xi = 0,6$
	вентиль $d_y=15$	$\xi = 15,9$
		<hr/>
		$\sum \xi = 16,5$
<u>Участок 12.</u>	крестовина поворотная	$\xi = 3$
	кран двойной регулировки	$\xi = 4$
	вход в прибор	$\xi = 0,3$
		<hr/>
		$\sum \xi = 7,3$

По скорости и по сумме коэффициентов местных сопротивлений по табл. II.3 [9] находим потери давления на местные сопротивления  $Z$ . Данные записываем в табл. 2.3.

Определяем суммарные потери давления в кольце по стояку 5:

$$\Sigma(Rl + Z) = 9703,1 \text{ Па.}$$

Запас давления:

$$\Delta = \frac{10188,16 - 9703,1}{10188,6} \cdot 100 = 4,76 \%, \text{ что является допустимым.}$$

Переходим к расчету кольца, проходящего через **стояк 6**. Располагаемое давление для этого стояка будет равняться потерям давления на участках 1, 2, 11, 12, т.е.

$$\Delta P_{P.ст.6} = \Sigma(Rl + Z)_{уч.1,2,11,12} = 7,22 + 705,7 + 646,5 + 14,6 = 1639 \text{ Па.}$$

Расчет ведем аналогично расчету кольца через стояк 5.

### Коэффициенты местных сопротивлений:

#### Участок 1.

выход из прибора	$\xi = 0,3$
крестовина поворотная	$\xi = 3$
	$\Sigma \xi = 3,3$

#### Участок 2.

вентиль $d_y = 15$	$\xi = 3$
тройник поворотный	$\xi = 1,5$
пробковый кран $d_y = 15$	$\xi = 3$
	$\Sigma \xi = 7,5$

#### Участок 3.

вентиль $d_y = 15$	$\xi = 3$
тройник поворотный	$\xi = 1,5$
	$\Sigma \xi = 4,5$

#### Участок 4.

крестовина поворотная	$\xi = 3$
кран двойной регулировки	$\xi = 4$
вход в прибор	$\xi = 0,3$
	$\Sigma \xi = 7,3$

По скорости и по сумме коэффициентов местных сопротивлений по табл. 11.3, стр. 235 [9] находим потери давления на местные сопротивления  $Z$ . Данные расчетов записываем в табл. 2.3.

Таблица 2.3

### Гидравлический расчет двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой

Участок	Данные по схеме			Приняты						
	$Q$ , Вт	$G$ , кг/ч	$l$ , м	$d_{уч}$ , мм	$V$ , м/с	$R$ , Па/м	$R \times l$ , Па	$\Sigma \xi$	$Z$ , Па	$R \times l + Z$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Основное циркуляционное кольцо через стояк 5</i>										
1	1100	44,1	1,0	15	0,056	3,8	3,8	3,3	3,42	7,22
2	14500	583	9,0	25	0,24	42	382,5	11,6	323,2	705,7
3	23000	932,8	9,5	25	0,403	110	1045	10,5	787	1832
4	44000	1768,8	5,0	32	0,427	85	425	1,5	133,6	558,6
5	83000	3337,1	10,0	40	0,664	140	1400	1,2	319	1719
6	41500	1668,5	2,0	32	0,4	75	150	2,0	156	306
7	41500	1668,5	3,0	32	0,4	75	225	2,7	195	420
8	83000	3337,1	10,0	40	0,664	140	1400	0,5	130	1530
9	44000	1768,8	5,0	32	0,42	85	425	1,5	133,5	558,5

10	23000	932,8	9,5	25	0,403	110	1045	2	160	1205
11	14500	583	9,0	25	0,24	42	382,5	16,5	464	846,5
12	1100	44,1	1,0	15	0,056	3,8	3,8	7,3	10,8	14,6
$(R \times l + Z) = 9703$										
Запас $\delta = \frac{10000 - 9703}{10000} \cdot 100\% = 4.76\%$										
<i>Циркуляционное кольцо через стояк 6</i> Располагаемое давление составляет $\Sigma \Delta P_{1-2-11-12} = 1632$ Па										
1*	1000	43,1	1,0	15	0,056	3,7	3,7	3,3	3,42	7,12
2*	8500	341,6	1,0	15	0,431	260	260	7,5	11,3	271,3
3*	8500	341,6	1,5	15	0,431	390	390	4,5	4065	796,5
4*	1000	43,1	1,0	15	0,056	3,7	3,7	7,3	11,0	14,7
$(R \times l + Z) = 1089.6$										
Невязка $\delta = \frac{1632 - 1089.6}{1632} \cdot 100\% = 33.2\%$										

Невязка давлений у сравниваемых ответвлений  $33,23\% > 25\%$ , что недопустимо. Так как для стояка 6 использованы минимальные диаметры труб ( $d_y 15$ ), то избыточное давление в стояке гасится постановкой дроссельной шайбы:

$$d_{ш} = 3.57 \frac{\sqrt{341.6}}{\sqrt[4]{1632 - 1089.6}} \approx 12 \text{ мм.}$$

## 2.9 Гидравлический расчет системы отопления по характеристикам сопротивления и проводимостям

Данный метод расчета применяют при проектировании насосных вертикальных и горизонтальных *однотрубных* систем. В результате расчета определяют потокораспределение в системе между ветвями, стояками и приборами.

Расчет начинают с главного циркуляционного кольца, для которого по формуле (2.32) определяют  $R_{cp}$ . Для каждого расчетного участка вычисляют **удельную характеристику гидравлического сопротивления**, определяющую потери давления при единичном расходе теплоносителя 1 кг/ч, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>:

$$S_{уд.} = R_{cp.} / G^2 \quad , \quad (2.36)$$

где  $G$  – ориентировочный расход воды на участке, кг/ч, вычисленный по формуле (2.28).

Диаметр труб выбирается, исходя из сопоставления полученных значений  $S_{уд}$  с величиной  $S_{уд}$  труб стандартных диаметров по табл. 10.7 [9]. Характеристики сопротивления для унифицированных приборных узлов определяются по табл. 10.19 и 10.20 [9] или по табл. П2.9÷П2.12 Приложения 2.

Для повышения тепловой устойчивости системы при выборе диаметра принимают:

- для стояков – ближайший меньший диаметр труб;
- для магистралей – ближайший больший диаметр труб.

Потери давления на трение и местные сопротивления на участке определяют по формуле

$$\Delta P_{уч.} = SG^2, \quad (2.37)$$

где  $S$  – характеристика гидравлического сопротивления участка, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>, определяемая по соотношению

$$S = A \left( \frac{\lambda}{d_B} l_{уч.} + \sum \xi_{уч.} \right), \quad (2.38)$$

здесь  $A$  – удельное динамическое давление, возникающее при расходе воды 1 кг/ч, Па/(кг/ч)<sup>2</sup> (см. табл. 10.7 [9]);

$\frac{\lambda}{d_B}$  – приведенный коэффициент гидравлического трения (см. табл. 10.7 [9]).

Потери давления на участке можно также определять по формуле

$$\Delta P_{уч.} = (G_{уч.} / \sigma_{уч.})^2, \quad (2.39)$$

где  $\sigma_{уч.}$  – проводимость участка, показывающая расход воды при единичной потере давления, кг/(ч·Па<sup>0.5</sup>).

$$\sigma_{уч.} = \frac{1}{\sqrt{S}}. \quad (2.39a)$$

Общая характеристика сопротивления *последовательно* соединенных  $N$  участков  $S_{уч.}$  равна сумме характеристик сопротивления участков. Общая характеристика сопротивления *параллельно* соединенных двух участков, образующих приборный узел, определяется по формуле

$$S_{уз.} = \frac{1}{(\sigma_1 + \sigma_2)^2} = \frac{1}{\left( \frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \right)^2}. \quad (2.40)$$

Тогда коэффициент затекания воды в таком приборном узле определится

$$\alpha = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}. \quad (2.41)$$

Таким образом, характеристика сопротивления стояка, состоящего из последовательно соединенных приборных узлов и участков, будет равна

$$S_{ст.} = \sum S_{уч.} + \sum S_{уз.} \quad (2.42)$$

После гидравлического расчета дальнего стояка переходят к расчету предпоследнего стояка. Выбрав диаметр труб и определив характеристику сопротивления и проводимость, определяют расход и перепад температуры в нем.

Если перепад температур отличается от принятого для системы не более чем на  $\pm 7$  °С, то переходят к расчету следующего стояка. При большем отличии изменяют диаметр труб предпоследнего стояка.



Необходимость дальнейших расчетов выявляется при сопоставлении полученных величин с исходными  $G_{cисм}$  и  $\Delta P_p$ . Если расхождение не превышает  $5 \div 10\%$ , то определяют значение насосного давления по формуле

$$\Delta P_n = \Delta P_{cисм} - \Delta P_e. \quad (2.43)$$

Если расхождение между  $\Delta P_p$  и  $\Delta P_{cисм}$  велико, то потери давления в системе приводят в соответствие с  $\Delta P_p$  (с запасом 10%). Для этого определяют новый расход воды в системе по формуле

$$G_p = G_{cисм} \left( \frac{0.9 \Delta P_p}{\Delta P_{cисм}} \right)^{0.5}. \quad (2.44)$$

При изменении общего расхода в системе изменится расход воды на всех участках пропорционально коэффициенту:

$$K = \left( \frac{G_p}{G_{cисм}} \right). \quad (2.45)$$

Установив действительный расход воды на участках, пересчитывают перепады температур в стояках и переходят к переопределению площади отопительных приборов.

**Пример 15.** Выполнить гидравлический расчет системы водяного отопления, схема которой представлена на рис. 20. Отопительный прибор – радиатор чугунный МС-140. Теплоноситель – вода с параметрами  $t_g = 105^\circ\text{C}$ ;  $t_o = 70^\circ\text{C}$ . Система присоединена к наружным теплосетям по зависимой схеме.

Основное циркуляционное кольцо проходит через **стояк 1**, тепловая нагрузка которого составляет  $Q_{ст.1} = 11000$  Вт.

Расчетное циркуляционное давление согласно формуле (2.25):

$$\begin{aligned} \Delta P_p = 100 \cdot 106,2 + \frac{0,66 \cdot 9,81 \cdot 3,6}{4,187 \cdot 275,7} (1600 \cdot 0,5 + 1500 \cdot 3,7 + 1000 \cdot 6,9 + 1000 \cdot 10,1 + 1000 \cdot 13,3 + \\ + 1000 \cdot 16,5 + 1200 \cdot 19,7 + 1300 \cdot 22,9 + 1400 \cdot 26,1) \cdot 1 \cdot 1,02 = 13509 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Расход воды в стояке 1 при  $\Delta t_{cm} = 35^\circ\text{C}$  по формуле (2.28)

$$G_{cm.1} = \frac{11000 \cdot 3,6 \cdot 1,0 \cdot 1,02}{4,187 \cdot 35} = 275,7 \text{ кг/ч.}$$

Средняя удельная потеря давления по формуле (2.32)

$$R_{cp} = \frac{0,65 \cdot 13509}{106,2} = 82,7 \text{ Па/м.}$$

Вычислим *удельную характеристику сопротивления* для **стояка 1** по соотношению (2.36):

$$S_{уд.р} = \frac{82,7}{275,7^2} = 10,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па /м(кг/ч)}^2.$$



Диаметр подводок  $d_y = 20$  мм. Характеристика сопротивления *подводки* равна:

$$S_{под.} = 3,19 \times 10^{-4} \times (1,8 \times 1 + 3,6) = 17,23 \times 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

**Коэффициенты местных сопротивлений для подводок:**

радиаторный термостат $d_y = 20$ мм	$\xi = 2$
радиатор	$\xi = 1,6$
	$\Sigma \xi = 3,6$

Зная характеристики сопротивления подводок и замыкающих участков, определим их проводимости по формуле (2.39а)

$$\sigma_{под.} = \frac{1}{\sqrt{17,23 \cdot 10^{-4}}} = 24 \text{ кг}/\text{ч} \cdot \text{Па}^{0,5};$$

$$\sigma_{з.уч.} = \frac{1}{\sqrt{46,11 \cdot 10^{-4}}} = 14,9 \text{ кг}/\text{ч} \cdot \text{Па}^{0,5}.$$

Характеристика *приборного узла* определяется по соотношению (2.40)

$$S_{ПР} = \frac{1}{(34 + 14,9)^2} = 6,67 \times 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Тогда *суммарная характеристика сопротивления стояка 1* составит

$$S_{ст.1.} = (1120 + 200,9 + 6,67 \times 9) \times 10^{-4} = 1380,9 \times 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Рассчитаем **потери давления** в стояке 1:

$$\Delta P_{cm1} = 275,7^2 \times 1418,5 \times 10^{-4} = 10496,5 \text{ Па}.$$

По формуле (2.39а) проводимость стояка 1 будет равна

$$\sigma_{см.1.} = \frac{1}{\sqrt{1380,9 \cdot 10^{-4}}} = 2,69 \text{ кг}/\text{ч} \cdot \text{Па}^{0,5}.$$

Рассмотрим участки 1-2 и 1'-2'. Для них  $S_{уд.Р} = S_{уд.Р. см.1} = 10,91 \times 10^{-4} \text{ Па}/\text{м}(\text{кг}/\text{ч})^2$ . Диаметр этих участков по табл. 10.7 стр.91 [9] примем равным  $d_y = 20$  мм. Найдем характеристику сопротивления участков 1-2 и 1'-2':

$$S_{уч. 1-2, 1'-2'} = 3,19 \times 10^{-4} \cdot (1,8 \times 10 + 2) = 63,8 \times 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

**Коэффициенты местных сопротивлений на участках 1-2 и 1'-2':**

2 тройника проходных	$\Sigma \xi = 1 \times 2 = 2$
----------------------	-------------------------------

Потери давления на участках 1-2 и 1'-2' составят:

$$\Delta P_{уч.1-2, 1'-2'} = 275,7^2 \times 63,8 \times 10^{-4} = 484,9 \text{ Па}.$$

Суммарные потери давления в стояке 1 и в парных магистральных участках 1-2 и 1'-2' равны:

$$\Delta P_{cm1} = 10496,5 + 484,9 = 10981,4 \text{ Па.}$$

Определим проводимость стояка 1 по формуле (2.39а) при суммарной характеристике сопротивления стояка 1 с примыкающими магистральными участками, равной:

$$\Sigma S = (1380,9 + 63,8) \times 10^{-4} = 1444,7 \times 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2;$$

$$\sigma_{ст.1} = \frac{1}{1380,9^{0,5}} = 2,69 \text{ кг/ч} \cdot \text{Па}^{0,5}.$$

Вычислим коэффициент затекания воды в прибор по формуле (2.41)

$$\alpha_{IP} = 24 / (24 + 14,9) = 0,617.$$

**Перейдем к расчету стояка 2.** Тепловая нагрузка стояка 2 составляет  $Q_{ст.2} = 10000$  Вт (см. рис. 20). Располагаемое давление для рассчитываемого стояка  $P_{ст.2} = P_{ст.1} = 10981,4$  Па, а средняя удельная потеря давления на трение равна

$$R_{CP} = \frac{0,65 \cdot 10981,4}{49,1} = 145,38 \text{ Па/м.}$$

Расход теплоносителя в стояке 2 определим по формуле (2.28)

$$G_{ст.2} = \frac{10000 \cdot 3600 \cdot 1 \cdot 1,02}{4187 \cdot 35} = 250,57 \text{ кг/ч.}$$

Удельная характеристика сопротивления стояка 2 равна:

$$S_{уд.ст.2} = \frac{145,38}{250,57^2} = 23,15 \cdot 10^{-4} \text{ Па/м(кг/ч)}^2.$$

По табл. 10.7, стр.91 [9] подбираем диаметр стояка 2. Диаметр опускной части стояка 2 примем  $d_y = 15$  мм, подъемной -  $d_y = 20$  мм.

Найдем характеристики сопротивления для стояка 2. Для опускной части стояка

$$S_{cm.2.O} = 10,6 \times 10^{-4} \times [2,7 \times (2,7 \times 8 + 0,5) + 46] = 1120 \times 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

### Коэффициенты местных сопротивлений подъемной части стояка 2:

тройник поворотный $d_y = 15$ мм	$\xi = 1,5$
17 отводов под $\angle 90^\circ$ $d_y = 15$ мм	$\xi = 1,5 \times 17 = 25,5$
вентиль $d_y = 15$ мм	$\xi = 16$
пробковый кран $d_y = 15$ мм	$\xi = 3$
	$\Sigma \xi = 46$ .

Характеристика сопротивления подъемной части стояка 2 при  $d_y = 20$  мм:

$$S_{ст.2.П} = 3,19 \cdot 10^{-4} [1,8 (3,2 \cdot 8 + 2) + 14,2] = 203,77 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2$$

### Коэффициенты местных сопротивлений подъемной части стояка 2:

тройник поворотный	$\xi = 1,5$
отводов под $\angle 90^\circ$ $d_y = 20$ мм	$\xi = 1,5$
вентиля $d_y = 20$ мм	$\xi = 10$
пробковый кран $d_y = 20$ мм	$\xi = 1,2$
	<hr/>
	$\Sigma \xi = 14,2$

Определим характеристику сопротивления замыкающего участка и подводки. Диаметр замыкающего участка примем на один калибр меньше, чем диаметр стояка 2, т.е.  $d_y = 15$  мм, диаметр подводки примем тоже  $d_y = 15$  мм.

Тогда

$$S_{3, \text{уч. ст. 2.}} = 10,6 \times 10^{-4} \times (2,7 \times 0,5 + 3) = 46,11 \times 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

### Коэффициенты местных сопротивлений замыкающего участка:

$$2 \text{ поворотных тройника} \quad \Sigma \xi = 1,5 \times 2 = 3.$$

Характеристика сопротивления подводов равна:

$$S_{\text{под. ст. 2.}} = 10,6 \times 10^{-4} \times (2,7 \times 1 + 5,6) = 87,98 \times 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

### Коэффициенты местных сопротивлений подводов:

радиаторный термостат $d_y = 15$ мм	$\xi = 4$
радиатор	$\xi = 1,6$
	<hr/>
	$\Sigma \xi = 5,6$

Найдем проводимости замыкающего участка и подводов по формуле (2.39а):

$$\sigma_{3, \text{уч. ст. 2.}} = \frac{1}{\sqrt{46,1 \cdot 10^{-4}}} = 14,9 \text{ кг}/\text{ч} \times \text{Па}^{0,5};$$

$$\sigma_{\text{под. ст. 2.}} = \frac{1}{\sqrt{87,98 \cdot 10^{-4}}} = 10,6 \text{ кг}/\text{ч} \times \text{Па}^{0,5}.$$

Зная проводимости замыкающего участка и подводов, определим характеристику сопротивления приборного узла по формуле (2.40):

$$S_{\text{пр. уз. см. 2.}} = \frac{1}{/14,9 + 10,6/2} = 15,4 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/\text{м}(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Определим суммарную характеристику сопротивлений стояка 2:

$$\Sigma S_{\text{ст. 2.}} = (1120 + 203,8 + 15,4 \times 9) \times 10^{-4} = 1462,4 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Тогда проводимость стояка 2 будет равна:

$$\sigma_{\text{ст. 2.}} = \frac{1}{\sqrt{1463,9 \cdot 10^{-4}}} = 2,6 \text{ кг}/\text{ч} \cdot \text{Па}^{0,5}.$$

Найдем коэффициент затекания теплоносителя в стояке 2:  $\alpha_{\text{см.}} = \frac{2,6}{2,65} = 0,98$ .

Вычислим фактический расход теплоносителя в стояке 2:

$$G_{ст.2} = 250,57 \times 0,98 = 245,84 \text{ кг/ч.}$$

Определим перепад температур теплоносителя в стояке 2:

$$\Delta t_{см.2} = \frac{10000 \cdot 3600}{245,84 \cdot 4187} = 34,9 < 35 \text{ }^\circ\text{C, что допустимо.}$$

Найдем коэффициент затекания воды в приборы стояка 2:

$$\alpha_{np} = 10,6 / (10,6 + 14,9) = 0,41.$$

Вычислим потери давления в стояке 2:

$$\Delta P_{см.2} = 245,84^2 \times 1462,4 \times 10^{-4} = 8838,35 \text{ Па.}$$

Проверим увязку потерь давления в стояках 1 и 2:

$$\frac{10981,4 - 8838,35}{10981} \cdot 100 = 19,5 \%,$$

что является допустимым.

**Рассмотрим магистральные участки 2-3 и 2'-3'.** Определим расход теплоносителя на участках:

$$G_{уч.2-3,2'-3'} = \frac{21000 \cdot 3600 \cdot 1 \cdot 1,02}{4187 \cdot 35} = 526,2 \text{ кг/ч.}$$

Удельная характеристика сопротивления для участков 2-3 и 2'-3' составит

$$S_{уд.р.} = \frac{82,7}{526,2^2} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

Диаметр участка по табл. 10.7, стр. 91 [9] принимаем  $d_y = 25 \text{ мм.}$

Характеристика сопротивления рассматриваемых участков равна:

$$S_{уч.2-3,2'-3'} = 1,23 \times 10^{-4} \times (1,4 \times 24 + 23) = 70,75 \times 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

**Коэффициенты местных сопротивлений участков 2-3 и 2'-3' :**

2 тройника поворотных	$\xi = 1,5 \times 2 = 3$
2 вентиля $d_y = 25 \text{ мм}$	$\xi = 10 \times 2 = 20$
	<hr/>
	$\Sigma \xi = 23 .$

Потери давления на участках 2-3 и 2'-3' составят:

$$\Delta P_{2-3,2'-3'} = 526,2^2 \times 10,15 \times 10^{-4} = 1958,9 \text{ Па.}$$

### Переходим к расчету парных магистральных участков 3-4 и 3'-4'.

Расход теплоносителя на этих участках составит

$$G_{уч. 3-4, 3'-4'} = \frac{41000 \cdot 3,6 \cdot 1 \cdot 1,02}{4,187 \cdot 35} = 1027,3 \text{ кг/ч.}$$

Определим удельную характеристику сопротивления для участков 3-4 и 3'-4' :

$$S_{уд. P.} = \frac{82,7}{1027,3^2} = 0,78 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

Диаметр участков принимаем  $d_y = 32$  мм (табл. 10.7 [9]). Рассчитаем характеристику сопротивления участков 3-4 и 3'-4' :

$$S_{уч. 3-4, 3'-4'} = 0,39 \times 10^{-4} \times (1 \times 20 + 1,5) = 8,385 \times 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

### Коэффициенты местных сопротивлений на участках 3-4 и 3'-4' :

внезапное расширение	$\xi = 1$
внезапное сужение	$\xi = 0,5$
	<hr/>
	$\Sigma \xi = 1,5$ .

Потери давления на участках 3-4 и 3'-4' :

$$\Delta P_{уч. 3-4, 3'-4'} = 1027,3^2 \times 8,385 \times 10^{-4} = 885 \text{ Па.}$$

### Суммарные потери давления в системе отопления:

$$\Delta P_{сис} = 10981,4 + 1958,9 + 885 = 13825,3 \text{ Па,}$$

что больше располагаемого давления. Следовательно, необходимо изменить диаметры труб в сторону их увеличения.

Произведем перерасчет парных магистральных участков 2-3 и 2'-3' . Примем  $d_y = 32$  мм, тогда характеристика сопротивления участков 2-3 и 2'-3' будет равна

$$S_{уч. 2-3, 2'-3'} = 0,39 \times 10^{-4} \times (1 \times 24 + 8) = 12,48 \times 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

### Коэффициенты местных сопротивлений :

2 тройника поворотных	$\xi = 1,5 \times 2 = 3$
2 вентиля $d_y = 32$ мм	$\xi = 2,5 \times 2 = 5$
	<hr/>
	$\Sigma \xi = 8$ .

Потери давления на участках 2-3 и 2'-3' составят:

$$\Delta P_{2-3, 2'-3'} = 526,2^2 \times 12,48 \times 10^{-4} = 345,5 \text{ Па.}$$

На магистральных участках 3-4 и 3'-4' диаметры труб остаются неизменными. Таким образом, суммарные потери давления в системе после перерасчета участков 2-3 и 2'-3' составят:

$$\Delta P_{сис} = 10981,4 + 345 + 885 = 12121,4 \text{ Па.}$$

Запас давления:

$$\frac{13509 - 12121,4}{13509} \cdot 100\% = 9,6\% ,$$

что удовлетворяет условию  $\Delta P_{сис} \approx 0,9 \Delta P_p$ . Таким образом, гидравлический расчет рассматриваемых участков системы закончен.

## 2.10 Расчет систем отопления с индивидуальными теплогенераторами на газовом топливе

В параграфе 2.4 были представлены схемные решения *поквартирных* систем отопления, позволяющие упорядочить учет потребляемого тепла и (в определенной степени) способствующие его экономному расходованию. Однако они не учитывают всех индивидуальных особенностей потребителей, касающихся понятия **комфорта**, так как зависят от работы теплового пункта здания или иного источника теплоснабжения.

В полной мере потребитель может управлять микроклиматом, максимально приблизив источник тепла, разместив его непосредственно в жилье. Современное оборудование позволяет осуществить такие технические решения. Миниатюрные пластинчатые теплообменники, бесшумные насосы, разнообразные средства автоматизации и другие достижения современной техники позволяют сделать систему отопления в полном смысле автономной и индивидуальной.

Дефицит тепла в существующих тепловых сетях при новом строительстве или при его отсутствии в местах, не охваченных централизованным теплоснабжением, ставит перед строителями дополнительные проблемы. В газифицированных населенных пунктах эти задачи могут быть решены путем применения индивидуальных систем отопления в каждой квартире с использованием специальных настенных или напольных газовых теплогенераторов (термоблоков), монтируемых на кухне. Особенно эффективно их применение в районах, не охваченных теплофикацией, а также в районах с малой теплоплотностью застройки. Они, как правило, совмещают функции отопления и горячего водоснабжения. Принципиальная схема такого агрегата представлена на рис. 21.

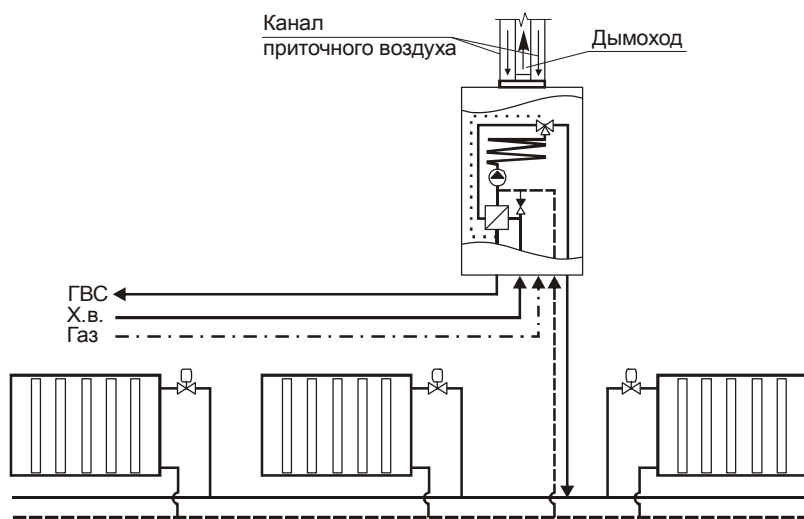


Рис. 21 Индивидуальная система теплоснабжения с газовым теплогенератором (термоблоком) настенного типа

Камера сгорания в подобных типах теплогенераторов, как правило, герметична, с забором наружного воздуха, что исключает нарушение баланса воздушной среды в помещении.

Термоблок имеет принудительную тягу, при этом необходима прокладка двух каналов: один для притока наружного воздуха, а второй — для отвода продуктов сгорания.



В эксплуатации они просты. Как в режиме отопления, так и в режиме горячего водоснабжения (ГВС) одновременно включаются горелка и циркуляционный насос. В период отопительного сезона, когда постоянно работает замкнутый контур системы отопления, для включения ГВС достаточно открыть кран горячей воды. При этом работа системы отопления временно прекращается, а специальный перепускной клапан направляет горячую воду во встроенный теплообменник для подогрева поступающей из водопровода холодной воды. Регулирующий газовый клапан позволяет менять мощность установки от 100 % до 30 %, а термостаты, установленные на контурах отопления и ГВС, дают возможность сочетать комфорт с экономичностью. В случае повышенного расхода горячей воды применяются термоблоки с баками-аккумуляторами, также встраиваемыми в кухонную мебель.

В индивидуальных домах или больших квартирах, имеющих подсобные помещения, могут быть установлены газовые теплогенераторы в комбинации с водонагревателями напольного типа (рис. 22). В зависимости от емкости последних, их компоновка может быть совместной и раздельной.

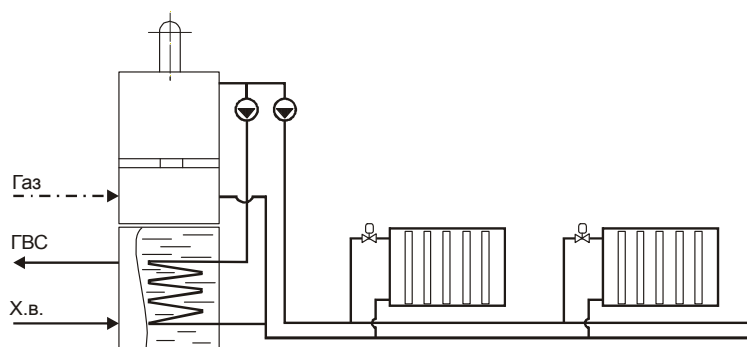


Рис.22 Установка газового теплогенератора в комбинации с водонагревателями напольного типа

Индивидуальные системы отопления с использованием термоблоков лишены недостатков, характерных для централизованного теплоснабжения: потери теплоты при транспортировке теплоносителя и его распределении по зданиям, утечки, возможные аварии на тепловых сетях и в котельной. Кроме того, жильцы имеют возможность самостоятельно регулировать потребление энергии, устанавливать необходимые параметры микроклимата и рассчитываться за реально потребленные энергоресурсы. У них появляется стимул к дальнейшему сокращению теплопотерь за счет дополнительного утепления своей квартиры, а все это ведет к реальному сокращению потребляемого газа.

Одним из вариантов системы отопления с квартирным распределением теплоносителя, сочетающим в себе возможности экономии энергоресурсов и создания наиболее благоприятного комфортного состояния для человеческого организма, является *система греющего или «теплого» пола* (ТП).

Известно, что важнейшим фактором теплового комфорта наряду с температурой воздуха в помещении служит ее распределение по площади и высоте. Характер изменения температуры зависит от типа выбранной системы отопления, что наглядно демонстрируется на графике (рис. 23).

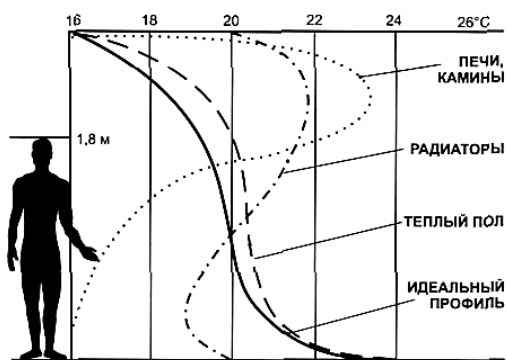


Рис. 23

Так называемый «идеальный профиль» обеспечивает приятное тепло ногам и слегка прохладный воздух на уровне головы. Как видно из рисунка, наиболее близкой к идеальному профилю является кривая, соответствующая теплomu полу. Равномерный прогрев поверхности пола исключает образование прохладных и перегретых зон по площади помещения.

Учитывая, что температура теплого пола жилых помещений в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями не должна превышать  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , система ТП обладает рядом других технических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с традиционными системами отопления. В первую очередь это связано с использованием *низкопотенциального* теплоносителя ( $35\div 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что позволяет в ряде случаев подключать ее к обратной магистрали и таким образом более полно использовать температурный потенциал в системе теплоснабжения.

«Теплый пол» представляет собой высокотехнологичную систему, состоящую из небольшого количества комплектующих. Она обеспечивает поступление комфортного тепла в любое помещение.



Система ТП обладает повышенным эффектом саморегулирования, который тем действенней, чем меньше разница между температурой теплоотдающей поверхности (в нашем случае - поверхность пола) и температурой внутреннего воздуха. Если по какой-либо причине в рассматриваемом помещении появляются дополнительные теплоступления, то внутренняя температура повышается, в то время как температура поверхности

пола остается неизменной. Из-за уменьшившейся разницы температур снижается теплоотдача греющего пола.

Общими компонентами всех типов «теплых полов» являются:

- теплоизоляционный слой, уложенный на плиты перекрытия;
- греющие трубы с приспособлениями для их фиксации;
- слой бетона, выполняющий роль тепло- и звукоизоляции;
- выравнивающая стяжка.

Греющие трубы монтируются в виде отдельных контуров расчетной длины и конфигурации, которые присоединяются к квартирным или этажным распределительным коллекторам, соединенным, в свою очередь, разводящими трубопроводами с источником тепла (рис.24).

Существуют различные формы укладки труб в контур, но наиболее часто выполняют *улиткообразную* и *петлеобразную* схемы. Пример схемы ТП с улиткообразными контурами приведен на рис. 24, а. Проблема компенсации повышенных теплопотерь у наружных стен и оконных проемов решается путем укладки в этих местах отопительных труб с меньшим шагом (периферийная зона) по сравнению с центральной зоной. Нужная температура теплоносителя в подающем коллекторе поддерживается трехходовым вентилем с терморегулятором.

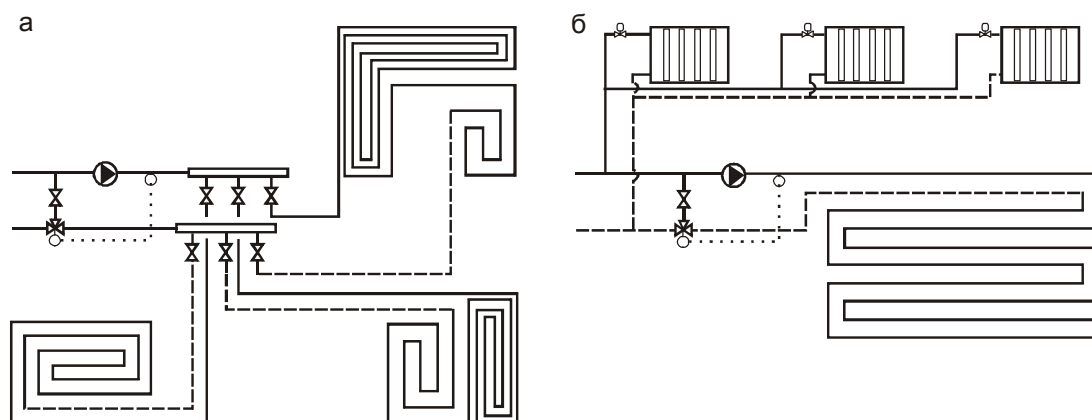


Рис.24. Схемы ТП с различной формой укладки труб: а – улиткообразный контур; б – петлеобразный контур

Вариант петлеобразной укладки показан на рис. 24, б. Здесь представлена комбинированная схема отопления: теплый пол и подоконные отопительные приборы.

Основными *достоинствами* «теплого пола», по сравнению с радиаторной системой отопления, являются:

- снижение отопительной нагрузки на здание, в силу общего снижения тепловых потерь, до 15% и, как следствие, пропорциональное уменьшение в дальнейшем этой части эксплуатационных расходов;
- повышение надежности теплоснабжения зданий вследствие большой инерционности системы, что при длительных, до 1.5÷2 суток, нарушениях теплоснабжения практически не сказывается на температурном режиме помещений.

*Недостатки:*

- большая инерционность, не позволяющая изменить температуру помещения в течение короткого времени, что легко компенсируется взаимосогласованным управлением системами отопления и вентиляции одновременно и повышает надежность теплоснабжения при авариях на тепловых сетях;
- небольшое повышение капитальных затрат на устройство по сравнению с затратами на устройство радиаторной системы.

В квартирных системах отопления в качестве источника теплоты используются *водонагреватели (котлы)* различных модификаций, которые подбираются в зависимости от тепловой нагрузки по таблицам П2.19÷21 Приложения 2. Тепловую нагрузку котла можно рассчитать по формуле:

$$Q_{\text{котла}} = 1,15 \times Q_{\text{сис}} \text{ , Вт .} \quad (2.46)$$

*Расширительный бак* в системах отопления с индивидуальным источником тепла служит для приема прироста объема воды, образующегося при ее нагревании и для поддержания требуемого гидростатического давления. Кроме того, бак предназначен для восполнения убыли воды в системе при небольшой утечке и при понижении ее температуры, а также может служить воздухоотводчиком.

Расширительный бак устанавливается в самой высокой точке системы отопления (на чердаке, в лестничной клетке) в утепленной будке или с теплоизоляцией (см. рис. П2.2 Приложения 2).

Полезная емкость расширительного бака определяется по формуле

$$V_{\text{р.б}} = 1,7 \times V_{\text{сист.}} \text{ , л} \quad (2.47)$$

где  $V_{\text{сист.}}$  - объем воды в элементах системы отопления, ориентировочно принимается на 1000 Вт тепловой нагрузки, л (табл. П2.22 Приложения 2)

$$V_{\text{сист.}} = (V_{\text{чуг.р}} + V_{\text{труб}} + V_{\text{котла}}) \times \frac{Q_{\text{полн}}}{1000} \text{ .} \quad (2.48)$$

Размеры расширительного бака и диаметры труб, присоединенных к нему, приведены в табл. П2.23 и П2.24 Приложения 2.

**Пример 15.** Запроектировать и рассчитать квартирную систему водяного отопления для 3-х комнатного мансардного дома, план которого приведен на рис. 25. Потери тепла помещениями принять из расчета 105 Вт/м<sup>2</sup>.

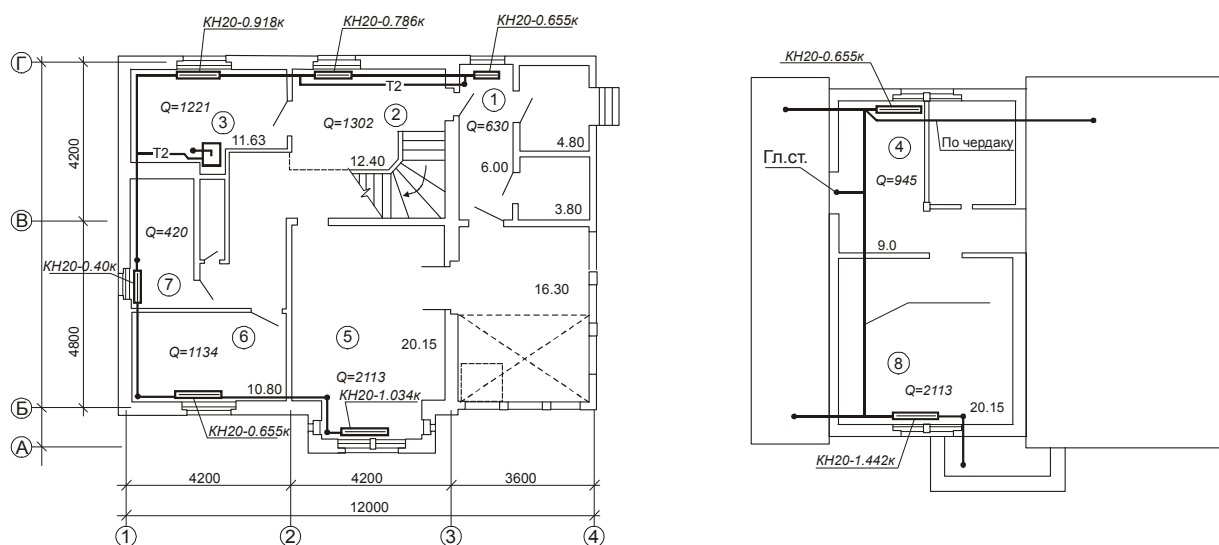


Рис.25 План 1 этажа и мансарды жилого дома

Определяем потери теплоты помещениями и наносим их значения на планы здания (см. рис. 25).

На плане здания указываем места установки отопительных приборов системы отопления, а также трассировку магистральных трубопроводов.

После этого вычерчиваем аксонометрическую схему запроектированной квартирной системы отопления (см. рис. 26). Разбиваем аксонометрическую схему на расчетные участки, проводим гидравлический расчет *гравитационной* квартирной системы отопления.

Определим расчетное циркуляционное давление по преобразованной формуле:

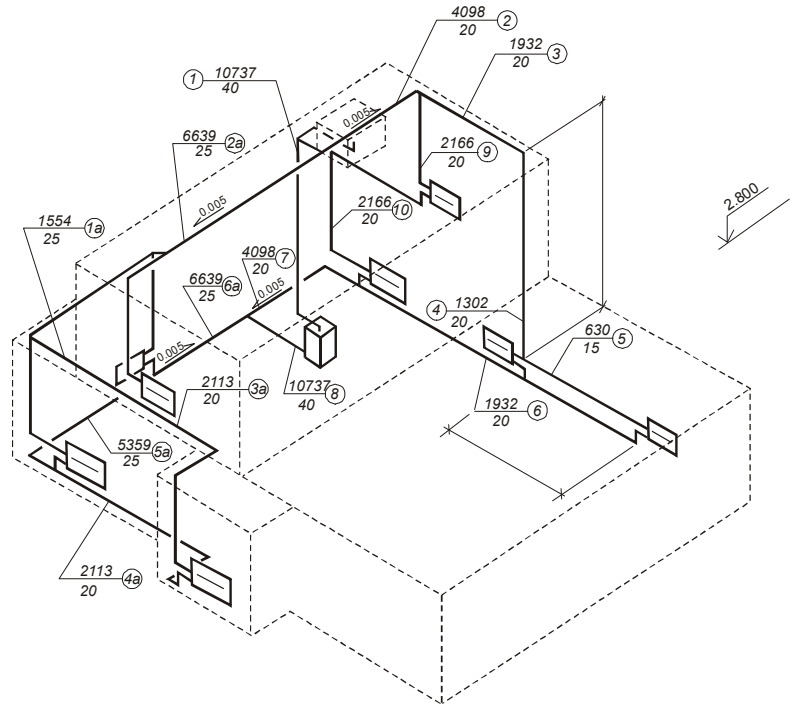


Рис. 26. Схема гравитационной квартирной СО

$$\Delta P_p = \frac{6 \sum l h_r}{2} + \beta g h_1 (t_r - t_o), \text{ Па}, \quad (2.49)$$

где  $h_r$  – вертикальное расстояние от условного центра нагрева воды в котле до верхней горизонтальной трубы, м;

$\sum l$  – общая длина последовательно соединенных участков циркуляционного кольца, м;  
 $b$  – коэффициент, равный при неизолированных трубах или тепловой изоляции только главного стояка – 3.9.

Рассчитаем расчетное циркуляционное давление в 2-х циркуляционных кольцах через дальний и средний отопительные приборы:

$$\Delta P_p^d = \frac{3,9 \cdot 34 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 2}{2} + 0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,2(95 - 70) = 374 \text{ Па};$$

$$\Delta P_p^c = \frac{3,9 \cdot 23,7 \cdot 5 \cdot 2}{2} + 0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,2(95 - 70) = 265 \text{ Па}.$$

Возможные средние потери давления на 1м каждого циркуляционного кольца:

$$\Delta P_1^d = \frac{374}{34,5} = 10,8 \text{ Па/м}; \quad \Delta P_1^c = \frac{265}{23,9} = 11,1 \text{ Па/м}.$$

За основное принимаем циркуляционное кольцо через дальний отопительный прибор.

Вычислим среднее ориентировочное значение удельной линейной потери давления в основном циркуляционном кольце

$$R_{cp} = \frac{(1 - k) \cdot \Delta P_p}{\sum l}, \text{ Па/м}, \quad (2.50)$$

где  $k$  – коэффициент, устанавливающий долю местных потерь давления в системе,  $k = 0,5$ ;

$$R_{cp} = \frac{(1 - 0,5) \cdot 374}{34,5} = 5,4 \text{ Па/м.}$$

Подбираем диаметры труб, исходя из расхода воды на участках:

$$G_{cm} = \frac{(1302 + 630) \cdot 3600 \cdot 1,02 \cdot 1,02}{4187 \cdot 25} = 69 \text{ кг/ч.}$$

Выбираем трубы стальные электросварные прямошовные (ГОСТ 10704-76\*)  $d_y=20$  мм.

Определяем сумму **коэффициентов местных сопротивлений**:

**Участок 1**

внезапное сужение  $\xi=0,5$   
 тройник  $\xi=1,5$   
 $\underline{\xi=1,5}$   
 $\Sigma \xi=2,0.$

**Участок 2**

тройник  $\xi=1$   
 отвод под  $90^0$   $\xi=1,5$   
 $\underline{\xi=1,5}$   
 $\Sigma \xi=2,5.$

**Участок 3**

отвод под  $90^0$   $\xi=1,5$   
 тройник  $\xi=1,5$   
 $\underline{\xi=1,5}$   
 $\Sigma \xi=3.$

**Участок 4**

кран КРП  $\xi=3,5$   
 конвектор  $\xi=6,4$   
 $\underline{\xi=6,4}$   
 $\Sigma \xi=9,9.$

**Участок 5**

кран КРП  $\xi=3,5$   
 конвектор  $\xi=6,4$   
 отвод под  $90^0$   $\xi=1,5$   
 $\underline{\xi=1,5}$   
 $\Sigma \xi=11,4$

**Участок 6**

тройник  $\xi=1,5$   
 $\underline{\xi=1,5}$   
 $\Sigma \xi=1,5.$

**Участок 7**

тройник  $\xi=1$   
 отвод под  $90^0$   $\xi=1,5$   
 $\underline{\xi=1,5}$   
 $\Sigma \xi=2,5.$

**Участок 8**

тройник при  
 слиянии потоков  $\xi=3,0$   
 $\underline{\xi=3,0}$   
 $\Sigma \xi=3.$

**Участок 9**

отвод под  $90^0$   $\xi=1,5$   
 кран КРП  $\xi=3,5$   
 конвектор  $\xi=6,4$   
 $\underline{\xi=6,4}$   
 $\Sigma \xi=11,4.$

**Участок 10**

отвод под  $90^0$   $\xi=1,5 \cdot 3=4,5$   
 кран КРП  $\xi=3,5$   
 конвектор  $\xi=6,4$   
 $\underline{\xi=6,4}$   
 $\Sigma \xi=14,4.$

Результаты гидравлического расчета квартирной системы, проведенного методом удельной линейной потери давления (см. пример 13), приведены в табл.2.4.

Площадь нагревательной поверхности отопительных приборов определяется из тепловой нагрузки отопительного прибора  $Q_{np}$ , Вт по формуле (2.14).

Теплоотдача открыто проложенных трубопроводов (вертикальных - верхние, горизонтальных – нижняя строка) для нашего примера определяется из таблицы 2.5.

Табл.2.4

<b>Гидравлический расчет системы водяного отопления коттеджа</b>										
уча- сток	$Q$ , Вт	$G$ , кг/ч	$l_l$ м	$D_y$ , мм	$v$ , м/с	$R$ , Па/м	$Rl$ , Па	$\Sigma\xi$	$z$ , Па	$Rl+z$ , Па
<i>Основное циркуляционное кольцо через дальний прибор</i>										
$\Delta P_p^p = 345 \text{ Па}$ $R_c = 5,4 \text{ Па}$										
1	10737	384	6,5	40	0,082	3,4	22,1	2,0	6,48	28,58
2	4098	147	2,3	20	0,111	13	29,9	2,5	74,6	104,5
3	1932	69	9,4	20	0,061	3,2	30,08	3	5,48	35,56
4	1302	47	0,3	20	0,039	1,5	0,45	9,9	7,72	8,17
5	630	23	6,8	15	0,041	3,6	24,5	11,4	8,9	33,4
6	1932	69	4,5	20	0,061	3,2	14,4	1,5	2,71	17,11
7	4098	147	3,5	20	0,068	3,8	13,3	2,5	6,85	20,15
8	10737	384	1,7	40	0,082	3,4	5,78	3	9,57	15,35
Запас 30%										262,82
<i>Циркуляционное кольцо через средний прибор</i>										
$\Delta P = \Sigma(Rl + z)_{1,2,3,4} + (\Delta P_p^d - \Delta P_p^c) = 268,58 + 109 = 277,58 \text{ Па}$										
9	2166	77	3	20	0,064	5,0	15	11,4	22,8	37,8
10	2166	77	6,89	20	0,064	5,0	34,5	14,4	28,6	63,1
$\Sigma(Rl+z)_{1,2,7,8,9,10} = 269,48 \text{ Па}$ .										100,9
Запас давления 0,2%										

Табл. 2.5

$d_y$ , мм	$\Delta t = t_r - t_a$ °C	$q$ , Вт/м
40	52	$\frac{88}{106}$
		$\frac{50}{64}$
15	52	$\frac{39}{52}$
		$\frac{67}{87}$
20	77	$\frac{84}{105}$
		$\frac{84}{105}$

*Помещение 1*  $Q_{тр} = 87 \cdot 0,3 + 39 \cdot 0,3 = 37,8 \text{ Вт}$ .

$Q_{пр} = 630 - 37,8 = 592 \text{ Вт}$ .

Устанавливаем конвектор «Универсал» КН20 – 0,655 к ( $A=1,83 \text{ м}^2$ ).

*Пом. 2*  $Q_{тр} = 84 \cdot 2,2 + 87 \cdot 3 + 52 \cdot 3 = 602 \text{ Вт}$ .

$Q_{пр} = 1302 - 602 = 700 \text{ Вт}$ .

Конвектор «Универсал» КН20 - 0,786 к ( $A=2,2 \text{ м}^2$ ).

*Пом. 3*  $Q_{тр} = 84 \cdot 2,2 + 1,2 \cdot 105 + 1,4 \cdot 64 = 400 \text{ Вт}$ .

$Q_{пр} = 1221 - 400 = 821 \text{ Вт}$ .

КН20 - 0918 ( $A=2,57 \text{ м}^2$ ).

Пом. 4  $Q_{\text{тр}} = 2,2 \cdot 84 + 105 \cdot 1,2 = 311 \text{ Вт.}$   
 $Q_{\text{пр}} = 945 - 311 = 634 \text{ Вт.}$   
 Конвектор КН20 - 0,655 ( $A=1,83 \text{ м}^2$ ).

Пом. 5  $Q_{\text{тр}} = 84 \cdot 2,2 + 105 \cdot 0,3 + 64 \cdot 0,3 + 64 \cdot 1,7 = 345 \text{ Вт.}$   
 $Q_{\text{пр}} = 2114 - 345 = 1769 \text{ Вт.}$   
 КН20 - 1,835 ( $A=5,14 \text{ м}^2$ ).

Пом. 6  $Q_{\text{тр}} = 84 \cdot 2,2 + 105 \cdot 0,3 + 64 \cdot 0,3 + 64 \cdot 3,8 + 64 \cdot 2,1 = 631 \text{ Вт.}$   
 $Q_{\text{пр}} = 1134 - 613 = 521 \text{ Вт.}$   
 КН20 - 0,655 ( $A=1,83 \text{ м}^2$ ).

Пом. 7  $Q_{\text{тр}} = 84 \cdot 2,2 + 105 \cdot 0,3 + 64 \cdot 0,3 + 64 \cdot 2 = 364 \text{ Вт.}$   
 $Q_{\text{пр}} = 420 - 364 = 56 \text{ Вт.}$   
 КН20 - 0,4 к ( $A=0,9 \text{ м}^2$ ).

Пом. 8  $Q_{\text{тр}} = 84 \cdot 2,2 + 105 \cdot 0,3 + 105 \cdot 4,4 = 678 \text{ Вт.}$   
 $Q_{\text{пр}} = 2112 - 678 = 434 \text{ Вт.}$   
 КН20 - 1,442 ( $A=4,04 \text{ м}^2$ ).

Объем расширительного бака определяем по формуле (2.47):

$$V_{p.б} = 1,7 \cdot 10,7 = 18,2 \text{ л.}$$

Бак теплоизолируется.

**Пример 16.** Определить основные характеристики для устройства подпольного отопления в помещении ванной комнаты второго этажа жилого дома по рис. 1.

Теплопотери помещения  $Q = 286 \text{ Вт}$ ; расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; площадь пола  $F_{\text{пл}} = 3,4 \text{ м}^2$ . Конструкция подпольного нагревателя приведена на рис. 10. Покрытие пола – керамическая глазурированная плитка. Температура горячей воды  $t_{\text{г}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Трубы - полимерные марки PE-Xc.

Определяем требуемый тепловой поток для компенсации теплопотерь помещения ванной комнаты:

$$q^{\text{треб}} = \frac{Q_{\text{ном}}}{F_{\text{пл}}} = \frac{286}{3,4} = 84 \text{ Вт/м}^2.$$

Для соответствующего типа покрытия и заданных параметров воды в спирали по табл. П2.18 Приложения 2 принимаем такой шаг укладки труб  $b$ , м, при котором тепловой поток близок к требуемому значению. Одновременно определяем температуру поверхности пола, которая не должна превышать допустимых значений:

- жилое помещение –  $t_{\text{пл}} \leq 29 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- помещение временного пребывания людей (ванны и т.п.) –  $t_{\text{пл}} \leq 33 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- пристенные граничные зоны –  $t_{\text{пл}} \leq 36 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для керамического покрытия при  $t_{\text{в}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  при величине  $q = 84 \text{ Вт/м}^2$  получаем шаг  $b = 0,3 \text{ м}$  и  $t_{\text{пл}} = 32,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура пола не превышает допустимой величины.

Расчетный расход воды в спирали вычисляем по формуле:



$$G_{mp} = \frac{3,6 \cdot 1,1 \cdot Q_{nom}}{4,187 \cdot (t_2 - t_0)} = \frac{3,6 \cdot 286}{4,187 \cdot 10} = 27,1 \text{ кг/ч.}$$

Приведенные удельных потери давления и скорость в полимерных трубах  $\varnothing 14 \times 2,0$  принимаем по табл. П2.15 Приложения 2:

$$R = 23,0 \text{ Па/м; } V = 0,1 \text{ м/с.}$$

Требуемую длину труб спирали определяем по формуле  $l_{mp} = \frac{F_{nl}}{b} = \frac{3,4}{0,3} = 11,4 \text{ м.}$

Потери давления в спирали составят:

$$R \times l_{mp} = 23 \times 11,4 = 262 \text{ Па.}$$

Принципиальные решения по устройству системы подпольного отопления жилого дома показаны на рисунке 10.

## ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

### 3.1. Общие положения

Для подключения систем отопления к внешним тепловым сетям устраивают *индивидуальные тепловые пункты* (ИТП), в которых размещается оборудование, арматура, приборы контроля, управления и автоматизации, посредством которых осуществляется:

- преобразование вида теплоносителя или его параметров;
- контроль параметров теплоносителя;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;
- заполнение и подпитка систем;
- учет тепловых потоков и расходов теплоносителя.

ИТП устраивают, как правило, в подвальных и цокольных помещениях. **Высоту** помещений ИТП от отметки чистого пола до низа выступающих конструкций перекрытия рекомендуется принимать не менее  $1.8 \div 2.2$  м. **Площадь** помещения определяется из конкретных условий (но не менее  $10 \text{ м}^2$ ). Помещение должно быть сухим, иметь искусственное освещение, водопровод, канализацию и защищено от несанкционированного доступа.

Системы отопления присоединяются к внешним двухтрубным водяным тепловым сетям, как правило, по *зависимой схеме* (гидравлический и температурный режимы тепловых сетей влияют на работу системы отопления). По *независимой схеме*, предусматривающей установку **водонагревателей**, допускается присоединять системы отопления в следующих случаях:

- если здание имеет 12 и более этажей;
- при несоответствии требуемого качества воды в открытых системах теплоснабжения;
- при изменяющихся гидравлических режимах в наружной тепловой сети, не обеспечивающих устойчивую работу системы отопления.

Присоединение системы отопления к внешним тепловым сетям выполняется:

- *непосредственно* - при совпадении гидравлического и температурного режимов тепловой сети и местной системы;
- *через элеватор* - при необходимости снижения температуры воды и достаточном располагаемом напоре перед элеватором;
- *через смесительные насосы* - при необходимости снижения температуры воды и располагаемом напоре, недостаточном для работы элеватора, а также при осуществлении автоматического регулирования подачи теплоты потребителю.

При *независимом* подключении применяют водяные горизонтальные секционные **кожухотрубные** или **пластинчатые водонагреватели** двух типов:

- *водо-водяные подогреватели* по ГОСТ 27590, состоящие из секций кожухотрубного типа с блоком опорных перегородок для теплоносителя давлением до 1.6 МПа и температурой до 150 °С;
- *пластинчатые водонагреватели* по ГОСТ 15518 или теплообменники зарубежных фирм Альфа-Лаваль, СВЕП, APV и др.

На рис. 27 приведены основные схемы подключения систем отопления к тепловым сетям в ИТП.

*Схема (а)* используется при понижении температуры теплоносителя в подающем трубопроводе с помощью **смесительного насоса** 1, который устанавливается совместно с обратным клапаном 2 и регулятором перепада давления 3, контролирующим постоянный расход воды в системе отопления. Автоматическое регулирование подачи теплоты на отопление, в зависимости от изменения температуры наружного воздуха  $t_n$ , осуществляется регулирующим клапаном 4 с одновременным контролем температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах с помощью датчиков 5. Регулятор 4 служит также ограничителем максимального расхода воды из тепловой сети на вводе. Для измерения расхода теплоты на вводе устанавливается теплосчетчик 6 с датчиком температуры 5 и расхода воды 7.

*Схема (б)* используется для понижения температуры подающего теплоносителя с помощью **гидроэлеватора** 11 и достаточном располагаемом напоре на вводе. При автоматическом регулировании расхода теплоты на отопление, в зависимости от изменения температуры наружного воздуха  $t_n$ , используется элеватор с *изменяющимся сечением сопла* (см. рис. ПЗ.1 Приложения 3). Чтобы исключить опасность замерзания воды в системе при полном перекрытии сопла иглой, регулирование ведут по температуре воды в обратном трубопроводе системы отопления. Ограничение максимального расхода воды на вводе обеспечивает регулятор прямого действия 10.

При независимом присоединении системы отопления по *схеме (в)* теплоноситель из тепловой сети (*первичный теплоноситель*) и теплоноситель отопления (*вторичный теплоноситель*) разделены стенкой в **подогревателе** 12. В системе отопления устанавливается циркуляционный насос 13 с обратным клапаном 2. Схема предусматривает подпитку теплоносителя отопления из обратного трубопровода первичного теплоносителя после подогревателя 12.

На рис. ПЗ.6 Приложения 3 показан один из вариантов схемы *автоматизированного узла управления (АУУ)* системы отопления жилого дома. Там же дана спецификация на основное оборудование по схеме.

Ниже приводятся примеры расчета и подбора оборудования АУУ.

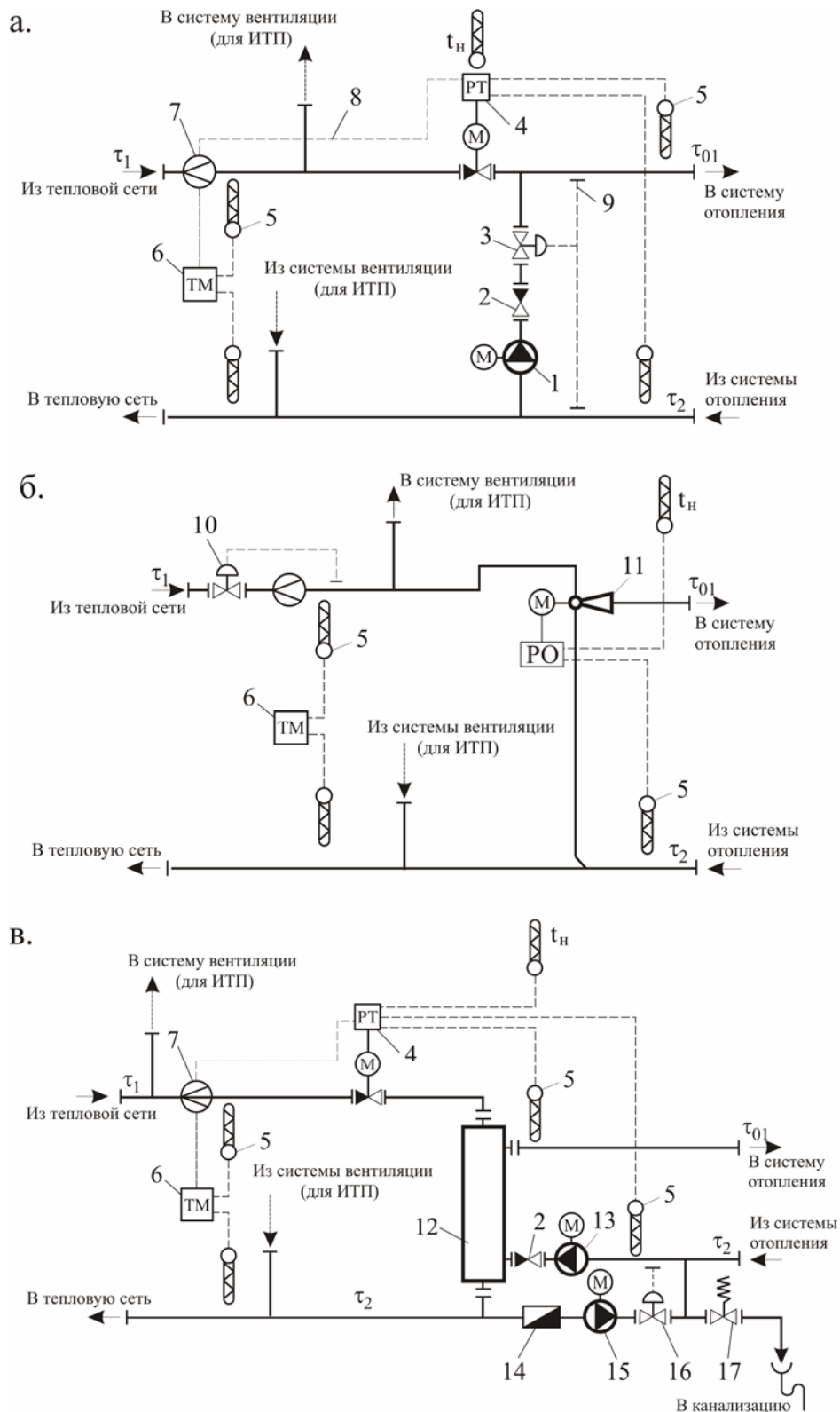


Рис. 27 Схемы присоединения систем отопления жилых зданий:

*а - со смесительным насосом; б - с гидроэлеватором; в - с теплообменником;*

1 – смесительный насос; 2 - обратный клапан; 3 - регулятор перепада давления; 4 – регулирующий клапан; 5 - датчик температуры; 6 - теплосчетчик; 7 - датчик расхода воды; 8 - сигнал ограничения максимального расхода воды из тепловой сети на ввод; 9 - датчик давления воды в трубопроводе; 10 - ограничитель расхода; 11 - гидроэлеватор; 12 - водоподогреватель; 13 - циркуляционный насос; 14 – измеритель расхода воды; 15 - подпиточный насос; 16 - регулятор подпитки; 17 - предохранительный клапан.

### 3.2. Подбор смесительных и циркуляционных насосов

При присоединении систем отопления к тепловым сетям по *зависимой* схеме место установки насоса выбирают в соответствии с пьезометрическим графиком.

*Смесительные насосы* для систем отопления устанавливаются:

- **на перемычке** между подающим и обратным трубопроводами при располагаемом напоре на вводе в здание, достаточном для преодоления гидравлического сопротивления системы отопления;
- **на обратном** трубопроводе перед узлом смешения или **на подающем** трубопроводе после узла смешения при располагаемом напоре на вводе в здание, недостаточном для преодоления гидравлического сопротивления системы отопления.

При выборе *смесительных насосов* для систем отопления\* их основные характеристики следует принимать:

а) при установке насоса на перемычке между подающим и обратным трубопроводами системы отопления: **напор** - на 2÷3 м.вод.столба больше потерь давления в системе отопления [11]; **подачу** насоса  $G$  рассчитывать по формуле

$$G = 1.1G_0u, \text{ кг/ч, или } G = \frac{1.1G_0u}{\rho}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.1)$$

где  $G_0$  - расчетный максимальный расход воды на отопление из тепловой сети, кг/ч ( $\text{м}^3/\text{ч}$ );

$$G_0 = 3.6 \frac{Q_{\text{оmax}}}{c(t_1 - t_2)}, \text{ кг/ч или } G_0 = 3.6 \frac{Q_{\text{оmax}}}{\rho c(t_1 - t_2)}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.2)$$

здесь  $Q_{\text{оmax}}$  - максимальный тепловой поток на отопление, Вт;

$c$  - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг<sup>0</sup>С),  $c = 4.187$  кДж/(кг<sup>0</sup>С);

$u$  - коэффициент смешения, определяемый по формуле

$$u = \frac{t_1 - t_{01}}{t_{01} - t_{02}}; \quad (3.3)$$

$t_1$ - температура воды в подающем трубопроводе внешней тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования системы отопления  $t_0$ , <sup>0</sup>С;

$t_{01}$  - температура воды в подающем трубопроводе системы отопления, <sup>0</sup>С;

$t_{02}$  - температура воды в обратном трубопроводе системы отопления, <sup>0</sup>С.

б) при установке насоса на подающем или обратном трубопроводе системы отопления: **напор** – в зависимости от давления в тепловой сети и требуемого давления с запасом в 2÷3 м. вод. столба [11]; **подачу** насоса  $G$  определять, соответственно, по формулам:

$$G = 1,1G_0(1 + 4), \text{ кг/ч или } G = \frac{1,1G_0(1 + 4)}{\rho}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3.4)$$

---

\* В современных системах отопления хорошо зарекомендовали себя насосы фирм “Грундфос”(Германия), “Вило”(Германия) и “Saer”(Италия), которые намного превосходят по своим техническим характеристикам, номенклатурному ряду и по бесшумности работы все отечественные образцы.

Циркуляционные насосы устанавливаются при присоединении систем отопления по независимой схеме (рис.27, в). При выборе циркуляционных насосов для систем отопления следует принимать: **напор** – по сумме потерь давления в водонагревателях и в системах отопления; **подачу** насоса  $G$  рассчитывать по формуле

$$G_o = 3.6 \frac{Q_{o\max}}{c(t_{01} - t_2)} \cdot \text{кг/ч} \quad \text{или} \quad G_o = 3.6 \frac{Q_{o\max}}{\rho c(t_{01} - t_{02})}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3.5)$$

**Пример 17.** Подобрать смесительный насос для системы отопления со следующими характеристиками: тепловая нагрузка  $Q_{o\max} = 29170$  Вт, потери давления в системе отопления  $\Sigma P_0 = 13510$  Па ( $\Sigma P_0 = \frac{13510}{9.8 \times 10^3} = 1.38$  м.вод.ст.).

Насос устанавливается на перемычке между подающим и обратным трубопроводом системы отопления (рис.27, а). Температура теплоносителя в тепловой сети при расчетном режиме  $t_1 = 120$  °С;  $t_2 = 70$  °С. Плотность воды при температуре 95°С составляет  $\rho = 971.5$  кг/м<sup>3</sup>. Тогда, согласно формулам (3.1)÷(3.3), имеем

$$G_o = 3,6 \frac{29170}{(120 - 70) \times 4,19} = 502 \text{ кг/ч} \quad \text{или} \quad G_o = \frac{502}{971.5} = 0.51 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$u = \frac{120 - 95}{95 - 70} = 1,0; \quad G = 1,1 \times 502 \times 1,0 = 552 \text{ кг/ч} \quad \text{или} \quad G_o = \frac{552}{971.5} = 0.57 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Напор насоса с учетом запаса давления составит:

$$\Sigma P_0 = 13510 + 20000 = 33510 \text{ Па} \quad \text{или} \quad \Sigma P_0 = \frac{33510}{9.8 \times 10^3} = 3.42 \text{ м. вод.ст.}$$

По каталогу **Vilo** принимаем к установке насос *Vilo-Star-RSD30/6*. На графике (рис. 28) отмечаем характерные точки рабочей сети системы отопления ( $G_o = 502$  кг/ч,  $\Sigma P_0 = 0,43$  м) и ( $G = 552$  кг/ч,  $P_l = 2,43$  м). Между ними проводим прямую и на пересечении ее с кривой, характеризующей работу насосной установки, определяем рабочую точку:

$$G_{\text{раб}} = 0,51 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad P_{\text{раб}} = 1,5 \text{ м. вод. ст.}$$

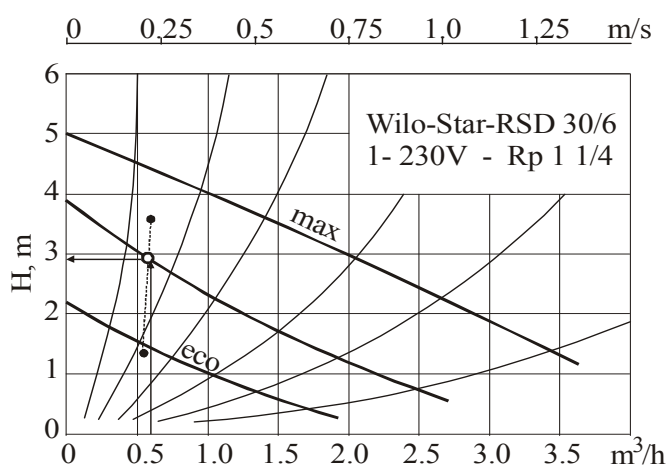


Рис. 28 К примеру 17.

По аналогичной схеме подбираются насосы других типов, конструкций и производителей.

При установке необходимо предусматривать *резервный насос*, который обычно устанавливается на обводной линии с запорной арматурой. Для удобства решения этой проблемы фирмы разработали сдвоенные насосы, т.е. в одном корпусе сблокировано два электродвигателя, при выходе одного из строя в работу автоматически включается другой. Сдвоенные насосы поставляются в комплекте с арматурой (обратным клапаном).

**Пример 18.** Подобрать циркуляционный насос для системы отопления с характеристикой  $Q_{0\max} = 29170$  Вт,  $P_0 = 13510$  Па (с учетом потерь давления в подогревателе).

Подача насоса по формуле (3.5) будет равна

$$G_0 = \frac{3.6 \times 29170}{(95 - 70) \times 4.19} = 1003 \text{ кг/ч} = 1.0 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

С учетом коэффициента запаса:

$$G_0 = G_0 \times 1.1 = 1103 \text{ кг/ч} = 1,1 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Sigma P_0 = P_0 + 20000 = 13510 + 20000 = 33510 \text{ Па (3,42 м. вод. ст.)}.$$

По каталогу GRUNDFOSS принимаем к установке насос “Грундфос” UPS32-80F с рабочей характеристикой:  $G_{\text{раб}}=1,05 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $P_{\text{раб}}=2,25 \text{ м. вод. ст.}$

### 3.3. Подбор гидроэлеватора

Для понижения температуры теплоносителя, поступающего из наружной тепловой сети в систему отопления (при *зависимой* схеме), используют водоструйный элеватор (рис. ПЗ.1, Приложение 3). Для нормальной работы элеватора располагаемое давление в наружной тепловой сети должно быть не менее 0.1 Мпа.

Водоструйные элеваторы различаются по диаметру горловины. *Диаметр горловины* элеватора  $d_z$ , мм, следует определять по формуле

$$d_z = 8.5 \sqrt[4]{\frac{G_0^2 (1+u)}{P_0}}, \quad (3.6)$$

где  $G_0$  – расчетный расход воды на отопление из тепловой сети, т/ч, определяемый по формуле (3.2);

$u$  – коэффициент смешения, определяемый по формуле (3.3);

$P_0$  – потери напора в системе после элеватора при расчетном расходе воды, м. вод.ст.

При выборе элеватора следует принимать стандартный элеватор с ближайшим меньшим диаметром горловины (см. табл. ПЗ.1 Приложения 3).

Минимально необходимый **напор**  $P$ , м. вод.ст. перед элеватором для преодоления гидравлического сопротивления элеватора и присоединенной к нему системы отопления допускается определять по приближенной формуле

$$P = 1,4 P_0 (1+u)^2. \quad (3.7)$$

*Диаметр сопла* гидроэлеватора  $d_c$ , мм, определяют по формуле

$$d_c = 9.6 \sqrt[4]{\frac{G_0^2}{P_1}}, \quad (3.8)$$

где  $P_1$  – напор перед элеватором, определяемый по пьезометрическому графику, м.вод.ст.

Диаметр сопла следует рассчитывать с точностью до десятых долей миллиметра с округлением в меньшую сторону и принимать не менее 3 мм. Избыток напора следует гасить *регулирующим клапаном* или *дроссельной диафрагмой*, устанавливаемыми перед элеватором.

Диаметр *отверстий дроссельных диафрагм*  $d$ , мм следует определять по формуле

$$d = 10 \sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta P}}, \quad (3.9)$$

где  $G$  – расчетный расход воды в трубопроводе, т/ч;  
 $\Delta P$  – напор, гасимый дроссельной диафрагмой, м.вод.ст.

**Пример 19.** Подобрать гидроэлеватор для однетрубной системы отопления с характеристикой:  $Q_{0\max} = 29170$  Вт,  $P_0 = 5030$  Па;  $t_{01} = 105$  °С;  $t_2 = 70$  °С;  $t_1 = 120$  °С.

Расчетный расход воды из тепловой сети на отопление здания

$$G_o = 3.6 \frac{29170}{4.19(120 - 70)} = 501.25 \text{ кг/ч.}$$

Коэффициент смешения по формуле (3.3)

$$u = \frac{120 - 105}{105 - 70} = 0.43.$$

По формуле (3.6) вычисляем диаметр горловины элеватора:

$$d_z = 8.5 \sqrt[4]{\frac{0.5^2(1 + 0.43)}{0.5}} = 8.5 \text{ мм.}$$

Согласно формуле (3.7) минимально необходимый напор  $P$ , м.вод.ст, будет равен

$$P = 1.4 P_0 (1 + u)^2 = 1.4 \times 0.5 (1 + 0.43)^2 = 1.43 \text{ м.}$$

Диаметр сопла элеватора  $d_c$ , мм, при  $P_1 = 10$  м.вод.ст. определяем по формуле (3.8)

$$d_c = 9.6 \sqrt[4]{\frac{0.5^2}{10}} = 3.8 \text{ мм.}$$

По таблице ПЗ.1 Приложения 3 выбираем элеватор «ВТИ – Мосэнерго» №1.



### 3.4. Подбор водоподогревателей для нужд отопления

Расчетную *тепловую производительность* водоподогревателей  $Q$ , Вт, следует принимать по расчетным тепловым нагрузкам на отопление, приведенным в проектной документации здания.

Расчет *поверхности нагрева* водоподогревателей отопления  $F$ , м<sup>2</sup> проводится при температуре воды в тепловой сети, соответствующей расчетной температуре наружного воздуха для проектирования системы отопления по формуле

$$F = \frac{Q_{0\max}}{K \Delta t_{cp}}, \quad (3.10)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи теплообменника, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$\Delta t_{cp}$  – среднелогарифмическая разность температур между греющей и нагреваемой водой, °С.

*Температурный напор*  $\Delta t_{cp}$ , °С теплоносителя водоподогревателя отопления определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - t_{01}) - (t_2 - t_{02})}{2.3 \lg \frac{t_1 - t_{01}}{t_2 - t_{02}}}. \quad (3.11)$$

Температуру нагреваемой воды следует принимать:

- **на входе** в водоподогреватель  $t_2$  – равной температуре воды в обратном трубопроводе системы отопления при температуре наружного воздуха для проектирования отопления  $t_n$ ;
- **на выходе** из водоподогревателя  $t_{01}$  – равной температуре воды в подающем трубопроводе системы отопления при температуре наружного воздуха  $t_n$ .

Температуру *греющей воды* следует принимать:

- **на входе** в водоподогреватель – равной температуре воды в подающем трубопроводе внешней тепловой сети на вводе в тепловой пункт  $t_1$  при температуре наружного воздуха  $t_n$ ;
- **на выходе** из водоподогревателя  $t_2$  – на 5÷10 °С выше температуры воды в обратном трубопроводе системы отопления  $t_2$  при расчетной температуре наружного воздуха  $t_n$ .

*Расчетные расходы воды*  $G_0$  и  $G_{0\max}$ , кг/ч для подбора водоподогревателей систем отопления следует определять по формулам:

- **греющей воды** 
$$G_o = 3.6 \frac{Q_{o\max}}{c(t_1 - t_2)}; \quad (3.12)$$

- **нагреваемой воды** 
$$G_o = 3.6 \frac{Q_{o\max}}{c(t_{01} - t_{02})}. \quad (3.13)$$

Коэффициент теплопередачи  $K$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С) в зависимости от конструкции водоподогревателя определяется по формулам:

- для кожухотрубного 
$$K = \frac{\psi\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}}; \quad (3.14)$$

- для пластинчатого 
$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}}, \quad (3.15)$$

где  $\Psi$  - коэффициент эффективности теплообмена: для гладкотрубных водоподогревателей с опорами в виде полок  $\Psi = 0.95$ , для гладкотрубных с блоком опорных перегородок  $\Psi = 1.2$ , для профилированных и с блоком опорных перегородок  $\Psi = 1,65$ ;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий загрязнение поверхности труб или пластин в зависимости от химических свойств воды, принимается: для кожухотрубных -  $\beta = 0,8 \div 0,95$ ; для пластинчатых -  $\beta = 0,7 \div 0,85$ ;

$\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубки или пластины, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи от стенки трубки или пластины к нагреваемой воде, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

для кожухотрубного - 
$$\alpha_1 = 1,16 \left[ 1210 + 18t_{cp}^{zp} - 0,038(t_{cp}^{zp})^2 \right] \frac{W_{mp}^{0,8}}{d_{вн}^{0,2}}; \quad (3.16)$$

$$\alpha_2 = 1,16 \left[ 1210 + 18t_{cp}^H - 0,038(t_{cp}^H)^2 \right] \frac{W_{мп}^{0,8}}{d_{эке}^{0,2}}; \quad (3.17)$$

для пластинчатого - 
$$\alpha_1 = 1,16A \left[ 23000 + 283t_{cp}^{zp} - 0,63(t_{cp}^{zp})^2 \right] W_{zp}^{0,73}; \quad (3.18)$$

$$\alpha_2 = 1,16A \left[ 23000 + 283t_{cp}^H - 0,63(t_{cp}^H)^2 \right] W_n^{0,73}, \quad (3.19)$$

где  $t_{cp} = \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2}$  - средняя температура соответствующего теплоносителя, °С;

$\rho$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$d_{эке}$  - эквивалентный диаметр межтрубного пространства, м;

$A$  - коэффициент, зависящий от типа пластин.

$W_{мп}, W_{mp}, W_{zp}, W_n$  - фактическая скорость воды в межтрубном пространстве (греющей) и в трубках (нагреваемой), м/с,

$$W_{мп} = W_{zp} = \frac{G_0}{3600 f_{zp} \rho}; \quad W_{mp} = W_n = \frac{G_{0max}}{3600 f_n \rho}, \quad (3.20)$$

где  $f_{zp}, f_n$  - площадь сечения, м<sup>2</sup>, соответственно, межтрубного и трубного пространства, или общее живое сечение каналов в пакете по ходу греющей и нагреваемой воды.

Число секций кожухотрубного водонагревателя определяется по формуле

$$N = \frac{F}{f_{сек}}, \quad (3.21)$$

где  $f_{сек}$  - поверхность нагрева одной секции, м<sup>2</sup>.

Потери давления в кожухотрубном водоподогревателе:

- для воды, проходящей в трубках -

$$\Delta P_n = \varphi A \left( \frac{g_n}{f_{mp} \rho} \right)^2 N; \quad (3.22)$$

- для воды, проходящей в межтрубном пространстве -

$$\Delta P_{cp} = B W_{mnp}^2 N, \quad (3.23)$$

где  $\varphi, A, B$  – коэффициенты ( $A = 7,5$  - при длине секции 4 м;  $A = 5$  - при длине секции 2 м);

$g_n$  – максимальный секундный расход воды, л/с;

$\delta_{ст}$  - толщина стенки трубки, м;

$\lambda_{ст}$  - коэффициент теплопроводности материала стенки трубки, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

Расчет необходимого числа пластин и выбор компоновки пластинчатого теплообменника проводится в следующем порядке.

По оптимальной скорости воды в каналах теплообменника ( $W_{opt} \approx 0,4$  м/с), выбрав тип пластины, находим требуемое количество каналов по нагреваемой воде  $m_n$ :

$$m_n = \frac{G_{0max}}{W_{opt} f_k \rho 3600}, \quad (3.24)$$

где  $f_k$  – живое сечение одного межпластинчатого канала, м<sup>2</sup>.

Оптимальное соотношение числа ходов для греющей  $X_1$  и нагреваемой  $X_2$  воды определяем по формуле:

$$\frac{X_1}{X_2} = \left( \frac{G_{0max}}{G_0} \right)^{0,636} \left( \frac{\Delta P_{cp}}{\Delta P_n} \right)^{0,364} \frac{1000 - t_{cp}^n}{1000 - t_{cp}^{cp}}. \quad (3.25)$$

Если соотношение ходов получается  $>2$ , то для повышения скорости воды целесообразна несимметричная компоновка (рис. ПЗ.5 Приложения 3).

При несимметричной компоновке получается смешанное движение потоков: в части каналов – противоток, в части – прямоток. Это снижает температурный напор установки по сравнению с противоточным характером движения теплообмениваемых сред, который имеет место при симметричной компоновке. Поэтому для исключения смешанного тока теплоносителей более эффективно водоподогревательную установку собирать из двух или нескольких отдельных теплообменников с симметричной компоновкой, включенных последовательно по теплоносителю, у которого получается большее число ходов и параллельно - по другому теплоносителю.

По заданной величине расчетной производительности  $Q$  и по полученным значениям коэффициента теплопередачи  $K$  и температурному напору  $\Delta t_{cp}$  определяется необходимая поверхность нагрева  $F_{mp}$  по формуле (3.10).

Количество ходов в теплообменнике “X” можно определить из выражения

$$X = \frac{F_{mp} + f_{nl}}{2m \times f_{nl}}, \quad (3.26)$$

где  $f_{nl}$  – поверхность нагрева одной пластины, м<sup>2</sup>.

Число ходов округляется до целой величины.

Действительная поверхность нагрева всего водоподогревателя определяется по формуле:

$$F = (2mX - 1)f_{nl}. \quad (3.27)$$

Потери давления  $\Delta P$ , кПа в водоподогревателе следует определять по формулам:

- для нагреваемой воды  $\Delta P_n = \varphi B (33 - 0,08t_{cp}^n) W_n^{1,75} X$ ; (3.28)

- для греющей воды  $\Delta P_{cp} = \varphi B (33 - 0,08t_{cp}^{cp}) W_{cp}^{1,75} X$ , (3.29)

где  $\varphi$  - коэффициент, учитывающий накипеобразование; для греющей сетевой воды составляет  $\varphi = 1,0$ ; для нагреваемой воды должен приниматься по опытным данным; при отсутствии таких данных можно принимать  $\varphi = 1,5 \div 2,0$ ;

$B$  - коэффициент, зависящий от типа пластины, принимается по табл. ПЗ.4 Прилож. 3;

$W_n$ ,  $W_{cp}$  – скорость теплоносителя, м/с, соответственно, нагреваемого и греющего при прохождении максимального секундного расхода.

**Пример 20.** Выбрать и рассчитать водоподогревательную установку для системы отопления индивидуального теплового пункта, оборудованного подогревателем кожухотрубного типа с трубной системой из прямых гладких трубок и блоками опорных перегородок по ГОСТ 27590 (см. рис. ПЗ.2 Приложения 3).

Исходные данные:

- Максимальный тепловой поток на отопление  $Q_{0max} = 29170$  Вт.
- Температура теплоносителя:
  - в подающем трубопроводе внешней тепловой сети  $t_1 = 120$  °С;
  - в обратном трубопроводе тепловой сети  $t_2 = 76$  °С;
  - в подающем трубопроводе системы отопления  $t_{01} = 95$  °С;
  - в обратном трубопроводе системы отопления  $t_{02} = 70$  °С.

1. Максимальный расход сетевой воды на отопление по формуле (3.12) будет равен

$$G_0 = \frac{3,6 \times 29170}{4,2(120 - 76)} = 568 \text{ кг/ч.}$$

2. Максимальный расход нагреваемой воды в системе отопления определим по формуле (3.13)

$$G_{0\max} = \frac{3,6 \times 29170}{4,2(95 - 70)} = 1000 \text{ кг/ч.}$$

3. Температурный напор теплоносителя в водоподогревателе определим по формуле (3.11)

$$\Delta t_{cp} = \frac{(120 - 95) - (76 - 70)}{2,3 \lg \frac{120 - 95}{76 - 70}} = 13,3 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

4. Для выбора необходимого типоразмера водоподогревателя предварительно задаемся оптимальной скоростью греющей воды в трубках, равной  $W_{mp} = 1 \text{ м/с}$ , и определим необходимое сечение трубок водонагревателя  $f_{mp}^{ysl}$ ,  $\text{м}^2$ , по формуле

$$f_{mp}^{ysl} = \frac{G_0}{3600(W_{mp})\rho} = \frac{568}{3600(1) \times 10^3} = 0,00016 \text{ м}^2.$$

где  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  - плотность воды.

В соответствии с полученной величиной  $f_{mp}^{ysl}$  и по табл. ПЗ.2 Приложения 3 выбираем необходимый типоразмер водоподогревателя со следующими характеристиками:

$$\begin{aligned} f_{mp} &= 0,00062 \text{ м}^2; & f_{mmp} &= 0,00116 \text{ м}^2; \\ P_n &= 57 \text{ мм}; & d_{э\kappa\text{в}} &= 0,0129 \text{ м}; \\ f_{сек} &= 0,75 \text{ м}^2 \text{ (при длине секции 4 м)}; & \frac{d_n}{d_{вн}} &= \frac{16}{14} \text{ мм.} \end{aligned}$$

5. Для выбранного типоразмера водоподогревателя определим фактические скорости воды в трубках и межтрубном пространстве по формулам (3.20)

$$W_{mp} = \frac{568}{3600 \times 0,00062 \times 10^3} = 0,25 \text{ м/с}; \quad W_{mmp} = \frac{1000}{3600 \times 0,00116 \times 10^3} = 0,24 \text{ м/с.}$$

6. Средняя температура греющей воды равна:

$$t_{cp} = \frac{120 + 76}{2} = 98 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

7. Средняя температура нагреваемой воды:

$$t_{cp} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

8. Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубки по формуле (3.16)

$$\alpha_1 = 1,16 \left[ 1210 + 18 \times 98 - 0,038(98)^2 \right] \frac{0,25^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 2002 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C.}$$

9. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к нагреваемой воде из формулы (3.17)

$$\alpha_2 = 1,16 \left[ 1210 + 18 \times 82,5 - 0,038(82,5)^2 \right] \frac{0,24^{0,8}}{0,0129^{0,2}} = 1855 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C.}$$

10. Коэффициент теплопередачи при  $\beta = 0,9$  и  $\Psi = 1,2$

$$K = \frac{0,9 \times 1,2}{\frac{1}{2002} + \frac{1}{1855} + \frac{0,001}{105}} = 1080 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C.}$$

11. Требуемая поверхность нагрева водоподогревателя по формуле (3.10) будет равна

$$F = \frac{29170}{1080 \times 13,3} = 2,03 \text{ м}^2.$$

12. Число секций подогревателя при длине секции 4 м

$$N = \frac{2,03}{0,75} = 2,7.$$

Принимаем 3 секции. Действительная поверхность нагрева составит

$$F = 0,75 \times 3 = 2,25 \text{ м}^2.$$

13. Потери давления в водоподогревателе для воды, проходящей в трубках, определим по формуле (3.22) с учетом  $\varphi = 2$

$$\Delta P_{cp} = 2 \times 7,5 \left( \frac{0,16}{0,00062 \times 10^3} \right)^2 \times 3 = 3 \text{ кПа}.$$

Для воды, проходящей в межтрубном пространстве, из формулы (3.23):

$$\Delta P_n = 30 \times 0,24^2 \times 3 = 5,2 \text{ кПа}.$$

**Пример 21.** Выбрать и рассчитать водоподогревательную установку для системы отопления жилого дома по данным Примера 20 на основе пластинчатого водонагревателя (из пластин марки 0,3 Р).

1. Проверяем соотношение ходов в теплообменнике, принимая  $\Delta P_n = 100$  кПа и  $\Delta P_{cp} = 40$  кПа

$$\frac{X_1}{X_2} = \left( \frac{1000}{568} \right)^{0,636} \left( \frac{40}{100} \right)^{0,364} \times \frac{1000 - 82,5}{1000 - 98} = 1,34 \times 0,716 \times \frac{917,5}{902} = 1,04.$$

Соотношение ходов не превышает 2, следовательно, принимаем симметричную компоновку теплообменников.

2. По оптимальной скорости нагреваемой воды определяем требуемое число каналов

$$m_n = \frac{1000}{0,4 \times 0,00110 \times 1000 \times 3600} = 0,63.$$

Принимаем  $m_n = 1,0$ .

3. Общее живое сечение каналов в пакете будет равно

$$f_{cp} = f_n = 1 \times 0,00110 = 0,00110 \text{ м}^2.$$

4. Скорости греющей и нагреваемой воды по формулам (3.20):

$$W_{cp} = \frac{568}{3600 \times 0,00110 \times 1000} = 0,143 \text{ м/с}; \quad W_n = \frac{1000}{3600 \times 0,00110 \times 1000} = 0,25 \text{ м/с}.$$

5. Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке пластины при  $A = 0,492$

$$\alpha_1 = 1,16 \times 0,492 \left[ 23000 + 283 \times 98 - 0,63(98)^2 \right] \times 0,143 \times 0,73 = 6158 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. Коэффициент тепловосприятия от стенки пластины к нагреваемой воде

$$\alpha_2 = 1,16 \times 0,492 \left[ 23000 + 283 \times 82,5 - 0,63(82,5)^2 \right] \times 0,25 \times 0,73 = 8714 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

7. Коэффициент теплопередачи при  $\beta=0,8$

$$K = \frac{0,8}{\frac{1}{6158} + \frac{0,001}{16} + \frac{1}{8714}} = \frac{0,8}{0,00016 + 0,0000625 + 0,00011} = \frac{0,8}{0,016} = 2373 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

8. Требуемая поверхность нагрева водоподогревателя

$$F_{mp} = \frac{29170}{1373 \times 13,3} = 0,92 \text{ м}^2.$$

9. Количество ходов будет равно

$$X = \frac{0,92 + 0,6}{2 \times 1 \times 0,6} = 1,27.$$

Принимаем 2 хода.

10. Действительная поверхность нагрева будет равна

$$F = (2 \times 1 \times 2 - 1) \times 0,6 = 1,8 \text{ м}^2.$$

11. Потери давления подогревателя по греющей воде (принимая  $\varphi=1$  и  $B=3,0$ ):

$$\Delta P_{gp} = 1 \times 3,0(33 - 0,008 \times 98) \times 0,143 \times 1,75 \times 2 = 5 \text{ кПа}.$$

12. Потери давления подогревателя по нагреваемой воде при  $\varphi=1,5$  равны

$$\Delta P_n = 1,5 \times 3(33 - 0,08 \times 82,5) 0,25 \times 1,75 \times 2 = 21 \text{ кПа}.$$

По результатам расчета в качестве водоподогревателя принимаем теплообменник разборной конструкции ( $P$ ) с пластинами типа 0,3 Р толщиной 0,8 мм на консольной раме (исполнение 1). Материал прокладки - теплоустойчивая резина марки 359. Характеристики теплообменников приведены в табл. ПЗ.5 Приложения 3.

Технические характеристики пластинчатых теплообменников фирм «Альфа-Лаваль», «Цетатерм» и «APV» приведены в табл. ПЗ.7÷ПЗ.9 Приложения 3.

**ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ****4.1. Основные положения**

В соответствии с нормами проектирования, в жилых зданиях предусматривается вентиляция с естественным побуждением. Согласно [1] расчетная температура наружного воздуха равна +5 °С.

Принимается следующая *схема вентиляции квартир*. Отработанный воздух удаляется из кухонь и санитарных помещений вследствие перепада давления, вызванного разностью температур внутри помещения и снаружи. Приточный воздух поступает неорганизованно через неплотности наружных ограждений (в основном, оконного заполнения).

Действие ветра может улучшать или ухудшать вентиляцию помещений в зависимости от того, расположены последние на наветренной или заветренной стороне здания. Поэтому при расчете естественной вентиляции скорость ветра принимается равной нулю.

Квартира рассматривается в качестве единого воздушного объема. Приточный воздух движется из жилых комнат в кухню и санузел через открытые внутриквартирные двери, которые должны быть снабжены решетками или должны иметь подрезку дверного полотна для перетока воздуха. Согласно нормам, площадь дверных решеток в помещениях кухонь и санузлов, в которых установлены газовые водонагреватели и плиты, должна быть не менее 0,02 м<sup>2</sup>, высота зазора под дверями – не менее 2 см. В кухнях-столовых расход приточного воздуха должен составлять не более 50% расхода вытяжного воздуха.

*Требуемые воздухообмены* (м<sup>3</sup>/ч) и расчетные *температуры* воздуха (°С) в квартирах рассмотрены в примере 1. Они обеспечивают нормальный влажностный режим помещений ( $\varphi = 30 \div 65$  %), при котором исключается возможность образования конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений.

До введения новых требований по теплосбережению нормативный воздухообмен в помещениях обеспечивался за счет высокой воздухопроницаемости оконных блоков, в которых либо вовсе не было уплотнений, либо использовались 3 типа в меру воздухопроницаемых прокладок: *губчатая резина, пенополиуретан, полшерстяной шнур*. Окна с такими прокладками обеспечивали «дежурный вентиляционный фон» в помещениях. Его можно было регулировать заменой типа уплотняющих прокладок.

В современном жилищном строительстве используются окна с повышенными теплозащитными свойствами - стеклопакеты. Их конструкции герметизированы *плотными* резиновыми и пластмассовыми *воздухонепроницаемыми* уплотнителями притворов.

Однако, высокая герметичность современных окон делает практически неработоспособными системы естественной вентиляции. В квартирах со стеклопакетами ухудшается качество воздуха, повышается влажность, возрастает вероятность грибковых поражений строительных конструкций.



Низкая воздухопроницаемость современных окон может обеспечить поступление необходимого количества наружного воздуха только на первых этажах здания, где имеет место повышенная инфильтрация в результате наибольшего перепада давлений. Через окна квартир верхних этажей воздух из-за недостаточного перепада давлений (менее 2,5 Па) практически не поступает. Вентиляцию приходится организовывать за счет периодического открывания форточек, что создает проблемы зимой. Для решения указанных проблем в [12] рекомендуется:

- приток воздуха в помещения «герметизированных» квартир осуществлять через приточные клапаны, устанавливаемые в переплете окна или в наружной стене;
- удаление воздуха из помещений квартир верхних этажей с индивидуальными вертикальными каналами осуществлять индивидуальными бытовыми вытяжными вентиляторами на каждом отдельном канале;
- для увеличения располагаемого давления в каналах вытяжные шахты на кровле следует оборудовать дефлекторами;
- рекомендуемое сечение канала на кухне должно составлять 140×270, размер вентиляционных решеток 200×250.

#### 4.2. Расчет систем вентиляции малоэтажных зданий

Системы вытяжной вентиляции с естественным побуждением в зданиях малой этажности (до 5 этажей) выполняются в виде *индивидуальных* вертикальных каналов, выходящих в общую вытяжную шахту в пределах чердака и выхода через кровлю. Из каждого помещения выводится на чердак отдельный вентиляционный канал. Объединять их в стенах запрещается во избежание перетока воздуха из одних помещений в другие. В зданиях, имеющих дымовые трубы печей, каминов, котлов, проточных газовых водонагревателей, каналы вентсистем следует примыкать к стенам дымоходов или располагать в теле общей с ними сборной вытяжной шахты, что способствует увеличению естественного напора (*тяги*).

Для уменьшения количества вытяжных шахт вертикальные каналы допустимо объединять горизонтальными сборными каналами (*коллекторами*), которые прокладывают по утеплителю чердачного перекрытия. В бесчердачных зданиях горизонтальные сборные коллекторы устраивают под потолком лестничных клеток или в подшивке коридора верхнего этажа. Рекомендуется объединять каналы от однотипных помещений и выходящих на один фасад здания. Радиус действия вентиляционных систем с горизонтальным коллектором следует принимать не более 8 м.

Сборные *вытяжные шахты* или коробка на чердаке выполняются из мало-теплопроводного материала, чтобы не было переохлаждения воздуха при низких наружных температурах - это ухудшает тягу и может вызвать конденсацию водяных паров в удаляемом воздухе.

Особое значение для устойчивой тяги в вентканалах имеет высота вывода оголовков вентиляционных шахт над кровлей. Согласно [12] шахту необходимо выводить:

- на 0,5 м выше конька крыши при расположении их (считая по горизонтали) не более 1,5 м от конька крыши;
- в уровень с коньком крыши, если они отстоят на 1,5÷3,0 м от конька крыши;
- ниже конька крыши, но не ниже прямой, проведенной от конька вниз под углом 10° к горизонту, при расположении их от конька более 3 м.

Во всех случаях высота трубы над прилегающей частью крыши должна быть не менее 0.5 м, для домов с совмещенной кровлей (плоской крышей) – не менее 2 м.

*Аэродинамический расчет* систем естественной вентиляции сводится к проверке пропускной способности каналов при заданной их конструкции и расчетном располагаемом гравитационном давлении.

**Пример 22.** Выполнить расчет системы вентиляции ВЕ-1 *трехэтажного* жилого дома, план типового этажа которого показан на рис.1.

В здании предусмотрены окна типа ОРС с тройным остеклением с раздельно-парными деревянными переплетами по ГОСТ 16289-86. Воздухопроницаемость окон по данным завода-изготовителя составляет  $G_u = 6$  кг/ч на  $m^2$  при разности давлений 10 Па.

В кухнях, оборудованных 4-х конфорочными газовыми плитами и газовыми проточными водонагревателями, а также в помещениях санузлов и ваннных комнат предусматриваем индивидуальные вентиляционные каналы из керамического кирпича К-75/1/15 (ГОСТ 530-95) размером 140×140 мм. Вытяжные отверстия каналов закрываем пластмассовыми решетками РВПЗ 200×120 (ГОСТ 13448-82, коэффициент живого сечения  $\eta = 0,65$ ), которые устанавливаем под потолком помещений на расстоянии 500 мм.

Вентиляционные каналы системы ВЕ-1 (рис. 28) выше перекрытия 3-го этажа объединяем общей кирпичной вытяжной шахтой высотой 2.6 м с толщиной стенок 120 мм, утепленной в пределах чердака минераловатными матами ( $\rho=200$  кг/м<sup>3</sup>) толщиной 80 мм (технологический расчет конструкции шахты не приводится).

Узел завершения вытяжной шахты выполняем в виде прямоугольного зонта с заглушенными торцами, который устанавливаем над шахтой на штырях высотой 200 мм.

*Приток* воздуха в комнаты предполагаем *неорганизованным* за счет инфильтрации через неплотности заполнения оконных проемов, так как воздухопроницаемость окон соответствует требованиям [5].

**Проверку пропускной способности** каналов системы ВЕ-1 проводим при температуре наружного воздуха +5 °С. Расчет ведем в следующем порядке.

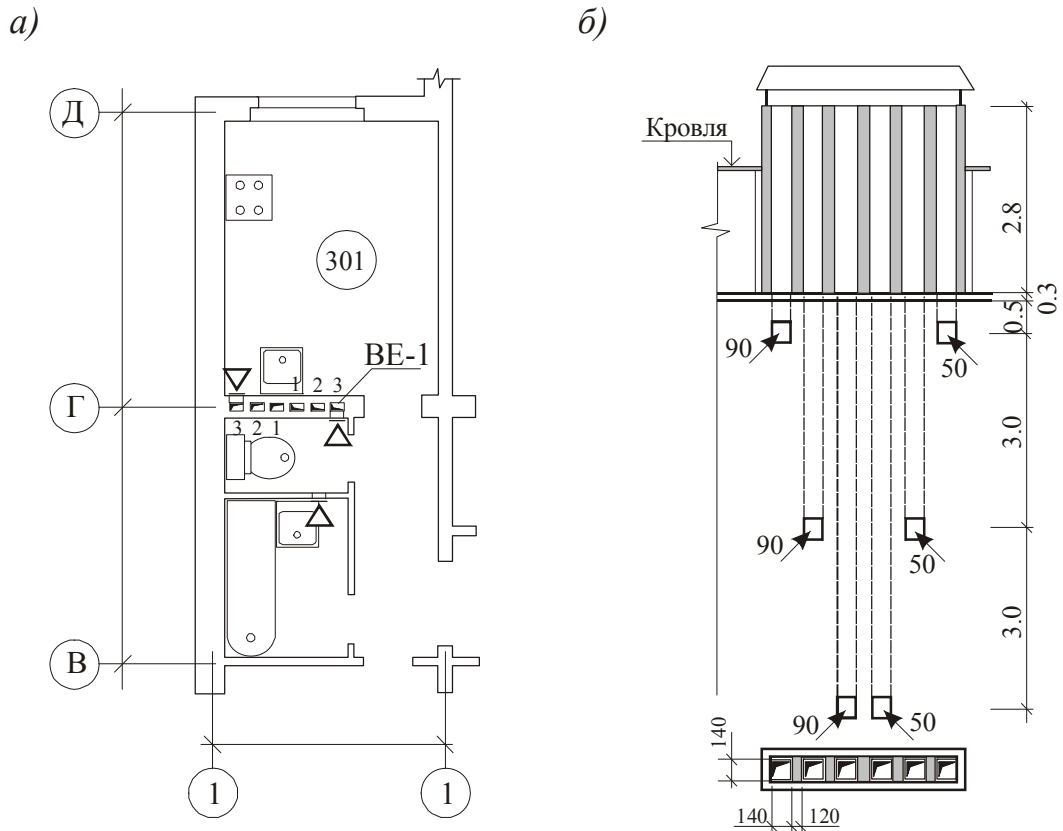


Рис. 28. К примеру 22. Устройство каналов системы ВЕ-1:  
*а* - на плане третьего этажа здания; *б* - схема устройства вытяжной шахты

1. *Расчетное гравитационное давление* в указанный период различно для каналов каждого  $N$  этажа и определяется по формуле:

$$\Delta P_{e,N} = h_i \cdot (\rho_n - \rho_e) \cdot g, \text{ Па}, \quad (4.1)$$

где  $h_i$  - расстояние от центра жалюзийной решетки этажа до устья вытяжной шахты, м;  
 $g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ ;

$\rho_n$  - плотность наружного воздуха при температуре  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ , имеет величину  $1.27 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_e$  - плотность внутреннего воздуха помещения,  $\text{кг/м}^3$ , определяемая по формуле

$$\rho_e = \frac{353}{273 + t_e}, \text{ кг/м}^3. \quad (4.2)$$

Так, для кухни 3-го этажа при температуре воздуха  $t_e = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  и его плотности

$$\rho_e = \frac{353}{273 + 18} = 1,21 \text{ кг/м}^3, \text{ имеем}$$

$$\Delta P_{e,3\text{эт}} = 3.6 \cdot (1.27 - 1.21) \cdot 9.81 = 2.12 \text{ Па}.$$

При проектировании естественной вентиляции жилых зданий с воздухопроницаемостью оконных проемов  $G_u$  не менее  $6 \text{ кг/ч на м}^2$  считают, что все располагаемое гравитаци-

онное давление расходуется **только в вытяжных каналах** (сопротивление входу воздуха в помещения здания не учитывается).

2. Задаваясь расчетным расходом воздуха  $L = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ , определяем *требуемую площадь сечения* канала из кухни 3 этажа:

$$F_0 = \frac{L_1}{3600 \cdot V_{рек}}, \text{ м}^2, \quad (4.3)$$

где  $V_{рек}$  – рекомендуемая скорость движения воздуха по участку. В вертикальных каналах при естественной вентиляции принимается  $0,5 \div 1,0 \text{ м/с}$  (табл. 22.13 [13]).

$$F_0 = \frac{90}{3600 \cdot 0,5} = 0,05 \text{ м}^2.$$

Требуемой площади соответствуют кирпичные каналы размером  $1/2 \times 1$  ( $F = 0,038 \text{ м}^2$ ) и  $1 \times 1$  ( $F = 0,073 \text{ м}^2$ ) – см. таблицу 4.1 или табл.22.7 [13].

Таблица 4.1

Размер в кирпичах	Размеры $A \times B$ , мм	Площадь сечения $F$ , $\text{м}^2$	$d_{экв}$ , мм
1/2×1/2	140×140	0.02	140
1/2×1	140×270	0.038	185
1×1	270×270	0.073	270

Однако, исходя из рекомендуемой стандартизации строительства, принимаем и проверим канал размером  $1/2 \times 1/2$  ( $F = 0,02 \text{ м}^2$ ), аналогичный для каналов нижних этажей.

3. *Фактическая скорость* воздуха в канале  $1/2 \times 1/2$  будет равна

$$V = \frac{L_1}{3600 \cdot F} = \frac{90}{3600 \cdot 0,02} = 1,25 \text{ м/с}. \quad (4.4)$$

4. *Эквивалентный (по скорости) диаметр* кирпичного канала определяем по табл. 4.1 или по формуле:

$$d_{экв} = \frac{2AB}{A+B} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 140}{140 + 140} = 140 \text{ мм}. \quad (4.5)$$

5. *Потери давления на трение* в расчетном канале длиной  $l = 3,6 \text{ м}$  при скорости  $V = 1,25 \text{ м/с}$  и диаметре канала  $d_{экв} = 140 \text{ мм}$  определяются по формуле:

$$\Delta P_{тр} = R \cdot l \cdot \beta = 0,18 \cdot 3,6 \cdot 1,53 = 0,77 \text{ Па}, \quad (4.6)$$

где  $R$  – потери давления на 1 м длины канала, Па/м. Значения  $R$  определяются по таблице 22.15 [13]) или по номограмме Приложения 4, составленным для круглых стальных воздуховодов;

$\beta$  – коэффициент учета шероховатости стенок канала (табл. 22.12 [13]). При шероховатости стенок канала из кирпича  $k = 8 \text{ мм}$  и скорости в канале  $V = 1,25 \text{ м/с}$  значение коэффициента  $\beta = 1,53$ .

6. Рассчитываем *потери давления в местных сопротивлениях* канала. Для каждого вида местного сопротивления по таблицам 22.16÷22.44 [13] или по табл. П4.2 Приложения 4 определяем коэффициент местного сопротивления  $\xi$ :

Характеристика местных сопротивлений		$\xi$
Решетка входная штампованная 200×120 мм, $f=0.024 \text{ м}^2$ , $f_{жс}=0.0156 \text{ м}^2$ , $\xi_0=2.0$ , табл.22.21[13] $\xi = \xi_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^2 = 2.0 \left(\frac{1.6}{1.25}\right)^2 = 3.29$ , где $V_0$ – скорость воздуха в решетке		3.29
Колено с острыми кромками (вход с поворотом под 90°) квадратного сечения, табл.22.23[13]		1.2
Внезапное расширение потока в шахте при $f/F=0.02/0.199=0.1$ , табл. 22.31 [13]		0.81
Вытяжная шахта с зонтом (серия 1.494-32), табл. 22.20 [13]		1.15
		$\Sigma\xi=6.45$

При  $\Sigma\xi=6.45$  и динамическом давлении  $P_D = \frac{\rho_e V^2}{2} = \frac{1.22 \cdot 1.25^2}{2} = 0.95$  Па потери на местных сопротивлениях участка составляют

$$Z = \sum \xi \cdot P_D = 6.45 \cdot 0.95 = 6.1 \text{ Па.} \quad (4.7)$$

Общие потери давления на участке равны:

$$(R \cdot l \cdot \beta + Z)_1 = \Delta P_{N.кан} = 0.77 + 6.1 = 6.87 \text{ Па,} \quad (4.8)$$

т.е. более чем в 3 раза превышают располагаемое давление  $P_{e,3эт} = 2.12$  Па.

Фактически через канал кухни 3 этажа размером 1/2×1/2 будет удаляться следующее количество воздуха:

$$L_N = L \sqrt{\frac{\Delta P_{e,N}}{\Delta P_{N.кан}}} = 90 \sqrt{\frac{2.12}{6.87}} = 50 \text{ м}^3/\text{ч,} \quad (4.9)$$

что меньше нормы, установленной для кухонь жилых зданий. Однако в нашем случае, дымовой канал от газового нагревателя надлежит рассматривать как дополнительный вытяжной канал с расчетной интенсивностью в нерабочем режиме 45 м<sup>3</sup>/ч (расчет газохода не приводится). Суммарное количество удаляемого из кухни воздуха составит 95 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует нормам.

Располагаемые гравитационные давления для каналов кухонь 1÷3 этажей и результаты расчетов потерь давления в них представлены в таблице 4.2. Там же приведены расчеты каналов санузлов рассматриваемого дома.

Таблица 4.2

#### Аэродинамический расчет вентиляционных каналов системы ВЕ-1 жилого дома

Ном. этажа	Расход м <sup>3</sup> /ч	Длина, м	Размеры канала				Скор. м/с	Удельн. потери Па/м	Коефф. шерох. $\beta$	Потери трение Па	$\Sigma\xi$	Динам. давл. Па	Местн. потери Па	Сумма потерь Па	Располаг. давл. Па	Факт. расход, м <sup>3</sup> /ч	Отклон. расхода %
			А, мм	Б, мм	F, м <sup>2</sup>	d <sub>экв</sub> , мм											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
каналы кухонь																	
1	90	9,6	140	140	0,02	140	1,25	0,18	1,53	2,64	6,43	0,95	6,11	8,75	5,65	72,3	-20
2	90	6,6	140	140	0,02	140	1,25	0,18	1,53	1,81	6,43	0,95	6,11	7,92	3,88	63,0	-30
3	90	3,6	140	140	0,02	140	1,25	0,18	1,53	0,77	6,43	0,95	6,11	6,88	2,12	50,0	-44
индивидуальные каналы уборных																	
1	25	9,6	140	140	0,02	140	0,35	0,02	1,27	0,24	6,40	0,07	0,45	0,69	5,65	71,7	+187
2	25	6,6	140	140	0,02	140	0,35	0,02	1,27	0,17	6,40	0,07	0,45	0,62	3,88	62,7	+151
3	25	3,6	140	140	0,02	140	0,35	0,02	1,27	0,09	6,40	0,07	0,45	0,54	2,12	49,6	+99
каналы совмещенных санузлов																	
1	50	9,6	140	140	0,02	140	0,69	0,075	1,33	0,96	6,49	0,29	1,88	2,84	5,65	70,5	+86
2	50	6,6	140	140	0,02	140	0,69	0,075	1,33	0,66	6,49	0,29	1,88	2,54	3,88	61,8	+64
3	50	3,6	140	140	0,02	140	0,69	0,075	1,33	0,36	6,49	0,29	1,88	2,24	2,12	48,6	+29

Как видно из таблицы, все каналы кухонь при заданных размерах вентканалов 140×140 мм обеспечивают нормативное удаление воздуха (при дополнительной вытяжке через дымоотводящие каналы водонагревателей).

Размеры каналов санузлов и ванных комнат соответствуют требуемому расходу удаляемого воздуха и на отдельных этажах могут требовать монтажной регулировки путем уменьшения живого сечения вытяжных решеток.

**Пример 23.** Рассчитать систему вытяжной вентиляции с горизонтальным коллектором ВЕ-3 в *трехэтажном* жилом доме с планировкой по **Примеру 1**. Основные конструктивные решения по устройству вентиляции показаны на рис.29.

Расчетная схема системы ВЕ-3 с указанием нагрузок и длин отдельных участков показана на рис. 29, з. Вытяжные отверстия каналов кухонь закрыты решетками 200×250,  $\eta = 0,5$ .

*Внутростенные* вертикальные каналы – кирпичные с протиркой швов (абсолютная шероховатость стенок  $k = 4$  мм, табл. 22.11 [13]). Чердачный горизонтальный канал (коллектор) с двойными утепленными стенками выполнен из шлакобетонных плит –  $k = 1,5$  мм. Сборная шахта - деревянная, для пожарной безопасности обшита изнутри и снаружи кровельным железом ( $k = 0,1$  мм) по войлоку, смоченному в глине. Для предотвращения «опрокидывания» при ветре на устье шахты установлен *дефлектор*.

Расчет системы ведем по методике, рассмотренной в **Примере 22**.

1. *Основное расчетное направление* принимаем по участкам 1÷3, имеющим наибольшую нагрузку и наименьшее располагаемое давление. По данным **Примера 22** оно составляет  $P_{e,3эт} = 2,12$  Па.

Принимаем, что конструкция окон соответствует нормам по воздухопроницаемости и все располагаемое гравитационное давление расходуется только в вытяжных каналах.

2. **Расчет основного направления (главной магистрали).** Подбор размеров каналов на участках 1÷3 и определение потерь давления в них будем вести с таким расчетом, чтобы суммарное сопротивление по расчетному направлению не превышало  $P_e$  на величину запаса 5÷10%, т.е.

$$\Delta P_{1-3} \leq (0,9 \div 0,95) P_{e,3эт} .$$

При расчетном расходе воздуха  $L_1 = 90$  м<sup>3</sup>/ч по формуле (4.3) определяем требуемую площадь сечения участка 1:

$$F_0 = \frac{90}{3600 \cdot 0,5} = 0,05 \text{ м}^2.$$

Требуемой площади соответствуют кирпичные канал 1/2×1 ( $F = 0,038$  м<sup>2</sup>) и канал 1×1 ( $F = 0,073$  м<sup>2</sup>) – см. табл. 4.1. При толщине внутренней стены в 1,5 кирпича удобнее принять размеры канала 1/2×1.

Фактическая скорость воздуха на участке 1 будет иметь следующее значение:

$$V = \frac{90}{3600 \cdot 0,038} = 0,66 \text{ м/с.}$$

Эквивалентный диаметр канала

$$d_{экс} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 270}{140 + 270} = 185 \text{ мм.}$$

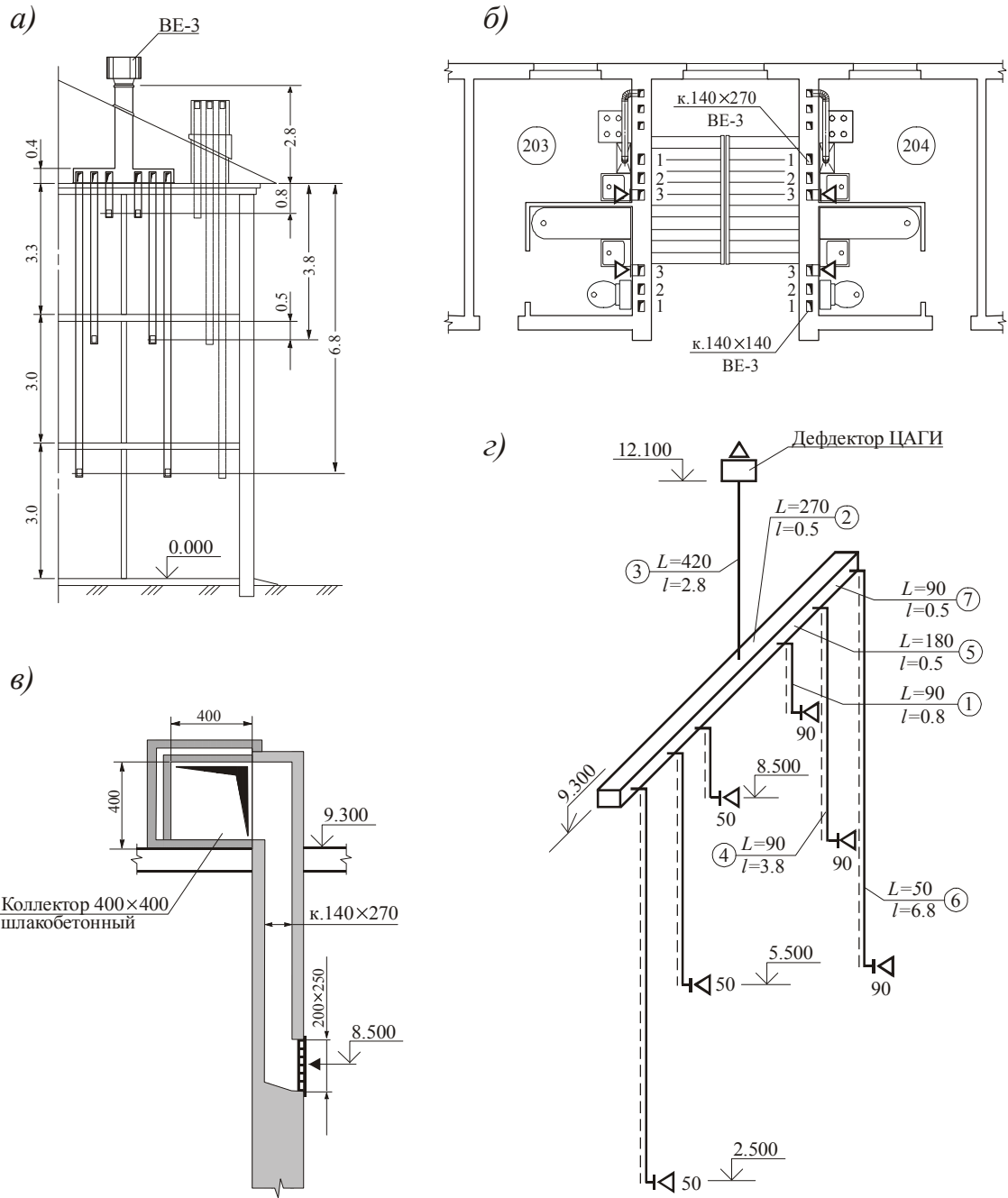


Рис. 29. К примеру 23. Конструктивные решения по вентиляции дома:

*а* - разрез трехэтажного жилого дома; *б* - план третьего этажа; *в* - конструктивная схема вытяжных каналов; *г* - расчетная схема вытяжной системы

Потери давления на трение на участке  $l = 0.8$  м при  $V = 0.66$  м/с и диаметре канала  $d_{\text{экв}} = 185$  мм определяются по формуле (4.6):

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0.046 \cdot 0.8 \cdot 1.33 = 0.05 \text{ Па.}$$

*Коэффициенты местных сопротивлений на расчетном участке:*

Характеристика местных сопротивлений	$\xi$
<b>Решетка</b> жалюзийная 200×250 мм, $f=0.05 \text{ м}^2$ , $f_{\text{жс}}=0.028 \text{ м}^2$ , $v_0 = 90 / (3600 \cdot 0.028) = 0.86$ м/с $\xi = \xi_0 \left( \frac{V_0}{V} \right)^2 = 2.0 \left( \frac{0.86}{0.66} \right)^2 = 3.4$	3.4
<b>Колено</b> переменного сечения (вход с поворотом) при $f/F=0.028/0.038=0.74$	1.27
<b>Колено</b> переменного сечения (у коллектора 400×270) при $f/F=0.038/0.108=0.35$	1.45
<b>Конфузор</b> между решеткой и каналом размерами 225×125/140×270 при $\alpha=40^\circ$	0.19
<b>Тройник</b> вытяжной (на ответвление) при $f_o/f_n=0.108/0.16=0.67$ и $L_o/L_c=90/270=0.33$	-1.6
	<b><math>\Sigma \xi = 4.71</math></b>

При значениях  $\Sigma \xi = 4.71$  и  $P_d = \frac{1.22 \cdot 0.66^2}{2} = 0.27$  (Па) местные потери составят:

$$Z = 4.71 \cdot 0.27 = 1.26 \text{ Па.}$$

*Общие потери давления на участке 1 равны:*

$$(R \cdot l \cdot \beta + Z)_1 = 0.05 + 1.26 = 1.31 \text{ Па.}$$

Результаты расчета участка 1, а также остальных участков системы сводим в таблицу 4.3.

*Коэффициенты местных сопротивлений  $\xi$  для расчетных участков магистрали 2 и 3 следующие:*

№ участка	Характеристика местных сопротивлений	$\xi$
2	<b>тройник</b> прямоугольный на всасывании при $f_o/f_n=0.165/0.16=1.0$ и $L_o/L_n=270/420=0.64$	1.2
3	<b>вытяжная шахта с дефлектором</b> ЦАГИ (серия 1.494-32)	0.64

*Полные потери давления по участкам 1÷3 составляют*

$$\Delta P_{1-3} = \sum (R \cdot l \cdot \beta + Z)_{1-3} = 1.31 + 0.17 + 0.44 = 1.92 \text{ Па,}$$

что меньше располагаемого давления  $P_{e,3\text{эт}}$ .

*Запас давления:*

$$\frac{P_{e,3\text{эт}} - \Delta P_{1-3}}{P_e} 100 = \frac{2.12 - 1.92}{2.12} 100 = 9.4\% \text{ (допустимая величина).}$$

3. Увязка всех остальных участков системы. Увязка при аэродинамическом расчете проводится так, чтобы потери давления от точки разветвления (тройника) до конца ответвления были равны потерям от этой же точки до конца ответвления на главной магистрали, т.е.

$$\Delta P = (R \cdot l \cdot \beta + Z)_{\text{омс}} = (R \cdot l \cdot \beta + Z)_{\text{гл.омс}}. \quad (4.10)$$



Для расчета ответвлений применяется способ последовательного подбора. Размеры сечений ответвлений считаются подобранными, если относительная невязка потерь давления не превышает 15%.

По конструктивным соображениям и из условий типизации деталей размеры поперечного сечения ответвлений принимаются одинаковыми для однотипных помещений каждого этажа. Из-за разных значений располагаемого давления для некоторых каналов могут наблюдаться значительные избытки давления. Эти избытки можно погасить двумя способами:

- уменьшить живое сечение входной решетки;
- поставить *шибер* или перегородить часть сечения канала металлической пластиной.

Если не прибегать к искусственному увеличению сопротивления (*дресселированию*), то через каналы разных  $N$  этажей будет проходить различное количество воздуха (см. формулу 4.9).

Результаты увязки отдельных ответвлений системы сводим в табл. 4.3.

**Увязка участков 4 и 5.** Располагаемое гравитационное давление для канала кухни 2 этажа составляет

$$P_{e.2\text{эт}} = P_{e.3\text{эт}} + h_{\text{эт}} \Delta \rho g = 2.12 + 3.0 \cdot 0.06 \cdot 9.81 = 3.88 \text{ Па}, \quad (4.11)$$

где  $h_{\text{эт}}$  – высота этажа, м.

Располагаемое давление для расчета участков 4 и 5

$$P_{\text{расч.4,5}} = P_{e.2\text{эт}} - \Sigma(R \cdot l \cdot \beta + Z)_{2,3} = 3.88 - (0.17 + 0.44) = 3.27 \text{ Па}. \quad (4.12)$$

Подсчет коэффициентов местных сопротивлений –

№ уч.	Характеристика местных сопротивлений	$\xi$
4	Решетка жалюзийная 225×125 мм, $f=0.028 \text{ м}^2$ , $f_{\text{жс}}=0.0145 \text{ м}^2$ , $f_{\text{жс}}/f=0.52$	3.4
	Колено переменного сечения (вход с поворотом) при $f/F=0.028/0.038=0.74$	1.27
	Колено переменного сечения (у коллектора 400×270) при $f/F=0.038/0.108=0.35$	1.45
	Конфузор между решеткой и каналом размерами 225×125/140×270 при $\alpha=40^\circ$	0.19
	Тройник (ответвление) при $f_o/f_n=0.108/0.16=0.67$ и $L_o/L_c=90/180=0.5$	1.1
	<b><math>\Sigma\xi = 7.41</math></b>	
5	Тройник (проход) при $f_n/f_c=0.16/0.16=1.0$ и $L_n/L_c=180/270=0.67$	2.5

**Увязка участков 6 и 7.** Располагаемое гравитационное давление для канала кухни 1 этажа

$$P_{e.1\text{эт}} = P_{e.3\text{эт}} + 2h_{\text{эт}} \Delta \rho g = 2.12 + 2 \cdot 3.0 \cdot 0.06 \cdot 9.81 = 5.65 \text{ Па}.$$

Располагаемое давление для расчета участков 6 и 7:

$$P_{\text{расч.6,7}} = P_{e.1\text{эт}} - \Sigma(R \cdot l \cdot \beta + Z)_{2,3,5} = 5.65 - (0.17 + 0.44 + 0.15) = 4.89 \text{ Па}.$$

Подсчет коэффициентов местных сопротивлений –

№ уч.	Характеристика местных сопротивлений	$\xi$
6	Решетка жалюзийная 225×125 мм, $f=0.028 \text{ м}^2$ , $f_{\text{жс}}=0.0145 \text{ м}^2$ , $f_{\text{жс}}/f=0.52$	3.4
	Колено переменного сечения (вход с поворотом) при $f/F=0.028/0.038=0.74$	1.27
	Колено переменного сечения (у коллектора 400×270) при $f/F=0.038/0.108=0.35$	1.45
	Конфузор между решеткой и каналом размерами 225×125/140×270 при $\alpha=40^\circ$	0.19
		<b><math>\Sigma\xi=6.31</math></b>
7	Колено квадратного сечения в коллекторе 400×400 под углом $90^\circ$	1.2
	Тройник (проход) при $f_n/f_c=0.16/0.16=1.0$ и $L_n/L_c=90/180=0.5$	1.1
	<b><math>\Sigma\xi=2.3</math></b>	

Невязка давлений на участках 6÷7 является *недопустимой*. Дополнительное сопротивление в размере  $4.89 - 2.17 = 2.72$  (Па) вводится при наладке системы путем уменьшения живого сечения жалюзийной решетки на канале кухни первого этажа. Для индивидуальных вытяжных каналов санузлов принимаем сечение  $1/2 \times 1/2$  кирпича. Расчеты данных участков выполняются аналогично и в таблице 4.3 не приводятся.

Табл. 4.3

**Аэродинамический расчет вентиляционных каналов 3-этажного жилого дома**

Ном. уч.	Расход м <sup>3</sup> /ч	Длина м	Размеры канала				Скор м/с	Удельн потери	Кэфф шерох.	Потери трение	$\Sigma \zeta$	Динам давлен	Местн потери	Сумма потерь
			А, мм	Б, мм	Г, м <sup>2</sup>	d <sub>экв</sub>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Главная магистраль</b>														
1	90	0,8	140	270	0,0378	184	0,66	0,05	1,33	0,05	4,71	0,27	1,26	1,31
2	270	0,5	400	400	0,16	400	0,47	0,01	1,1	0,01	1,20	0,13	0,16	0,17
3	420	2,3	400	400	0,16	400	0,73	0,02	1,00	0,05	1,20	0,33	0,39	0,44
														<b>1,92</b>
<b>Ответвление 1 (Располагаемое давление – 3.27 Па)</b>														
4	90	3,8	140	270	0,0378	184	0,66	0,05	1,33	0,25	7,41	0,27	1,98	2,23
5	180	0,5	400	400	0,16	400	0,31	0,00	1,08	0,00	2,50	0,06	0,15	0,15
														<b>2,38</b>
Невязка $\frac{P_{e.2эт} - \Delta P_{4,5}}{P_{e.2эт}} 100 = \frac{3.27 - 2.38}{3.27} 100 = 27.2\%$														
<b>Ответвление 2 (Располагаемое давление – 4.89 Па)</b>														
6	90	6,8	140	270	0,0378	184	0,66	0,05	1,33	0,44	6,31	0,27	1,69	2,13
7	90	0,5	400	400	0,16	400	0,16	0,00	1,03	0,00	2,30	0,01	0,03	0,04
														<b>2,17</b>
Невязка $\frac{P_{e.2эт} - \Delta P_{4,5}}{P_{e.2эт}} 100 = \frac{4.89 - 2.17}{4.89} 100 = 55.8\%$														

**Пример 24.** Рассчитать необходимое число приточных клапанов для квартир в жилом доме по Примеру 23.

В здании использованы пластиковые окна РС раздельно-спаренной конструкции с одним стеклом и стеклопакетом. Воздухопроницаемость окон по данным производителя составляет  $Q = 12.5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$  или  $G_u = 15,12 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ ч}$  при  $\Delta P = 100 \text{ Па}$ .

Фактическая воздухопроницаемость окон со стеклопакетами в помещениях верхнего этажа, для которых располагаемое давление  $\Delta P = 2.1 \text{ Па}$ , составит

$$G_u^{\phi} = 15.12 \left( \frac{2.1}{100} \right)^{2/3} = 1,13 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ ч.} \quad (4.13)$$

что в 5 раз выше нормируемой величины.

Для обеспечения нормативного воздухообмена при естественной вентиляции и низкой воздухопроницаемости наружных ограждений рекомендуется устанавливать в рамах окон жилых помещений *автоматические приточные клапаны*.

На российском рынке хорошо зарекомендовали себя *клапаны "AIRECO"* (Франция). По внешнему виду приточное устройство представляет собой небольшой пластиковый пенал под цвет окна, который устанавливается на щель  $354 \times 15 \text{ мм}$ , прорезаемую в верхней части оконной рамы. При этом не требуется демонтировать окно или заменять стеклопакет. Регулирование количества свежего воздуха происходит автоматически, без участия жильцов и

без использования электропитания. Внутри клапана находится специальный датчик – привод из специальной *полиамидной ткани*, реагирующей на влажность воздуха. С повышением влажности в помещении ширина щели в клапане увеличиваются, обеспечивая увеличение притока воздуха. Коэффициент местного сопротивления клапана в широком диапазоне измерения расхода практически постоянный и равен  $\xi = 2,5$ .

При использовании приточных клапанов в расчете систем естественной вентиляции необходимо учитывать сопротивление во всем воздушном тракте системы, включая потери давления в приточном клапане

$$\Delta P = \Delta P_{кл} + \Delta P_{кан} + \Delta P_{шахт}, \text{ Па}, \quad (4.14)$$

где  $\Delta P_i$  - потери давления, соответственно, в приточном клапане, вентканале и шахте, Па.

Для создания запаса располагаемого давления на преодоление сопротивления приточных клапанов необходимо на оголовках вентиляционных шахт установить дефлекторы ЦАГИ по сер. 5.904-51. При средней скорости ветра в Казани  $V_H = 4,3$  м/с в период с  $t_H < 8$  °С [1] дополнительное разрежение от дефлектора составит

$$P_{деф} = k \frac{\rho V_H^2}{2} = 0,4 \frac{1,27 \cdot 4,3^2}{2} = 4,7 \text{ Па}, \quad (4.15)$$

где  $k$  – аэродинамический коэффициент круглых дефлекторов ЦАГИ.

Расчет необходимого числа клапанов представлен в табл. 4.4. Режим течения воздуха в основных элементах сети (клапанах, решетках, каналах) принимался *турбулентным*. В этом случае взаимосвязь располагаемого перепада давлений внутри и снаружи помещений  $\Delta P$  с расходом вентиляционного воздуха квартиры  $G$  имеет вид:

$$\Delta P = \Delta P_{e,N} + P_{деф} = k \cdot G^2. \quad (4.16)$$

Здесь  $k$  – характеристика сопротивления воздушного тракта, Па·ч<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>, которая определяется по формуле

$$k = \left( \frac{\lambda}{d_{экв}} \frac{\rho_{выт}}{2} \left( \frac{G}{\rho_{выт} F_{выт}} \right)^2 l + \sum \xi_{выт} \left( \frac{G}{\rho_{выт} F_{выт}} \right)^2 \frac{\rho_{выт}}{2} + \xi_{кл} \left( \frac{G_{кл}}{\rho_{пр} F_{кл}} \right)^2 \frac{\rho_{пр}}{2} \right) / G^2, \quad (4.17)$$

где  $\lambda$  – приведенный коэффициент сопротивления трения; для кирпичных каналов при турбулентном режиме

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{K}{d_{экв}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{8}{140} \right)^{0,25} = 0,054; \quad (4.18)$$

$K$  – абсолютная шероховатость стенок каналов, мм (табл. XI.1 [13]);

$G_{кл}$  – требуемый расход приточного воздуха через клапан, кг/ч, равный разности значений расчетного воздухообмена квартиры  $G$  и расхода воздуха  $G_{ок}$ , проникающего через неплотности окон при инфильтрации

$$G_{кл} = G - G_{ок}; \quad (4.19)$$

$\rho_{выт}$ ,  $\rho_{пр}$  – соответственно, плотности вытяжного (внутреннего) и приточного (наружного) воздуха при расчетных условиях, кг/м<sup>3</sup>;

$F_{выт}$ ,  $F_{кл}$  – суммарные площади вытяжных решеток и приточных клапанов квартиры, м<sup>2</sup>.

Количество инфильтрующегося через окна воздуха  $G_{ок}$ , кг/ч определяем по величине их воздухопроницаемости  $G_u=15,12$  кг/м<sup>2</sup>·ч при  $\Delta P=100$  Па, пересчитанной на располагаемое давление для каждого этажа по формуле (4.13) и умноженной на суммарную площадь окон квартиры  $F_{ок}$ , м<sup>2</sup>.

В таблице 4.4 коэффициенты местных сопротивлений  $\xi_{выт}$  в вытяжном тракте приведены к динамическому давлению в вытяжном канале и составляют:

Характеристика местных сопротивлений		$\xi$
Решетка входная штампованная 200×120 мм, $f=0.024$ м <sup>2</sup> , $f_{жс}=0.0156$ м <sup>2</sup> , $\xi_0=2.0$ , табл.22.21[12] $\xi = \xi_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^2 = 2.0 \left(\frac{1.6}{1.25}\right)^2 = 3.29$		3.29
Колено с острыми кромками (вход с поворотом под 90°) квадратного сечения (см. табл.22.23 [13])		1.2
Внезапное расширение потока в шахте при $f/F=0.02/0.199=0.1$ , табл. 22.31 [12]		0.81
Вытяжная шахта с зонтом и дефлектором (серия 1.494-32), табл. 22.20 [12]		1.15+0,64
		$\Sigma\xi=7.09$

Таблица 4.4

#### Расчет требуемого количества приточных клапанов «AirEco» для квартир дома

№ квартиры	№ этажа	Высота канала, м	Располаг. давление, Па	Характеристики окон и балконных дверей в квартире					
				720x2175	1170x1460	1770x1460	870x1460	площадь	расход, кг/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	3,6	6,82	2	3	1	0	10,84	0,0080
2	1	3,6	6,82	1	2	0	0	4,98	0,0037
5	2	12,6	12,1	1	2	0	0	4,98	0,0054
6	2	3,6	6,82	1	3	0	1	7,96	0,0059
9	3	3,6	6,82	1	3	0	0	6,69	0,0049
10	3	12,6	12,1	2	3	1	1	12,11	0,0131

Окончание таблицы 4.4

Требуемый расход, кг/с		Характеристика сопротивления			Характер-ка тракта	Требуемое кол-во клапанов		
общий G	клапана Gкл	на трение	местные	в клапане		площадь	N расч.	N устан.
11	12	13	14	15	16	17	18	19
0,047	0,039	159,4	813,8	3785,6	3131,2	0,01337	5,76	6
0,047	0,043	159,4	813,8	3785,6	3131,2	0,01486	6,40	6
0,047	0,041	557,9	813,8	5819,6	5563,6	0,01151	4,96	5
0,047	0,041	159,4	813,8	3785,6	3131,2	0,0141	6,08	6
0,047	0,042	159,4	813,8	3785,6	3131,2	0,01442	6,22	6
0,047	0,034	557,9	813,8	5819,6	5563,6	0,00936	4,03	4

### 4.3. Расчет систем вентиляции высотных зданий

В зданиях повышенной этажности (от 9 этажей и выше) для экономии полезной площади помещений индивидуальные вентиляционные каналы каждых четырех - пяти этажей объединяют одним *горизонтальным*, из которого воздух направляется к шахте по одному вертикальному каналу.

В настоящее время принципиальным решением систем естественной вытяжной вентиляции многоэтажных зданий является схема, включающая в себя вертикальный сборный канал - "*ствол*" с боковыми ответвлениями - "*спутниками*". Воздух поступает в боковое ответвление через вытяжное отверстие, расположенное в кухне, ванной комнате или туалете и, как правило, в междуэтажном перекрытии над следующим этажом перепускается в магистральный сборный канал. Такая схема значительно компактнее системы с индивидуальными каналами и отвечает требованиям противопожарной безопасности.

Каждая вертикаль квартир может иметь два "ствола". По одному осуществляется транзит воздуха из кухонь, по другому - из туалетов и ванных комнат. Допускается использовать один "ствол" для вентиляции кухонь и сантехкабин при условии, что место присоединения боковых ответвлений к сборному каналу выше уровня обслуживаемого помещения не менее чем на 2 м.

Один или два последних этажа могут иметь *индивидуальные каналы*, не связанные с общим магистральным "стволом", если конструктивно невозможно подсоединить верхние боковые каналы к магистральному по общей схеме.

В типовых зданиях основным элементом системы естественной вентиляции является *поэтажный вентблок*. Вентблок включает в себя участок магистрального канала и одного или нескольких боковых ответвлений, а также отверстие, соединяющее вентблок с обслуживаемым помещением. Боковые ответвления подключаются к магистральному каналу через 1÷5 этажей для того, чтобы не было перетока воздуха из каналов нижележащих этажей.

Для сокращения теплопотерь через потолок верхнего этажа и для повышения температуры на его внутренней поверхности ( $\geq 12^{\circ}\text{C}$ ) в большинстве типовых проектов многоэтажных зданий устраивается "*теплый чердак*" высотой около 2.0 м. В него допускается выпуск воздуха из всех индивидуальных каналов помещений одной секции, что делает чердак *общим горизонтальным коллектором* системы вентиляции. Удаление воздуха из чердачного помещения осуществляется через одну на каждую секцию дома *вытяжную шахту*, устье которой в соответствии с [12] должно располагаться на 4,5 м выше перекрытия над последним этажом. При этом вытяжной воздух на чердаке не должен остывать, в противном случае увеличивается его плотность, что приводит к «опрокидыванию» циркуляции или снижению расхода вытяжки.

Над вентблоком в теплом чердаке устраивается *оголовок*, внутри которого подсоединяются боковые каналы последних этажей к магистральному «стволу». При выходе из оголовка в «стволе» воздух движется с высокой скоростью, поэтому к нему за счет *эжекции* подсасывается вытяжной воздух из боковых каналов последних этажей.

**Пример 25.** Рассчитать систему естественной вентиляции для секции однокомнатных квартир 9-этажного жилого дома с высотой типового этажа  $h_{эм}=2.8$  м (рис.30). Кухни оборудованы электроплитами. Заполнение оконных проемов – герметичные стеклопакеты в пластиковых конструкциях.

Для притока воздуха используем приточные клапаны (*аэроматы*), встраиваемые в верхние створки окон кухонь и жилых комнат. Для удаления воздуха из кухонь и совмещенных санузлов предусматриваем *индустриальные вентиляционные блоки*. Блоки имеют вертикальный сборный канал большого сечения с двумя поэтажными ответвлениями (спутниками) от каждой квартиры. Спутники проходят параллельно сборному каналу и присоединяются к нему через этаж на 300 мм ниже вытяжного отверстия, образуя «*гидрозатвор*» для предотвращения «опрокидывания». По конструктивным ограничениям ширину каналов в вентблоке принимаем  $a = 130$  мм.

Вытяжную решетку санузла устанавливаем непосредственно в отверстие спутника, а решетку кухни соединяем со спутником коробом из гипсокартона  $150 \times 150$  мм длиной 1.5 м (см. рис.30, а).

Над сборным вентиляционным каналом и спутниками верхнего этажа устраиваем утепленную бетонную вытяжную шахту высотой  $h_{шахт} = 4.0$  м с дефлектором. Для увеличения эжекции воздуха из спутников верхнего этажа, внутри шахты над ними выполним две перегородки высотой 2.0 м (см. рис.30, б). Расчетная схема системы вентиляции показана на рисунке 30, в.

Расход вентиляционного воздуха по требованиям [12] составляет:

- из расчета  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  приточного воздуха на  $1 \text{ м}^2$  площади жилых комнат (при социальной норме  $20 \text{ м}^2$  общей площади на 1 человека)  $L = 3 \times 34 = 102 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- по нормам удаляемого воздуха для кухни ( $L = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и совмещенного санузла ( $L = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ )  $L = 60 + 50 = 110 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

За расчетный расход вытяжного воздуха от одной квартиры принимаем больший, т.е.  $L=110 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Общий расход воздуха в сборном канале после 8 этажа  $L=880 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; во всей вентиляционной системе ВЕ-5  $L=990 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Полное сопротивление воздушного тракта системы будем рассчитывать по формуле

$$\Delta P = \Delta P_{пр.кл.} + \Delta P_{реш} + \Delta P_{спут} + \Delta P_{сб.кан} + \Delta P_{шахт}, \text{ Па}, \quad (4.20)$$

где  $\Delta P_i$  - потери давления, соответственно, в приточном клапане, в вытяжной решетке, в канале-спутнике, в сборном канале (включая потери давления в тройниках) и в вытяжной шахте, Па.

Расчетное располагаемое давление  $P_{e,N}$  определяем по формуле (4.1) для квартир каждого этажа.

В качестве  $h_i$  принимаем расстояние по вертикали от центра приточного клапана до устья вытяжной шахты.

Дополнительное разрежение от дефлектора по формуле (4.15) составляет 4.7 Па.

Результаты расчета  $P_{e,N}$  сводим в таблицу 4.5.

*Аэродинамический расчет* вертикальной системы с поэтажным присоединением ответвлений удобнее проводить «сверху – вниз». Перед расчетом необходимо провести следующие **подготовительные действия**.

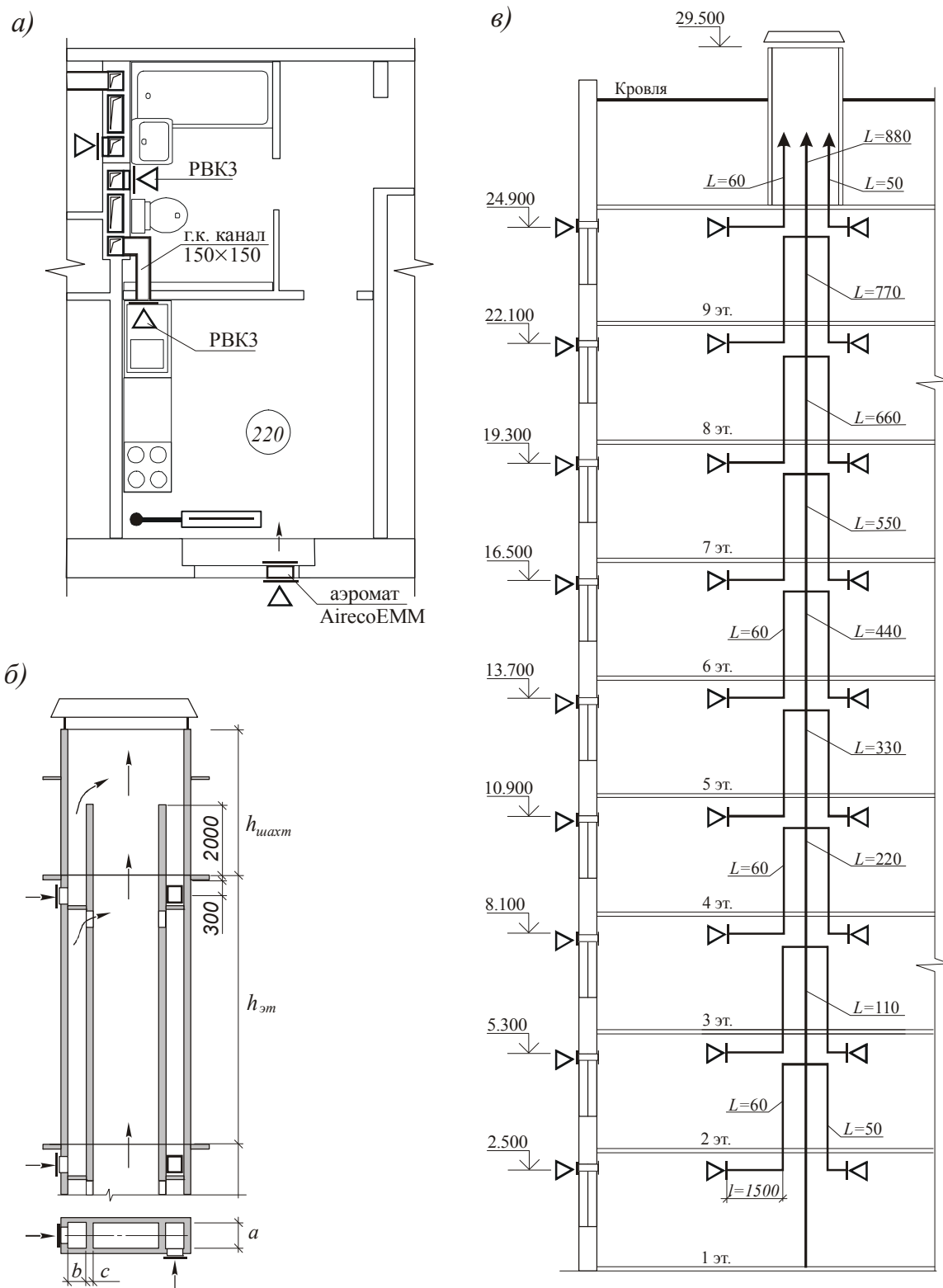


Рис. 30. К примеру 25. Вентиляция 9-этажного жилого дома:  
*а* - план этажа с промышленными вентиляционными блоками кухни и санузла;  
*б* - схема устройства вентиляционных блоков с двумя каналами-спутниками и сборного оголовка; *в* - расчетная схема системы вентиляции

## Расчет потерь давления в «спутниках» и шахте.

1. Предварительно определяем *требуемые размеры всех каналов* вентиляционного блока исходя из следующих *рекомендуемых скоростей* и потерь давления:

- для исключения возможности «опрокидывания» сопротивление тракта до сборного канала ( $\Delta P_{пр.кл.} + \Delta P_{реш} + \Delta P_{спут}$ ) должно составлять не менее  $6 \div 9$  Па;
- скорость воздуха в спутнике  $V_{спут} = 1.0 \div 1.5$  м/с;
- скорость воздуха в сборном канале  $V_{сб.кан} = 1.5 \div 2.0$  м/с;
- скорость воздуха в вытяжной шахте  $V_{шахт} = 1.5 \div 2.0$  м/с.

*Требуемая минимальная площадь* поперечного сечения спутника равна

$$F_0 = \frac{60}{3600 \cdot 1.0} = 0.017 \text{ м}^2.$$

При заданной стороне  $a = 0.13$  м искомый второй размер сечения спутника составит  $b_{спут} = 0.017 / 0.13 = 0.13$  м.

Тогда *расчетная скорость* в спутнике кухни -  $V_{спут} = \frac{60}{3600 \cdot 0.13 \cdot 0.13} = 0.99$  м/с, в спутнике санузла -  $V_{спут} = \frac{50}{3600 \cdot 0.13 \cdot 0.13} = 0.82$  м/с.

Далее, задаваясь скоростью воздуха в *сборном канале*  $V = 1.5$  м/с, определяем требуемую площадь его поперечного сечения при суммарном расходе  $880 \text{ м}^3/\text{ч}$ :

$$F_0 = \frac{880}{3600 \cdot 2.5} = 0.163 \text{ м}^2.$$

Принимаем длинную сторону поперечного сечения сборного канала  $b_{сб.кан.} = 0.163 / 0.13 \approx 1.2$  м.

*Фактическая скорость* воздуха на срезе сборного канала

$$V_{сб.кан} = \frac{L_1}{3600 \cdot a \cdot b} = \frac{880}{3600 \cdot 0.13 \cdot 1.2} = 1.57 \text{ м/с}.$$

Расчетная площадь сечения *вытяжной шахты* при толщине стенок и перегородок  $c = 50$  мм составляет  $F_0 = 0.13 \cdot (2 \cdot 0.13 + 1.2 + 2 \cdot 0.05) = 0.13 \cdot 1.56 = 0.20 \text{ м}^2$  (рис. 30, б).

*Скорость воздуха в шахте* при общем расходе воздуха в системе  $990 \text{ м}^3/\text{ч}$  равна

$$V_{шахт} = \frac{990}{3600 \cdot 0.20} = 1.37 \text{ м/с}.$$

2. Определяем *характеристики приточных клапанов*. Принимаем к установке 4 приточных клапана «Aigeco ЕММ» (3 клапана в комнате и 1 клапан на кухне). *Расход наружного воздуха* через один клапан при полном его открытии:

$$L_{пр.кл.} = L_1 / 4 = 110 / 4 = 27.5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При размерах щели  $354 \times 15$  мм *скорость притока* воздуха через клапан равна:

$$V_{пр.кл} = \frac{27.5}{3600 \cdot 0.354 \cdot 0.015} = 1.44 \text{ м/с}.$$



Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к фронтальному сечению клапана, равен  $\xi=2.5$ .

Потеря давления в приточном клапане при расчетном расходе воздуха составит

$$\Delta P_{пр.кл.} = \xi \cdot P_D = 2.5 \cdot \frac{1.2 \cdot 1.44^2}{2} = 3.1 \text{ Па.}$$

3. Определяем характеристики вытяжных решеток.

Принимаем к установке регулируемые вытяжные решетки РВПЗ ( $\eta = 0.7$ ). Площадь сечения решетки  $f_{жс} = 0.2 \cdot 0.12 \cdot 0.7 = 0.0169 \text{ м}^2$ .

Расчетные скорости во фронтальном сечении решеток составят:

$$\text{в кухнях } V_{реш.} = \frac{60}{3600 \cdot 0.0169} = 0.98 \text{ м/с}; \quad \text{в санузлах } V_{реш.} = \frac{50}{3600 \cdot 0.0169} = 0.82 \text{ м/с.}$$

Потери давления в вытяжных решетках определим по формуле (4.7) при коэффициенте местного сопротивления, отнесенном к фронтальному сечению  $\xi=1.5$ :

$$\text{в кухнях } \Delta P_{реш.} = 1.5 \cdot \frac{1.2 \cdot 0.98^2}{2} = 0.86 \text{ Па}; \quad \text{в санузлах } \Delta P_{реш.} = 1.5 \cdot \frac{1.2 \cdot 0.82^2}{2} = 0.6 \text{ Па.}$$

4. Потери давления в гипсокартонном воздуховоде сечением  $150 \times 150$  мм, проложенном от кухни до вентиляционного блока, рассчитаем по формуле (4.8).

При эквивалентной шероховатости гипсокартона  $k = 1$  мм и скорости воздуха в нем

$$V = \frac{60}{3600 \cdot 0.15 \cdot 0.15} = 0.74 \text{ м/с:}$$

$$\Delta P_{гк.кан} = 0.08 \cdot 1.5 \cdot 1.08 + 1.2 \cdot \frac{1.2 \cdot 0.74^2}{2} = 0.53 \text{ Па.}$$

5. Определяем потери давления в каналах-спутниках высотой 2.5 м. Они складываются из потерь по длине (при  $k = 2$  мм и скорости  $V_{спут} = 0.99$  м/с) и потерь в коленах при входе воздуха в спутник и выходе из него ( $\xi=1.2$ , см. табл. П4.2 Приложения 4):

$$\text{- из кухни } \Delta P_{спут} = 0.15 \cdot 2.5 \cdot 1.21 + 1.2 \cdot \frac{1.2 \cdot 0.99^2}{2} = 1.18 \text{ Па};$$

$$\text{- из санузла } \Delta P_{спут} = 0.11 \cdot 2.5 \cdot 1.18 + 1.2 \cdot \frac{1.2 \cdot 0.82^2}{2} = 0.82 \text{ Па.}$$

6. Увязываем потери давления в воздушных трактах кухни и санузла от приточного клапана до сборного канала вентблока. Имеем:

$$\text{- для кухни } (\Delta P_{пр.кл.} + \Delta P_{реш.} + \Delta P_{гк.кан} + \Delta P_{спут}) = (3.1 + 0.86 + 0.53 + 1.18) = 5.7 \text{ Па};$$

$$\text{- для санузла } (\Delta P_{пр.кл.} + \Delta P_{реш.} + \Delta P_{спут}) = (3.1 + 0.6 + 0.82) = 4.5 \text{ Па.}$$

Для выравнивания потерь давления по обоим трактам необходимо при наладке системы прикрыть вытяжную решетку в совмещенном санузле. В дальнейшем в качестве расчетного принимаем сопротивление тракта от приточного клапана до сборного канала в размере 5.7 Па.

7. Определяем *потери давления в вытяжной шахте*. При расчетах принимаем:

- шероховатость стенок бетонной шахты  $k=4$  мм;
- при скорости  $V_{шахт}=1.37$  м/с коэффициент шероховатости  $\beta=1.4$ ;
- эквивалентный диаметр шахты  $d_{экс} = \frac{2 \cdot 130 \cdot 1560}{130 + 1560} = 240$  мм;
- коэффициент местного сопротивления на выходе из шахты с дефлектором  $\xi=1.3$  (Приложение 4).

Тогда

$$\Delta P_{шахт} = 0.16 \cdot 4.0 \cdot 1.4 + 1.3 \cdot \frac{1.2 \cdot 1.37^2}{2} = 2.47 \text{ Па.}$$

#### Расчет магистрального «ствола» из промышленных вентблоков.

Основные *результаты* дальнейших *аэродинамических расчетов системы* приведены в табл. 4.5. В графах таблицы представлены:

- в графе 2 – расстояние от центра приточного клапана этажа до верха вытяжной шахты;
- в графе 3 – располагаемое естественное давление  $P_{e,N}$ , Па, рассчитанное по формуле (4.1) с учетом дополнительного давления, создаваемого дефлектором  $P_{деф} = 4.7$  Па;
- в графе 4 – расчетный расход воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч в сборном канале после тройника этажа, указанного в графе 1;
- в графах 5 и 6 – коэффициенты местных сопротивлений тройников при входе в сборный канал, соответственно, на проход  $\xi_n$  и в ответвлении  $\xi_{омг}$ ; принимаются по табл. П4.2 Приложения 4;
- в графе 7 – скорость воздуха  $V_n$ , м/с, после тройников;
- в графе 8 – потери давления в тройнике на проход ( $\Delta P_n = \xi_n \cdot \frac{\rho V_n^2}{2}$ );
- в графе 9 – потери давления в тройнике на ответвлении в спутник ( $\Delta P_n = \xi_{омг} \cdot \frac{\rho V_{омг}^2}{2}$  при скорости воздуха в ответвлении  $V_{омг}=V_{снум}=0.99$  м/с);
- в графе 10 – удельные потери давления на трение в участке сборного канала от места присоединения спутников указанного этажа до следующего тройника, определяемые по Прил. 4;
- в графе 11 – поправочный коэффициент на шероховатость сборного канала;
- в графе 12 – потери давления по длине на участке сборного канала (при эквивалентном диаметре канала  $d_{экс} = \frac{2 \cdot 130 \cdot 1200}{130 + 1200} = 234$  мм);
- в графе 13 – полные потери давления от приточного клапана рассматриваемого этажа до верха вытяжной шахты. Величина этих потерь складывается из потерь в ответвлении (5.7 Па), потерь в шахте (2.47 Па), суммы потерь в тройниках на проход, начиная с 9 этажа и включая рассматриваемый, потерь в тройнике на ответвлении данного этажа и суммы потерь по длине сборного канала от данного этажа до 9 включительно;
- в графах 14 и 15 – фактические расходы воздуха на участках сборного канала и в квартирах на вытяжных решетках, соответственно, определяемые по формуле (4.9). Расходы воздуха соответствуют режиму без наладки вентиляционной системы по данным расчета;
- в графе 16 – отклонения значений воздухообменов квартир от нормы.

Таблица 4.5

## Аэродинамический расчет естественной вентиляции 9-этажного жилого дома

№ этажа	$h_i$ , м	$P_{e.N}$ , Па	$L$ , м <sup>3</sup> /ч	$\xi_{сп}$	$\xi_{отв}$	$V_n$ , м/с	$\Delta P_n$ , Па	$\Delta P_{отв}$ , Па	$R$ , Па/м	$\beta$	$Rl\beta$ , Па	$\Delta P$ , Па	$L_{ф}$ , м <sup>3</sup> /ч	$L_N$ , м <sup>3</sup> /ч	Откл. %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9	4,6	7,41	60	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	-	57,1	-4,8
8	7,4	9,06	880	0,24	-0,67	1,57	0,354	-0,394	0,274	1,48	1,13	9,3	870,0	108,7	-1,1
7	10,2	10,70	770	0,27	-0,46	1,37	0,305	-0,271	0,211	1,35	0,79	10,5	777,8	111,1	+1,0
6	13,0	12,35	660	0,31	0,75	1,18	0,257	0,441	0,156	1,23	0,53	12,0	669,7	111,6	+1,5
5	15,8	14,00	550	0,36	0,83	0,98	0,207	0,488	0,109	1,18	0,36	12,6	579,5	115,9	+5,4
4	18,6	15,65	440	0,44	1,00	0,78	0,162	0,588	0,071	1,10	0,21	13,1	481,0	120,3	+9,3
3	21,4	17,30	330	0,75	1,00	0,59	0,155	0,588	0,041	1,07	0,12	13,4	375,4	125,1	+13,7
2	24,2	18,94	220	1,00	1,00	0,39	0,092	0,588	0,019	1,04	0,05	13,5	260,5	130,2	+18,4
1	27,0	20,59	110	1,60	1,00	0,20	0,037	0,588	0,005	1,01	0,01	13,6	135,5	135,5	+23,2

**Пример 26.** Рассчитать вытяжную систему естественной вентиляции кухонь для секции двухкомнатных квартир 17-этажного жилого дома с теплым чердаком (рис. 31). Высота этажа – 2.8 м. На этаже секции – по 3 квартиры.

Система смонтирована из керамзитобетонных вентблоков типовой серии 1,134 КЛ-2 ВБ 9-3 по ГОСТ 17079-88 (рис.31, в). Размер поэтажного блока 2800×880×280 мм с толщиной стенок и перегородок  $\delta=0.16$  м. Вытяжные стояки в блоке состоят из сборного канала переменного сечения от  $F_n = 0,078$  до  $F_c = 0,115$  м<sup>2</sup> и наклонных каналов-спутников с площадью сечения  $F_o = 0,027$  м<sup>2</sup>, присоединённых к сборному каналу через этаж. Угол наклона каналов  $\alpha = 4^\circ$ . Канал-спутник имеет овальную форму 0.28×0.14 с радиусом закругления 0.3 м. Соотношение размеров сторон поперечного сечения ответвления 1:2, сборного канала от 1:2 – на входе до 1:1 – на выходе.

Узел выхода на чердак сборного канала и самостоятельных ответвлений 16 и 17 этажей накрыт бетонным оголовком-диффузором (рис. 31, б) с сечением низа 0.28×0.88 м ( $F_{диф} = 0.25$  м<sup>2</sup>), углом раскрытия  $\beta = 30^\circ$ . В кровле чердака устроена стальная вытяжная шахта без зонта и дефлектора, примыкающая к стенке машинного помещения лифта. Для отвода осадков предусмотрен отбойник и поддон. Высота шахты над кровлей –  $h_{шахт} = 2.5$  м, размеры сечения 1.5×1.5 м. Расчетная высота от приточного клапана квартиры 17 этажа до устья шахты – 5.3 м.

Расчетный расход воздуха в каждом ответвлении системы  $L_o = 60$  м<sup>3</sup>/ч. Общий расход воздуха в сборном канале после 15 этажа -  $L = 900$  м<sup>3</sup>/ч; в оголовке сборного канала -  $L = 1020$  м<sup>3</sup>/ч; во всей вентиляционной системе ВЕ-6 секции -  $L = 5610$  м<sup>3</sup>/ч. Характеристики приточных клапанов и вытяжных решеток приняты по Примеру 25.

Так как размеры всех каналов системы заданы заранее, то цель расчета – определение *дополнительных сопротивлений*, которые необходимо устраивать на входе в канал каждого этажа.

Аэродинамический расчет системы из наклонных каналов-спутников и «ствола» с переменным сечением удобнее проводить по *статическому давлению*. При этом способе расчета вместо потерь полного давления в тройниках вентблоков вычисляют величину **изменения статического давления** при *слиянии потоков* –  $\Delta P_{пр}$  (по номограмме П4.2 Приложения 4). Таким образом, нет необходимости применять коэффициенты местных сопротивлений тройников, которые при малых углах присоединения ответвлений  $\alpha \approx 3.5 \div 4^\circ$  определяются по сложным и ненадежным зависимостям.

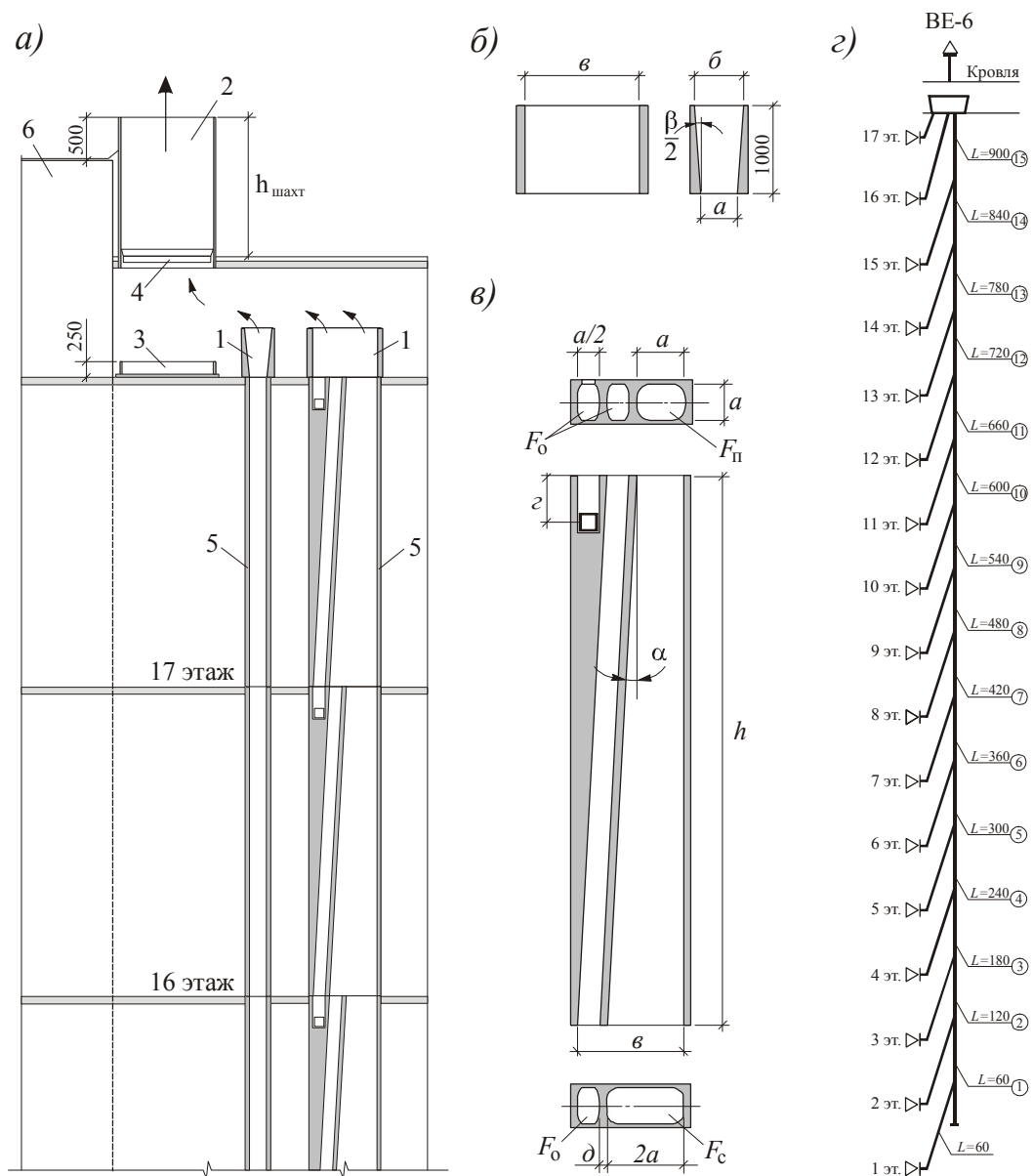


Рис. 31. К примеру 26. Решение вентиляции высотного дома с теплым чердаком:

- a* - схема компоновки вентиляционных блоков многоэтажного дома:  
 1 - оголовок (диффузор) сборного вентиляционного канала; 2 - шахта; 3 - поддон;  
 4 - водоотбойный фартук из оцинкованной стали; 5 - вентиляционный блок;  
*б* - машинное помещение лифта;  
*б* - конструкция оголовка; *в* - конструктивная схема поэтажного вентиляционного блока с наклонным перепускным каналом; *г* - расчетная схема системы

В самом «стволе» дополнительно учитывают **изменение статического давления**, связанное с уменьшением его поперечного *сечения* в пределах каждого этажа.

Расчет проводим в два этапа. На первом этапе последовательно сверху вниз определяем распределение статического давления по высоте сборного канала (с учетом потерь в общей шахте  $\Delta P_{шахт}$  и оголовке  $\Delta P_{диф}$ ). На втором – дополнительное сопротивление на входе в отверстие канала-спутника (искомая величина).

За условный *нуль давлений* при расчете «сверху – вниз» принимаем давление воздуха на уровне верха вытяжной шахты ( $P_n = 0$ ). Нумерация расчетных участков и точек, в которых определяется давление, показаны на рис. 31, *г*.

Избыточное статическое давление в сборном канале в месте присоединения **верхнего N-го** ответвления определяется по формуле:

$$P_{см,N} = P_n + \Delta P_{шахт} + \Delta P_{диф} + \Delta P_{сеч,N} + (Rl\beta + Z)_N + \Delta P_{np,N} - P_D, \text{ Па}, \quad (4.21)$$

где  $\Delta P_{сеч,N}$  – изменение статического давления в верхнем N-ном участке сборного канала, связанные с изменением его поперечного сечения;

$(Rl\beta + Z)_N$  – потери давления в N-ном участке сборного канала на трение и в местных сопротивлениях (внезапное расширение, выход и т.п.);

$\Delta P_{np,N}$  – изменение статического давления на проход в тройнике N-го ответвления;

$P_D$  – динамическое давление в сборном канале (в месте слияния потоков).

Избыточное статическое давление в сборном канале в месте присоединения **любого n-го** ответвления находится из выражения:

$$P_{см,n} = P_{см,n+1} + \Delta P_{сеч,n} + (Rl\beta + Z)_n + \Delta P_{np,n}, \text{ Па}, \quad (4.22)$$

где  $P_{см,n+1}$  – избыточное статическое давление в узле вышележащего этажа;

$\Delta P_{сеч,n}$  – изменение статического давления в n-ном участке сборного канала, связанное с изменением его поперечного сечения;

$(Rl\beta + Z)_n$  – потери давления в сборном канале на участке выше n-го тройника;

$\Delta P_{np,n}$  – изменение статического давления в тройнике из (n – 1)-го участка в n-ный.

1. Определяем статическое избыточное давление в сборном канале 17 этажа (участок 1) в месте присоединения *верхнего ответвления* с 15 этажа.

Потери давления в стальной *вытяжной шахте* ( $\beta = 1$ ) высотой 2.5 м рассчитываем по формуле (4.8)

$$\Delta P_{шахт} = 0.004 \cdot 2.5 \cdot 1 + 1.5 \cdot \frac{1.2 \cdot 0.69^2}{2} = 0.43 \text{ Па}.$$

Здесь  $R = 0.004$  Па/м – удельные потери на трение при скорости движения воздуха в шахте

$$V_{шахт} = \frac{5610}{3600 \cdot 1.5 \cdot 1.5} = 0.69 \text{ м/с}$$
 и эквивалентном диаметре шахты  $d_{экв} = 1.5$  м;

$$\Sigma \xi = 1.5 \text{ (вход в шахту } \xi_{вх} = 0.5 \text{ и выход } \xi_{вых} = 1.0).$$

Потери давления в *оголовке* сборного канала (при коэффициенте местного сопротивления  $\xi = 0.15$  и скорости в основании  $V_{диф} = \frac{1020}{3600 \cdot 0.28 \cdot 0.88} = 1.15$  м/с):

$$\Delta P_{\text{диф}} = 0.15 \cdot \frac{1.2 \cdot 1.15^2}{2} = 0.2 \text{ Па.}$$

Определяем остальные составляющие формулы (4.21). Предварительно находим расчетные параметры «ствола» переменного сечения на участке 1:

- $V_{\text{вх}} = \frac{L_0 \cdot N}{3600 \cdot F_n} = \frac{60 \cdot 15}{3600 \cdot 0.115} = 2.17 \text{ м/с}$  – скорость на входе в участок 1;
- $V_{\text{вых}} = \frac{L_0 \cdot N}{3600 \cdot F_c} = \frac{60 \cdot 15}{3600 \cdot 0.078} = 3.2 \text{ м/с}$  – скорость на выходе из участка 1 в оголовок;
- Средняя скорость на расчетном участке  $V_{\text{ср}} = 0.5 \cdot (2.17 + 3.2) = 2.7 \text{ м/с}$ ;
- Эквивалентный по средней скорости диаметр  $d_{\text{экв}}^{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 210 \cdot 280}{210 + 280} = 240 \text{ мм}$  определяем исходя из размеров миделева сечения участка (сборного канала)  $\frac{3}{4} a \times a = 0.21 \times 0.28 \text{ м}$ ;
- Удельные потери на трение  $R$  в сборном канале, а также коэффициент шероховатости  $\beta$  для керамзитобетона ( $k=2 \text{ мм}$ ) определяем по Прилож.4 при  $d_{\text{экв}}^{\text{ср}} = 240 \text{ мм}$  и  $V_{\text{ср}} = 2.7 \text{ м/с}$ :  
 $R = 0.63 \text{ Па/м}$ ;  $\beta = 1.4$ .
- Коэффициент местного сопротивления на расчетном участке  $\xi=0.49$ , отнесенный к скорости  $V_{\text{вых}} = 3.2 \text{ м/с}$ , принимаем по Приложению 4 как для внезапного расширения при падении скорости в оголовке от 3.2 до 1.15 м/с и при соотношении сечений  $F_n/F_{\text{диф}}=0.3$ .

Потери статического давления в сборном канале  $\Delta P_{\text{сеч},N=1}$  вследствие *изменения его сечения* равны изменению в нем динамического давления:

$$\Delta P_{\text{сеч},1} = P_{\text{Д.вх}} - P_{\text{Д.вых}} = \left( \frac{1.2 \cdot 3.2^2}{2} \right) - \left( \frac{1.2 \cdot 2.17^2}{2} \right) = 3.31 \text{ Па.}$$

Потери давления на *трение* и на *местные сопротивления* на участке 1 при его протяженности 2.8 м определяем по формуле (4.8):

$$(R\beta + Z)_1 = 0.63 \cdot 2.8 \cdot 1.4 + 0.49 \cdot \frac{1.2 \cdot 3.2^2}{2} = 5.49 \text{ Па.}$$

Потери статического давления в *тройнике* расчетного участка  $\Delta P_{\text{тр},N=1}$  в месте присоединения ответвления с 15 этажа находим по номограмме (рис. П4.2 Приложения 4). Предварительно рассчитываем:

- скорость воздуха в сборном канале выше тройника –

$$v_3 = \frac{L_0 \cdot n}{3600 \cdot F_c} = \frac{60 \cdot 15}{3600 \cdot 0.115} = 2.17 \text{ м/с};$$

- скорость воздуха в сборном канале до тройника –

$$v_1 = \frac{L_0 \cdot (n-1)}{3600 \cdot F_n} = \frac{60 \cdot 14}{3600 \cdot 0.078} = 2.99 \text{ м/с};$$

- скорость воздуха в ответвлении –

$$v_2 = \frac{L_0}{3600 \cdot F_0} = \frac{60}{3600 \cdot 0.027} = 0.62 \text{ м/с};$$

- скорость воздуха, соответствующая минимуму потерь энергии в тройнике –

$$v'_3 = \frac{n-1}{n}v_1 + \frac{1}{n}v_2 \cos \alpha = \frac{15-1}{15} \cdot 2.99 + \frac{1}{15} \cdot 0.62 \cdot \cos 4^\circ = 2.83 \text{ м/с.}$$

По значениям скоростей  $v_3 = 2.17$  и  $v'_3 = 2.83$  м/с из номограммы определяем:

$$\Delta P_{np, N=15} = -2.3 \text{ Па.}$$

Динамическое давление  $P_D$  на участке 1 выше тройника (в месте слияния потоков) находим по формуле

$$P_D = \frac{\rho_e V_{ex}^2}{2} = \frac{1.2 \cdot 2.17^2}{2} = 2.82 \text{ Па.} \quad (4.23)$$

Тогда, в соответствии с формулой (4.21), статическое давление в конце участка 1 (в месте присоединения *верхнего ответвления* с 15 этажа) будет составлять

$$P_{ст, N=15} = 0 + 0.43 + 0.2 + 3.31 + 5.49 + (-2.3) - 2.82 = 4.31 \text{ Па.}$$

2. *Дополнительное сопротивление*, которое необходимо установить на входе в ответвление (с учетом потерь в приточном клапане  $\Delta P_{пр.кл.}$ ), рассчитываем по формуле:

$$\Delta P_{дон} = \Delta P_{e, n} - [(Rl\beta)_n + (\Sigma \xi + 1)_n] \cdot P_{D, n} - P_{ст, n} - \Delta P_{пр.кл.} \text{ Па,} \quad (4.24)$$

где  $\Delta P_{e, n}$  – располагаемое естественное давление для «спутника»  $n$ -го этажа, определяемое по формуле (4.1). В качестве  $h_i$  принимаем расстояние по вертикали от центра приточного клапана до устья вытяжной шахты;

$[(Rl\beta)_n + (\Sigma \xi + 1)_n]$  – потери давления в ответвлении  $n$ -го этажа (единица здесь означает переход к статическому давлению);

$P_{D, n}$  – динамическое давление в ответвлении  $n$ -го этажа, определяемое по формуле (4.23).

Для ответвления с 15 этажа длиной  $l = 3.2$  м и диаметром  $d_{экс} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 280}{140 + 280} = 186$  мм при

$\Delta P_{пр.кл.} = 3.1$  Па имеем:

$$\Delta P_{e, n=15} = (5.3 + 2 \cdot 2.8) \cdot (1.27 - 1.21) \cdot 9.81 = 6.41 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{дон, 15} = 6.41 - [(0.05 \cdot 3.2 \cdot 1.3) + (1.31 + 1.5 + 1)] \cdot 0.23 - 4.31 - 3.1 = -1.9 \text{ Па.}$$

Здесь:  $P_D = \frac{1.2 \cdot 0.62^2}{2} = 0.23$  Па – динамическое давление в ответвлении при  $v_2 = 0.62$  м/с;

$\xi = 1.31$  – коэффициент местного сопротивления колена с изменением сечения при относительной площади  $f_{пер} / F_0 = 0.024 / 0.027 = 0.88$  (табл. П4.2 Приложения 4);

$\xi = 1.5$  – коэффициент местного сопротивления вытяжной решетки на ответвлении.

Результаты аналогичных расчетов для остальных участков сборного канала, проводимых по формуле (4.22), сводим в таблицу 4.6. Из таблицы видно, что каналы 1÷13 этажей данной типовой вертикали вентиляционных блоков выполнены с большим запасом и требуют индивидуальной регулировки сопротивления на входе в решетки при наладке системы. На спутниках 14÷17 этажей необходимо установить индивидуальные вытяжные вентиляторы.

Таблица 4.6

## Аэродинамический расчет сборного вентканала из кухонь 17-этажного жилого дома

№ уч.	№ эт.	$L_n$ , м <sup>3</sup> /ч	$v_3$ , м/с	$R$ , Па/м	$\beta$	$R/\beta$ , Па	$\Sigma\xi$	$Z$ , Па	$\Delta P_{сеч,n}$ Па	$v_l$ , м/с	$v'_3$ , м/с	$\Delta P_{np,n}$ Па	$P_{см,n}$ Па	$\Delta P_{e,n}$ Па	$\Delta P_{доп}$ Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	15	900	2,17	0,63	1,40	2,48	0,49	3,01	3,31	2,99	2,83	-2,3	4,31	6,41	-1,90
2	14	840	2,03	0,39	1,35	1,47	-	-	0,37	2,78	2,62	-1,3	4,82	8,06	-0,79
3	13	780	1,88	0,34	1,31	1,24	-	-	0,34	2,56	2,41	-1,0	5,40	9,70	0,27
4	12	720	1,74	0,29	1,28	1,04	-	-	0,32	2,35	2,21	-1,0	5,76	11,35	1,56
5	11	660	1,59	0,25	1,26	0,87	-	-	0,29	2,14	2,00	-1,0	5,92	12,99	3,05
6	10	600	1,45	0,21	1,25	0,73	-	-	0,26	1,92	1,79	-0,8	6,16	14,64	4,45
7	9	540	1,30	0,17	1,24	0,59	-	-	0,24	1,71	1,59	-0,8	6,25	16,29	6,02
8	8	480	1,16	0,14	1,23	0,48	-	-	0,21	1,50	1,39	-0,5	6,44	17,93	7,47
9	7	420	1,01	0,11	1,22	0,37	-	-	0,19	1,28	1,19	-0,5	6,50	19,58	9,06
10	6	360	0,87	0,08	1,21	0,28	-	-	0,16	1,07	0,99	0,0	6,94	21,23	10,26
11	5	300	0,72	0,06	1,20	0,20	-	-	0,14	0,85	0,81	0,0	7,28	22,87	11,57
12	4	240	0,58	0,04	1,18	0,14	-	-	0,11	0,64	0,64	0,0	7,53	24,52	12,96
13	3	180	0,43	0,03	1,16	0,08	-	-	0,09	0,43	0,49	0,0	7,71	26,17	14,44
14	2	120	0,29	0,01	1,11	0,04	-	-	0,06	0,21	0,42	0,0	7,81	27,81	15,98
15	1	60	0,14	0,01	1,03	0,02	-	-	0,04	0,00	0,62	0,0	7,87	29,46	17,57



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.1

### Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
Теплый	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	02-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2
	Межквартирный коридор	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	0,15	0,2
	Вестибюль, лестничная клетка	16-18	14-20	15-17	13-19	НН	НН	0,2	0,3
	Кладовые	16-18	12-22	15-17	11-21	НН	НН	НН	НН

**Примечания:** \*НН – не нормируется;  
- значения в скобках относятся к домам для престарелых и инвалидов.

Таблица П1.2

### Расчетные температуры воздуха и кратность воздухообмена в помещениях жилых зданий

Помещение	Расчетная температура воздуха в холодный период года $t_{int}$ , °С	Кратность воздухообмена, ч <sup>-1</sup> , удельная норма притока м <sup>3</sup> /ч·м <sup>2</sup> или количество удаляемого воздуха из помещения м <sup>3</sup> /ч	
		Приток	Вытяжка
1	2	3	4
Жилая комната	20-22	3 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> площади пола	-
Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31°С и ниже	21-23	3 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> площади пола	-
Кухни: с электроплитами с газовыми плитами 2-х конфорочными 3-х конфорочными 4-х конфорочными	19-21	- - - -	Не менее 60 м <sup>3</sup> /ч 60 м <sup>3</sup> /ч 75 м <sup>3</sup> /ч 90 м <sup>3</sup> /ч

1	2	3	4
Ванная	25	-	25 м <sup>3</sup> /ч
Уборная индивидуальная	19-21	-	25 м <sup>3</sup> /ч
Совместное помещение уборной и ванной	24-26	-	50 м <sup>3</sup> /ч
То же, с индивидуальным нагревателем	20	-	50 м <sup>3</sup> /ч
Сушильный шкаф для одежды и обуви в квартирах		-	30 м <sup>3</sup> /ч
Вестибюль, общий коридор, передняя	18-20	-	-
Лестничная клетка	16-18	-	-
Постирочная	18	7 ч <sup>-1</sup>	По расчету, но не менее 4 ч <sup>-1</sup>
Гладильная, сушильная	18	3 ч <sup>-1</sup>	По расчету, но не менее 2 ч <sup>-1</sup>
Топочная	12	-	3 ч <sup>-1</sup>
Машинное помещение лифтов	5	-	1 ч <sup>-1</sup>
Мусоросборная камера	5	-	По расчету, но не менее 0,5 ч <sup>-1</sup> (через ствол мусоропровода)

**Примечания:** 1. В угловых помещениях квартир расчетную температуру воздуха следует принимать на 2 °С выше указанной в таблице.

2. В лестничных клетках домов для IV климатического района и ШБ климатического подрайона, а также домов с квартирным отоплением расчетная температура воздуха не нормируется.

3. Температура воздуха в машинном помещении лифтов в теплый период года не должна превышать 40 °С.

Таблица П1.3

### Нормируемые значения сопротивления теплопередачи $R_{req}$ ограждений жилых зданий

Градусо-сутки отопительного периода $D_d$ , °С·сут	Сопротивление теплопередаче $R_{req}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт, ограждающих конструкций				
	Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей с вертикальным остеклением
2	3	4	5	6	7
2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
<i>a</i>	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
<i>b</i>	1,4	2,2	1,9	-	0,25

**Примечание:**

Значения  $R_{req}$  для величин  $D_d$ , отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_{req} = a D_d + b,$$

где  $D_d$  - градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта;

$a$ ,  $b$  - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы за исключением графы 6, где для интервала до 6000 °С·сут:  $a = 0,000075$ ,  $b = 0,15$ ;

для интервала 6000 - 8000 °С·сут:  $a = 0,00005$ ,  $b = 0,3$ ;

для интервала 8000 °С·сут и более:  $a = 0,000025$ ;  $b = 0,5$ .

**Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\Delta t^n$**

Тип здания	Нормируемый температурный перепад $\Delta t^n$ , °С, для			
	Наружных стен	Покрытий и чердачных перекрытий	Перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	Зенитных фонарей
Жилые здания	4,0	3,0	2,0	$t_{int}-t_d$

**Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции**

$\alpha_{int}$ , Вт/(м<sup>2</sup>×°С)

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи, $\alpha_{int}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ×°С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими рёбрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a между гранями соседних рёбер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими рёбрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

**Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции**

$\alpha_{ext}$ , Вт/(м<sup>2</sup>×°С)

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий $\alpha_{ext}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ×°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Таблица П1.7

**Коэффициент  $n$ , учитывающий положение ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху**

Ограждающие конструкции	коэффициент $n$
1. Наружные стены и покрытия ( в том числе вентилируемые наружным воздухом), зенитные фонари, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной- климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными ( с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной- климатической зоне	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проёмами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проёмов в стенах, расположенных выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4

Таблица П1.8

**Расчетные теплотехнические показатели некоторых теплоизоляционных материалов**

Наименование материала	Расчетные коэффициенты теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С) (при условиях эксплуатации в соответствии с [ ])	
	А	Б
Пенополистирол (ГОСТ 15588)	0,041	0,05
Экструдированный пенополистирол «Стиродур» 2500С	0,031	0,031
Пенополиуретан	0,041	0,041
Теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука «Аэрофлекс»	0,04	0,054
Экструзионный пенополистирол «Пеноплэкс», тип 35	0,029	0,030
Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880)	0,058	0,064
Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499)	0,06	0,064
Маты из стеклянного штапельного волокна «URSA»	0,043	0,05
Пакля	0,06	0,07
Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	0,15	0,165

Таблица П1.9

**Нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций**

Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость $G_n$ , кг/(м <sup>2</sup> ·ч), не более
Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
Стыки между панелями наружных стен жилых зданий	0,5*
Входные двери в квартиры	1,5
Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в деревянных переплетах	6,0
Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в пластмассовых или алюминиевых переплетах	5,0
* В кг/(м·ч).	

Таблица П1.10

**Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление  $q_h^{req}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут),  
одноквартирных отдельно стоящих и блокированных жилых домов**

Отапливаемая площадь домов, м <sup>2</sup>	С числом этажей			
	1	2	3	4
60 и менее	140	-	-	-
100	125	135	-	-
150	110	120	130	-
250	100	105	110	115
400	-	90	95	100
600	-	80	85	90
1000 и более	-	70	75	80

Примечание - При промежуточных значениях отапливаемой площади дома в интервале 60÷1000 м<sup>2</sup> значения  $q_h^{req}$  должны определяться по линейной интерполяции.

Таблица П1.11

**Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление зданий  
 $q_h^{req}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут) или [кДж/(м<sup>3</sup>·°С·сут)]**

Типы зданий	Этажность зданий					
	1÷3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше
Жилые, гостиницы, общежития	По таблице П1.3	85[31] для 4-х этажных одноквартирных и блокированных домов - по таблице П1.3	80 [29]	76 [27,5]	72 [26]	70 [25]
Общественные, кроме перечисленных в поз. 3, 4 и 5 таблицы	[42]; [38]; [36] соответственно нарастанию этажности	[32]	[31]	[29,5]	[28]	-
Поликлиники и лечебные учреждения, дома – интернаты	[34]; [33]; [32] соответственно нарастанию этажности	[31]	[30]	[29]	[28]	-
Дошкольные учреждения	[45]	-	-	-	-	-
Сервисного обслуживания	[23]; [22]; [21] соответственно нарастанию этажности	[20]	[20]	-	-	-
Административного назначения (офисы)	[36]; [34]; [33] соответственно нарастанию этажности	[27]	[24]	[22]	[20]	[20]

**Примечание:** Для регионов, имеющих значение  $D_d = 8000$  °С·сут и более, нормируемые  $q_h^{req}$  следует снизить на 5%.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ****Общая информация**

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	г. Казань
Разработчик проекта	ЦНИИЭП жилища
Адрес и телефон разработчика	Москва, Дмитровское шоссе, 96; Тел.(095)9762819
Шифр проекта	Серия 121

**Расчетные условия**

№ п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение символа	Единицы измерения параметра	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{int}$	°С	20
2	Расчетная температура наружного воздуха	$t_{ext}$	°С	-32
3	Расчетная температура теплого чердака	$t_c$	°С	-
4	Расчетная температура техподполья	$t_c$	°С	-
5	Продолжительность отопительного периода	$z_{ht}$	сут	218
6	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{ht}$	°С	-3,0
7	Градусо-сутки отопительного периода	$D_d$	°С·сут	5014

**Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания**

8	Назначение	Жилое
9	Размещение в застройке	Отдельно стоящее
10	Тип	Малоэтажное, 3 этажа
11	Конструктивное решение	Наружные стены кирпичные с эффективной изоляцией

**Геометрические и теплоэнергетические показатели**

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6
<b>Геометрические показатели</b>					
12	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_g^{sum}, м^2$	-	5395	
	стен	$A_w, м^2$	-	3161	
	окон и балконных дверей	$A_F, м^2$	-	694	
	витражей	$A_F, м^2$	-	-	
	фонарей	$A_F, м^2$	-	-	
	входных дверей и ворот	$A_{ed}, м^2$	-	-	
	покрытий (совмещенных)	$A_c, м^2$	-	-	
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	$A_c, м^2$	-	-	
	перекрытий теплых чердаков	$A_c, м^2$	-	770	

1	2	3	4	5	6
	перекрытий над техподпольями	$A_f, \text{м}^2$	-	770	
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	$A_f, \text{м}^2$	-	-	
	перекрытий над проездами и под эркерами	$A_f, \text{м}^2$	-	-	
	пола по грунту	$A_f, \text{м}^2$	-	-	
13	Площадь квартир	$A_h, \text{м}^2$	-	5256	
14	Полезная площадь (общественных зданий)	$A_h, \text{м}^2$	-	-	
15	Площадь жилых помещений	$A_t, \text{м}^2$	-	3416	
16	Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_t, \text{м}^2$	-	-	
17	Отапливаемый объем	$V_h, \text{м}^3$	-	18480	
18	Коэффициент остекленности фасада здания	$f$	0,18	0,18	
19	Показатель компактности здания	$k_g^{des}$	0,32	0,29	
<b>Теплоэнергетические показатели</b>					
Теплотехнические показатели					
20	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений:	$R_o^r, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$			
	стен	$R_w$	3,16	2,65	
	окон и балконных дверей	$R_F$	0,526	0,55	
	витражей	$R_F$	-	-	
	фонарей	$R_F$	-	-	
	входных дверей и ворот	$R_{ed}$	1,2	-	
	покрытий (совмещенных)	$R_c$	-	-	
	чердачных перекрытий (холодных чердаков)	$R_c$	-	-	
	перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	$R_c$	4,71	4,71	
	перекрытий над техподпольями	$R_f$	4,16	4,16	
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	$R_f$	-	-	
	перекрытий над проездами и под эркерами	$R_f$	-	-	
	пола по грунту	$R_f$	-	-	
21	Приведенный коэффициент теплопередачи здания	$K_m^{tr}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	-	0,519	
22	Кратность воздухообмена здания за отопительный период	$n_a, \text{ч}^{-1}$	0,671	0,671	
	Кратность воздухообмена при испытаниях (при 50 Па)	$n_{50}, \text{ч}^{-1}$	4,0	-	

1	2	3	4	5	6
23	Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции	$K_m^{inf}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	-	0,573	
24	Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_m$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	-	1,092	
<b>Энергетические показатели</b>					
25	Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	$Q_h$ , МДж	-	2552185	
26	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{int}$ , Вт/м <sup>2</sup>		14,5	
27	Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	$Q_{int}$ , МДж	-	932945	
28	Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период	$Q_s$ , МДж	-	255861	
29	Расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	$Q_h^y$ , МДж	-	1970491	

### Коэффициенты

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя
30	Расчетный коэффициент энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты	$\varepsilon_0^{des}$	0,5	
31	Расчетный коэффициент энергетической эффективности поквартирных и автономных систем теплоснабжения здания от источника теплоты	$\varepsilon_{dec}$	-	
32	Коэффициент эффективности авторегулирования	$\zeta$	0,85	
33	Коэффициент учета встречного теплового потока	$k$	0,8	
34	Коэффициент учета дополнительного теплопотребления	$\beta_h$	1,13	

### Комплексные показатели

35	Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$q_h^{des}$ , кДж/(м <sup>2</sup> ·°С·сут), [кДж/(м <sup>3</sup> ·°С·сут)]	74,77 [-]	
36	Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$q_h^{req}$ , кДж/(м <sup>2</sup> ·°С·сут), [кДж/(м <sup>3</sup> ·°С·сут)]	76 [27,5]	
37	Класс энергетической эффективности	"Нормальный"	С	
38	Соответствует ли проект здания нормативному требованию		Да	
39	Дорабатывать ли проект здания		Нет	



Правила обмера ограждений при расчете трансмиссионных теплопотерь

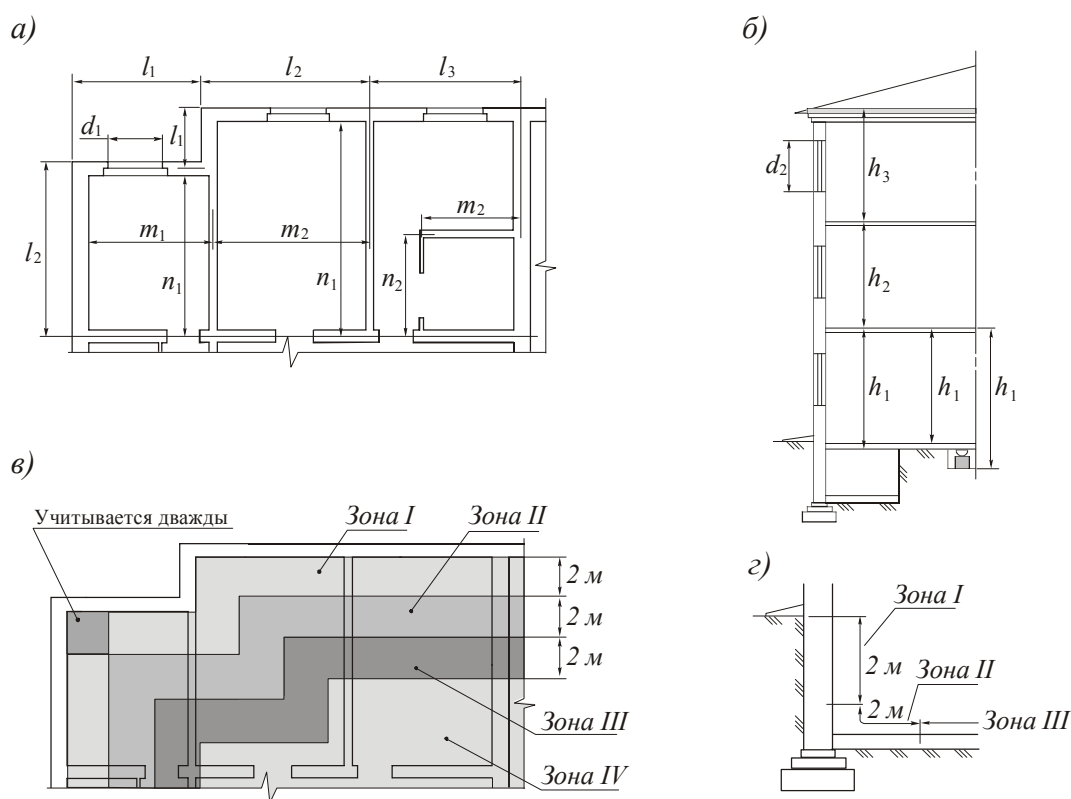


Рис. П2.1 Схемы обмера ограждающих конструкций

- размеры *наружных стен* ( $l_1, l_2, l_3$ ) измеряют: в плане по внешнему периметру между осями внутренних стен и наружным углом стены (рис. П2.1, а); по высоте  $h$  как показано на рис. П2.1, б;
- размеры *окон и дверей* принимаются по наименьшему строительному проему ( $d_1, d_2$ );
- размеры *пола* над подвалом и потолка измеряют между осями внутренних стен и внутренней поверхностью наружных стен ( $m, n$ ).
- площади полов, расположенных по лагам или на грунте (без подвала), определяют по зонам – полосам шириной 2 м, откладываемым от каждой наружной стены (П2.1, в). Поверхность участков полов возле угла наружных стен (в первой двухметровой зоне) вводится в расчет дважды, т.е. по направлению обеих стен, составляющих угол. Для каждой зоны неутепленного пола вводится свое расчетное сопротивление теплопередаче:

- для I-ой зоны  $R_{c.I} = 2.1 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ ;
- для II-ой зоны  $R_{c.II} = 4.3 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ ;
- для III-ей зоны  $R_{c.III} = 8.6 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ ;
- для IV-ой зоны  $R_{c.IV} = 14.2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ .

Для утепленных полов на грунте с толщиной утепляющего слоя  $\delta$ , м, и коэффициентом теплопроводности  $\lambda_h < 1,2 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$ ,  $R_h$  для соответствующей зоны определяется по формуле

$$R_h = R_c + \delta / \lambda_h;$$

а для полов на лагах

$$R_h = 1,18(R_c + \delta / \lambda).$$

- подземная часть наружных стен и полы отапливаемого подвала здания должны подсчитываться так же, как и полы, расположенные на грунте бесподвального здания, т.е. по зонам шириной 2 м, с отсчетом их от уровня земли (рис. П2.1, г). Полы помещений при отсчете зон рассматриваются как продолжение подземной части наружных стен. Сопротивление теплопередаче определяется так же, как и для неутепленных или утепленных полов.

Таблица П2.1

## Коэффициенты учета изменения скоростного давления ветра по высоте

Высота над поверхностью земли $h$ , м	Коэффициент $k_l$ для типов местности		
	Побережье морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундры	Городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой до 10 м	Городские районы с застройкой зданиями высотой до 25 м
$\leq 5$	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
$\geq 480$	2,75	2,75	2,75

Таблица П2.2

Коэффициент  $\beta_2$ , учитывающий дополнительные теплотери из-за размещения отопительных приборов у наружных ограждений

Коэффициент	Отопительный прибор			
	радиатор		конвектор	
	чугунный секционный	стальной панельный	с кожухом	без кожуха
$\beta_2$	1,02	1,04	1,02	1,03

Таблица П2.3

## Теплопередача 1 м изолированной трубы, Вт/м

Таблица П2.4

## Удельная теплоотдача 1 м неизолированных труб, Вт/м

Средний температурный напор	Теплоотдача $q$ , Вт/м, при $d_y$ , мм, труб								
	стальных водогазопроводных					электросварных			
	15	20	25	32	40	50	70	80	109
<b>Горизонтальные трубы</b>									
30°C	29	35	41	52	58	66	87	102	116
40	40	52	58	71	81	93	120	133	157
50	46	64	79	93	105	122	155	176	207
60	65	81	110	129	146	170	218	222	250
70	79	99	122	142	163	189	267	272	319
80	94	117	146	172	194	228	292	331	386
90	112	137	171	201	227	266	343	386	455
100	128	157	197	233	252	308	420	449	525
110	145	178	221	265	300	354	448	509	598
120	163	198	248	302	341	402	507	573	674
130	192	221	274	338	382	460	573	639	757
<b>Вертикальные трубы</b>									
30	17	21	33	40	49	57	77	88	108
40	23	33	44	56	64	78	107	122	148
50	35	47	61	78	88	104	142	162	195
60	49	62	79	99	ПО	134	180	209	250
70	58	77	100	121	139	169	221	255	306
80	76	93	106	145	168	203	261	308	373
90	87	ПО	141	274	197	252	311	364	441
100	100	126	155	203	229	281	360	424	513
ПО	116	148	191	232	266	322	413	487	585
120	134	168	212	267	302	354	471	555	667
130	151	189	232	296	333	409	529	619	744

Таблица П2.5

## Основные тепловые характеристики отопительных приборов для жилых зданий

Отопительные приборы	Условное обозначение типоразмера	Номинальный тепловой поток типоразмера, кВт	Показатели степени			Пределы расходов теплоносителя для значения $p$
			$n$	$c_{np}$	$p$	
1	2	3	4		5	6
Конвекторы настенные с кожухом «Комфорт 20»	КН20-0,65	0,372	0,35	1,0	0,18	0,01...0,025
	КН20-0,9	0,515				
	КН20-1,1	0,655				
	КН20-1,4	0,820			0,07	0,025...0,25
	КН20-1,7	0,885				
	КН20-2,0	1,150				
	КН20-2,3	1,315				
	КН20-2,8	1,475				
	КН20-2,9	1,840				
	КН20-3,2	1,805				
КН20-3,5	1,970					
Конвекторы напольные с кожухом «Ритм»	КО20-1,6	0,915	0,35	1,0	0,18	0,01...0,025
	КО20-2,4	1,370				
	КО20-3,75	2,140			0,07	0,025...0,25
Конвекторы напольные высокие с кожухом КВ (для лестничных клеток)	КВ20-10-800 КВ20-12-900 КВ20-13-1200	5,665 6,800 7,370	0,25	1,0	0,1	0,01...0,25

1	2	3	4	5	6	
Конвекторы настенные малой глубины с кожухом «Универсал»	КН20-0,7	0,400	0,3	1.0	0,07	0,025...0,25
	КН20-0,84	0,479				
	КН20-1,15	0,655				
	КН20-1,38	0,787				
	КН20-1,61	0,918				
	КН20-1,84	1,049				
	КН20-2,07	1,180				
	КН20-2,3	1,311				
	КН20-2,53	1,442				
	КН20-2,76	1,573				
	КН20-2,99	1,704				
	КН20-3,22	1,835				
	КН20-3,45	1,970				
Конвекторы настенные средней глубины с кожухом «Универсал-С»	КН20-2,15	2,226	0,3	1.0	0,07	0,025...0,25
	КН20-2,365	1,317				
	КН20-2,58	1,471				
	КН20-2,795	1,593				
	КН20-3,01	1,716				
	КН20-3,225	1,838				
	КН20-3,44	1,961				
	КН20-3,665	2,083				
	КН20-3,81	2,206				
	КН20-4,085	2,328				
	КН20-4,3	2,451				
	КН20-4,515	2,574				
	КН20-4,73	2,696				
	КН20-4,945	2,819				
КН20-5,16	2,941					
Конвекторы настенные без кожуха «Север»	К-0,58	0,319	0,35	1.0	0,04	0,01...0,25
	К-0,74	0,422				
	К-0,82	0,524				
	К-1,11	0,833				
	К-1,30	0,741				
	К-1,48	0,843				
	К-1,88	0,947				
	К-1,85	1,055				
	К-2,04	1,163				
	К-2,22	1,288				
	К-2,40	1,368				
	К-2,59	1,478				
	К-2,78	1,584				
	К-2,96	1,687				
	К-3,14	1,790				
	К-3,33	1,898				
К-3,52	2,008					
К-3,70	2,109					
Конвекторы настенные без кожуха «Аккорд»	КА-0,6	0,336	0,2	1.0	0,03	0,01...0,25
	КА-0,8	0,448				
	КА-1,0	0,560				
	КА-1,2	0,872				
	КА-1,4	0,784				
	КА-1,6	0,898				
	КА-1,8	1,008				
	КА-2,0	1,120				
	КА-1,11	0,821				
	КА-1,47	0,823				

1	2	3	4	5	6	
	KA2A-1,84 KA2A-2,21 KA2A-2,58 KA2A-2,94 KA2A-3,31 KA2A-3,68	1,030 1,237 1,445 1,848 1,854 2,061	0,2	1,0	0,03	0,01...0,25
Радиаторы чугунные секционные	M-140-AO M-140-A M-140AO-300 M-90 MC-140-108 MC-140-98 MC-90-108	0,178 0,164 0,122 0,140 0,185 0,174 0,150	0,3	1,039 1,0 1,0	0,02 0 0,01	0,005...0,015 0,015...0,15 0,15...0,25
Радиаторы стальные панельные горизонтальные однорядные	PCГ2-1-500-8-0,9 PCГ2-1-500-8-1,12 PCГ2-1-500-8-1,38 PCГ2-1-500-8-1,82 PCГ2-1-500-8-1,87 PCГ2-1-500-8-2,14 PCГ2-1-500-8-2,40	0,531 0,681 0,802 0,958 1,103 1,283 1,418	0,3	1,0	0,025	0,01...0,25
Радиаторы стальные панельные горизонтальные двухрядные	PCГ2-2-500-8-1,50 PCГ2-2-500-8-1,86 PCГ2-2-500-8-2,28 PCГ2-2-500-8-2,00 PCГ2-2-500-8-3,11 PCГ2-2-500-8-3,58 PCГ2-2-500-8-3,99	0,881 1,088 1,297 1,544 1,785 2,043 2,290	0,2	1,0	0,01	0,01...0,25
Радиаторы стальные панельные вертикальные однорядные	PCB1-1-500-8-0,89 PCB1-1-500-8-1,20 PCB1-1-500-8-1,51 PCB1-1-500-8-1,82 PCB1-1-500-8-2,13	0,501 0,678 0,850 1,025 1,193	0,25	1,133 1,113 0,97 0,97 0,97	0,12 0,12 0,04 0,04 0,04	0,005...0,015 0,015...0,15 0,15...0,25
Радиаторы стальные панельные вертикальные двухрядные	PCB1-2-500-8-1,55 PCB1-2-500-8-2,09 PCB1-2-500-8-2,62 PCB1-2-500-8-3,10 PCB1-2-500-8-3,70	0,873 1,177 1,475 1,770 2,083	0,15	1,09	0,08 0,08 0 0 0	0,015...0,15 0,15...0,25

**Значения показателей степени  $n$  и  $m$ , а также коэффициента  $\psi$  для радиаторов типов MC-140 и MC-90.**

Расход теплоносителя	$n$	$p$	$\psi$
<i>Схема подключения сверху- вниз</i>			
0,005...0,015	0,3	0,02	0,96
0,015...0,15	0,3	0	1,0
0,15...0,25	0,3	0,01	1,04
<i>Схема подключения снизу- вверх</i>			
0,005...0,018	0,25	0,12	0,907
0,018...0,25	0,25	0,04	1,03
<i>Схема подключения снизу- вниз</i>			
0,005...0,033	0,15	0,08	0,916
0,033...0,25	0,15	0	1,0

Таблица П2.6

## Коэффициенты учета дополнительных факторов, влияющих на теплоотдачу отопительных приборов

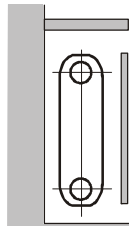
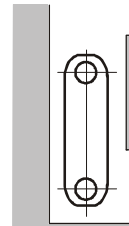
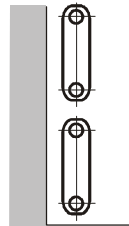
Значения коэффициента $\beta_1$ , учитывающего влияние номенклатурного ряда приборов	Чугунные радиаторы МС-140-108 и МС-140-98	Стальные панельные радиаторы типа РСВ1	Стальные панельные двухрядные радиаторы	Конвекторы
	1.04	1.04	1.13	1.13
Значения коэффициента $\beta_2$ , учитывающего дополнительные потери тепла приборами у наружных ограждений	Радиатор чугунный секционный	Радиатор стальной панельный	Конвектор с кожухом	Конвектор без кожуха
	1.02	1.01	1.02	1.03
Значения коэффициента $\beta_3$ , учитывающего число секций в радиаторе	Число секций			
	10÷15	16÷20	21÷25	
	1.0	0.98	0.96	
Значения коэффициента $\beta_4$ , учитывающего способ установки прибора	Способ установки			
	в шкафу	с экраном	в нише	друг над другом
				
	1.12	0.9	1.05	1.05

Таблица П2.7

## Коэффициенты местных сопротивлений элементов систем водяного отопления

Местное сопротивление	$\xi$ при диаметре трубопровода, мм					
	15	20	25	32	40	50 и более
Радиаторы двухколонные	1,6	1,2	-	-	-	-
Вентиль обыкновенный с вертикальным шпинделем	16	10	9	9	8	7
Кран двойной регулировки	4	2	-	-	-	-
Трёхходовой кран конструкции «Сантехдеталь» при прямом проходе при проходе с поворотом	2	1,5	2	-	-	-
	3	3	4,5	-	-	-
Трёхходовой кран конструкции Главмостроя при прямом проходе при проходе с поворотом	3,2	6,6	6,6	-	-	-
	5,5	10,5	10,5	-	-	-
Кран проходной пробковый	3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Задвижка параллельная	-	-	-	-	-	0,5
Отвод 90° гнутый	1,5	1,0	0,5	0,3	0,3	0,3
Скоба	3	1,5	0,8	0,6	-	-
Утка гнутая, отступ	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Компенсаторы П-образные	2,0					
Грязевики	10					
<b>Примечание:</b> Значения $\xi$ для радиаторов относятся к скорости воды в ответвлениях к радиаторам.						

Таблица П2.8

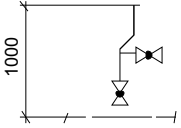
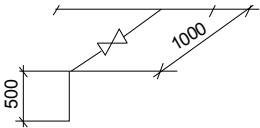
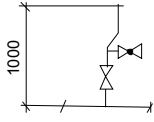
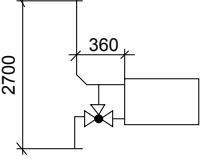
**Усредненные к. м. с. тройников при ответвлении стояков от распределительных и сборных магистральных трубопроводов**

Обозначение к.м.с.	Место расположения	$\xi$ при $G_{отв}/G_{общ}$				
		0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4÷0,5 и более
		$\xi$ при $G_{прх}/G_{общ}$				
		0,9	0,-0,8	0,8-0,7	0,7-0,6	0,6÷0,5 и менее
$\xi_{отв}$	Распределительный трубопровод	5.0				
	Сборный трубопровод	0		1.0		1,5
$\xi_{прх}$	Распределительный трубопровод	0,2		0,3		0,5
	Сборный трубопровод	0,5	0,7	1,2	1,5	3,0

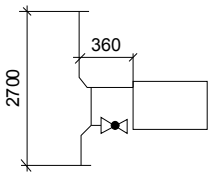
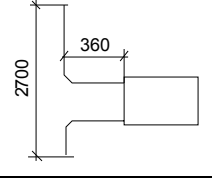
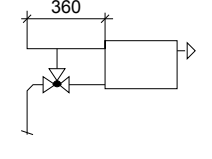
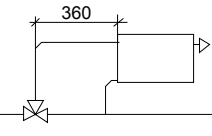
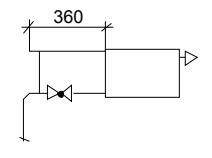
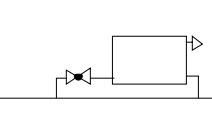
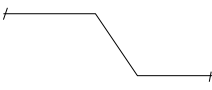
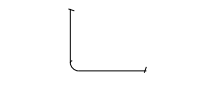
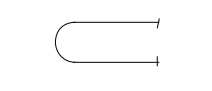
**Примечание.** В табл. приняты обозначения:  $G_{отв}$  и  $\xi_{отв}$  - расходы воды и к. м. с. в ответвлении;  $G_{прх}$  и  $\xi_{прх}$  - то же, на проход;  $G_{общ}$  - расход воды в общем трубопроводе

Таблица П2.9

**Приведенные к. м. с.  $\xi_{пр}$  и характеристики сопротивления  $S$  унифицированных приборных узлов однотрубных систем водяного отопления с чугунными и стальными панельными радиаторами колончатого типа.**

Эскиз узла	Диаметр, мм			$\xi_{пр}$	$S \cdot 10^{-4}$ , Па/(кг/с) <sup>2</sup>
	стояка	закрывающего участка	ответвления		
1	2	3	4	3	4
	15 20 25	- - -	- - -	24,5/12 17,5/9 16/8,5	33,3/16,3 7,23/3,71 2,54/1,35
	15 20 25	- - -	- - -	23,05/8,45 15,2/6,7 1,31/5,6	31,69/11,6 6,29/2,76 2,07/0,39
	15 20 25	- - -	- - -	8 5 4,5	10,89 2,06 0,71
	15 20 25 25	15 20 20 25	15 20 25/20 25	12,5/14,8 9,7/116 12,1/15,1 8,4/10	17/20,14 4,01/4,8 1,92/1,34 1,34/1,59

Окончание табл. П2.9

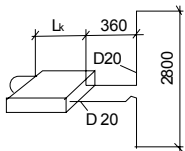
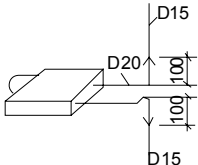
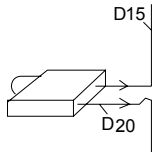
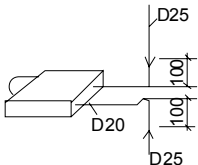
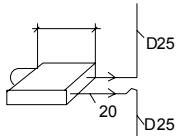
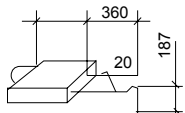
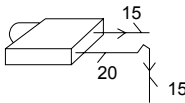
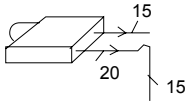
1	2	3	4	3	4
	15 20 25	15 15 20	15 20 25	9,8/11,8 9,8/11,6 7,6/9,1	13,19/16,06 4,04/4,8 1,21/1,45
	25 20 25	- - -	15 20 25	12,4/13,4 8,4/9,8 6,3/7,5	16,56/17,89 3,47/4,06 0,998/1,18
	15 20 25 25	15 20 20 25	15 20 25/20 25	4,7/7,0 4,5/6,4 8,7/11,3 4,6/6,2	6,39/9,53 1,85/2,64 1,39/1,79 0,74/0,998
	15 20 25 25	15 20 20 25	15 20 25/20 25	10,5 9,5 20,2 10,5	14,02 3,91 3,2 1,67
	15 20 25	15 15 20	15 20 25	2,2/4,1 4,7/6,3 3,8/5,1	2,99/5,59 1,94/2,61 0,69/0,82
	15 20 25	15 20 25	15 20 20	2,6 1,9 1,5	3,54 0,79 0,25
	15 20	- -	- -	0,8 0,7	1,09 0,29
	15 20	- -	- -	1,5 1,0	2,04 0,41
	15 20	- -	- -	2,0 1,2	2,74 0,496

**Примечания:** 1. Для узлов присоединения стояков к распределительной магистрали в числителе приведены данные при установке вентиля, в знаменателе - при установке проходного крана.

2. Для вертикальных приборных узлов в числителе приведены данные при прямом ответвлении от прибора к стояку, в знаменателе – при ответвлении с отступом (уткой).



**Зависимости для расчёта характеристик сопротивления унифицированных приборных узлов с конвекторами «Комфорт-20» (КН – 20)**

Эскиз угла	Диаметр, мм		Формула для расчёта $S \cdot 10^{-4}$ , Па/(кг/с) <sup>2</sup>
	стояка	ответвления	
1	2	3	4
<i>Узлы с концевыми конвекторами КН-20</i>			
	20	20	$5,3+1,55(l_k - 0,22)$
	15/20	20	$15,1+1,55(l_k - 0,2)$
	15	15	$23,1+1,55(l_k - 0,2)$
	25/20	20	$4,54+1,55(l_k - 0,2)$
	25	25	$3,1+1,55(l_k - 0,2)$
	20	20	$2,9+1,55(l_k - 0,2)$
	15/20	20	$2,9+1,55(l_k - 0,2)$
	15	15	$11,3+1,55(l_k - 0,2)$

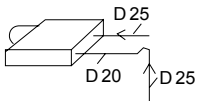
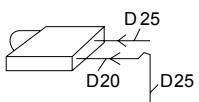
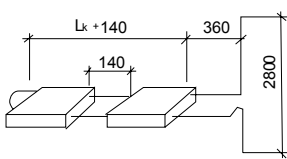
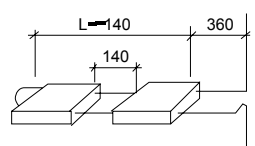
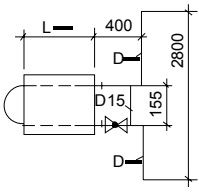
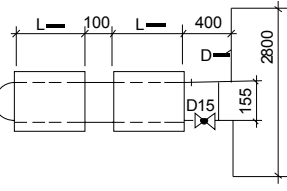
1	2	3	4
	25/20	20	$3,12+1,55(l_k - 0,2)$
	25	25	$18+1,55(l_k - 0,2)$
<i>Узлы с концевыми и проходными конвекторами КН-20 (<math>S_{п.к}</math>)</i>			
	$S_{п.к} = S_k + 0,19$ (во всех случаях)		
	$S_{п.к} = S_k + 0,19$ (во всех случаях)		

Таблица П2.11

Приведённая к . м . с.  $\xi_{пр}$  и характеристики сопротивления  $S$  унифицированных узлов однотрубных систем водяного отопления с конвекторами «Аккорд»

Эскиз узла	Условные обозначения конвектора	$\xi_{пр}$ для стояка диаметром, мм		$S \cdot 10^{-4}$ Па/(кг/с) <sup>2</sup> для диаметров, мм	
		15	20	15	20
1	2	3	4	5	6
	КА-0,6	13,42	10,1	18,24	4,17
	КА-0,8	13,44	10,18	18,27	4,20
	КА-1,0	13,47	10,25	18,30	4,23
	КА-1,2	13,49	10,32	18,33	4,26
	КА-1,4	13,51	10,39	18,36	4,29
	КА-1,6	13,53	10,46	18,38	4,32
	КА-1,8	13,55	10,52	18,41	4,34
	КА-2,0	13,57	10,58	18,43	4,37
	КА-2,0	13,62	10,77	18,51	4,45
	КА-0,6	13,64	10,83	18,53	4,47
	КА-2,0	13,66	-	18,56	-
	КА-0,8				
	КА-1,0				

1	2	3	4	5	6
	K2A-1,11 K2A-1,47 K2A-1,84 K2A-2,21 K2A-2,58 K2A-2,94 K2A-3,31 K2A-3,68	12,89 12,93 12,97 13,00 13,03 13,06 13,09 13,12	10,78 10,90 11,02 11,12 11,24 11,31 11,44 11,51	17,52 17,57 17,62 17,60 17,71 17,75 17,79 17,83	4,45 4,50 4,55 4,59 4,64 4,67 4,72 4,75
	KA-0,6 KA-0,8 KA-1,0 KA-1,2 KA-1,4 KA-1,6 KA-1,8 KA-2,0	15,22 15,39 15,56 15,74 15,92 16,08 16,26 16,44	12,87 13,42 14,00 14,59 15,17 15,72 16,31 16,89	20,68 20,91 21,15 21,39 21,63 21,86 22,1 22,34	5,31 5,54 5,78 6,02 6,26 6,49 6,73 6,97
	KA-2,0 KA-0,6 KA-2,0 KA-0,8 KA-2,0 KA-1,0	17,05 17,23 17,40	18,9 19,49 20,06	23,17 23,41 23,65	7,8 8,04 8,29
	K2A-1,11 K2A-1,47 K2A-1,84 K2A-2,21 K2A-2,58 K2A-2,94 K2A-3,31 K2A-3,68	16,59 16,94 17,29 17,63 17,98 18,32 18,64 19,01	19,94 21,08 22,22 23,36 24,50 25,64 26,74 27,91	22,55 23,02 23,49 23,96 24,43 24,90 25,37 25,84	8,23 8,70 9,17 9,64 10,11 10,58 11,05 11,52
	KA-0,6 KA-0,8 KA-1,0 KA-1,2 KA-1,4 KA-1,6 KA-1,8 KA-2,0	15,16 15,34 15,51 15,69 15,86 16,04 16,21 16,39	15,85 16,43 17,01 17,59 18,15 18,73 19,31 19,89	20,61 20,85 21,08 21,32 21,56 21,8 22,03 22,27	6,54 6,78 7,02 7,26 7,49 7,73 7,97 8,21
	KA-2,0 KA-0,6 KA-2,0 KA-0,8 KA-2,0 KA-1,0	17,00 17,17 17,35	21,00 22,73 23,06	23,10 23,34 23,58	9,04 9,38 9,52

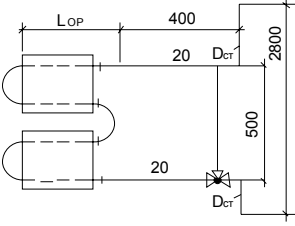
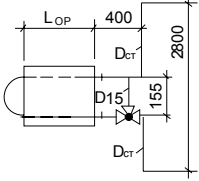
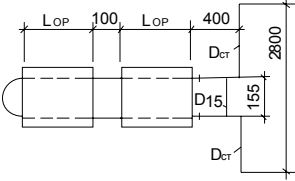
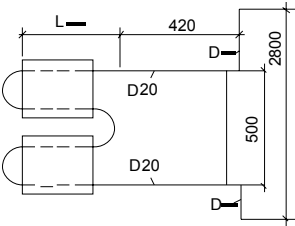
1	2	3	4	5	6
	K2A-1,11 K2A-1,47 K2A-1,84 K2A-2,21 K2A-2,58 K2A-2,94 K2A-3,31 K2A-3,68	16,56 16,90 17,25 17,60 17,94 18,29 18,63 18,98	22,90 22,09 22,20 26,1 27,26 28,40 29,56 30,70	22,50 22,97 23,44 23,91 24,38 24,85 25,32 25,79	9,45 9,92 10,40 10,77 11,25 11,72 12,20 12,67
	KA-0,6 KA-0,8 KA-1,0 KA-1,2 KA-1,4 KA-1,6 KA-1,8 KA-2,0	13,28 13,31 13,34 13,37 13,39 13,42 13,44 13,46	9,67 9,74 9,84 9,91 10,00 10,10 10,18 10,25	18,05 18,09 18,13 18,17 18,20 18,24 18,26 18,29	3,39 4,02 4,06 4,09 4,13 4,17 4,20 4,23
	KA-2,0 KA-0,6 KA-2,0 KA-0,8 KA-2,0 KA-1,0	13,53 13,56 13,57	10,47 10,54 10,59	18,39 18,42 18,44	4,32 4,35 4,37
	K2A-1,11 K2A-1,47 K2A-1,84 K2A-2,21 K2A-2,58 K2A-2,94 K2A-3,31 K2A-3,68	12,80 12,83 12,88 12,91 12,95 12,98 13,01 13,04	10,47 10,59 10,73 10,85 10,95 11,07 11,17 11,27	17,39 17,44 17,50 17,55 17,60 17,64 17,68 17,72	4,32 4,37 4,43 4,48 4,52 4,57 4,61 4,65

Таблица П2.12

**Значения характеристик сопротивления концевых и проходных конвекторов  
типа «Универсал» и «Универсал С»**

Конвектор малой глубины «Универсал»		$S \cdot 10^{-4}$ Па/(кг/с) <sup>2</sup>	Конвектор средней глубины «Универсал С»		$S \cdot 10^{-4}$ Па/(кг/с) <sup>2</sup>	
концевой	проходной		концевой	проходной		
КН20-0,7к	КН20-0,7п	1,85	КН20-2,15к	КН20-3,225п	2,9	
КН20-0,84к	КН20-0,84п	1,995	КН20-2,365к		3,0	
КН20-1,15к	КН20-1,15п	1,85	КН20-2,58к		3,15	
КН20-1,38к	КН20-1,38п	1,995	КН20-2,795к		3,27	
КН20-1,61к	КН20-1,61п	2,14	КН20-3,01к		3,4	
КН20-1,84к	КН20-1,84п	2,29	КН20-3,225к		3,5	
КН20-2,07к	КН20-2,07п	2,44	КН20-3,44к		3,6	
КН20-2,3к	КН20-2,3п	2,59	КН20-3,655к		3,72	
КН20-2,53к	КН20-2,53п	2,74	КН20-3,81к		3,85	
КН20-2,76к	КН20-2,76п	2,89	КН20-4,85к		3,95	
КН20-2,99к	КН20-2,99п	3,04	КН20-4,3к		КН20-4,3п	4,1
КН20-3,22к	КН20-3,22п	3,18	КН20-4,515к			4,2
КН20-3,45к	КН20-3,45п	3,33	КН20-4,73к			4,3

Таблица П2.13

## Допустимая скорость движения воды в трубах

Допустимый эквивалентный уровень шума, дБ	Допустимая скорость движения воды, м/с, в трубах при коэффициентах местных сопротивлений узла отопительного прибора или стояка с арматурой, приведенных к скорости теплоносителя в трубах				
	до 5	10	15	20	30
25	1,5 / 1,5	1,1 / 0,7	0,9 / 0,55	0,75 / 0,5	0,6 / 0,4
30	1,5 / 1,5	1,5 / 1,2	1,2 / 1,0	1,0 / 0,8	0,85 / 0,65
35	1,5 / 1,5	1,5 / 1,5	1,5 / 1,1	1,2 / 0,95	1,0 / 0,8
40	1,5 / 1,5	1,5 / 1,5	1,5 / 1,5	1,5 / 1,5	1,3 / 1,2

**Примечания:** 1. В числителе приведена допустимая скорость теплоносителя при применении кранов пробочных, трехходовых и двойной регулировки, в знаменателе - при применении вентиляей.

2. Скорость движения воды в трубах, прокладываемых через несколько помещений, следует определять, принимая в расчет:

а) помещение с наименьшим допустимым эквивалентным уровнем шума;

б) арматуру с наибольшим коэффициентом местного сопротивления, устанавливаемую на любом участке трубопровода, прокладываемого через это помещение, при длине участка 30 м в обе стороны от помещения.

Таблица П2.14

## Потери давления в трубах LPE и PE-Xc (VPE-c) для воды при температуре 10°C

Расход воды $l$ , л/с	Ø14 × 2		Ø18 × 2.5		Ø25 × 3.5		Ø32 × 4.4	
	Скорость $v$ , м/с	Удельные потери давления $R$ , Па/м	Скорость $v$ , м/с	Удельные потери давления $R$ , Па/м	Скорость $v$ , м/с	Удельные потери давления $R$ , Па/м	Скорость $v$ , м/с	Удельные потери давления $R$ , Па/м
0.05	0.3	170	0.38	224	0.2	50		
0.10	0.6	590	0.75	741	0.4	160	0.2	50
0.15	1.0	1220	1.13	1503	0.6	330		
0.20	1.3	2360	1.51	2494	0.8	550	0,5	160
0.25	1.6	3130	1.890	3702	1.0	810		
0.30	2.0	4400	2.26	5121	1.2	1040	0.7	330
0.35	2.3	5220	2.64	6744	1.4	1490		
0.40	2.6	7580	3.02	8569	1.6	1890	0.9	550
0.45	3.0	9480	3.39	10590	1.8	2030		
0.50	3.2	11590	3.77	12806	2.0	2840	1.2	820
0.55					2.2	3380		
0.60					2.4	3970	1.4	1140
0.65					2.6	4600		
0.70					2.8	5270	1.7	1510
0.75					2.9	5990		
0.80					3.1	6910	1.9	1930
0.85					3.3	7560		
0.90					3.5	8410	2.1	2380
0.95					3.7	9310		
1.00					3.9	10250	2.4	2900
1.10							2.6	3460
1.20							2.8	4060
1.30							3.1	4710
1.40							3.5	5410
1.50							3.5	6150
1.60							3.8	6940

Потери давления в трубах *LPE* и *PE-Xc (VPE-c)* для воды при температуре 80°C

Q, Вт при $\Delta t = 20^\circ\text{C}$	G, кг/ч	Ø14×2		Ø18×2.5		Ø25×3.5		Ø32×4.4	
		v, м/с	R, Па/м	v, м/с	R, Па/м	v, м/с	R, Па/м	v, м/с	R, Па/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
300	12.9	0.05	6	0.02	1				
400	17.2	0.06	10	0.03	2				
500	21.5	0.08	15	0.04	3				
600	25.8	0.09	20	0.05	4				
700	30.1	0.11	26	0.06	5				
800	34.4	0.13	33	0.065	7				
900	38.7	0.14	40	0.07	8				
1000	43.0	0.16	48	0.08	10	0.05	3		
1100	47.3	0.17	56	0.09	12				
1200	51.6	0.19	65	0.10	13	0.06	4		
1300	55.9	0.20	74	0.105	15				
1400	60.2	0.22	85	0.11	17	0.07	5		
1500	64.5	0.23	95	0.12	19				
1600	68.8	0.25	106	0.13	22	0.08	7		
1700	73.1	0.27	118	0.14	24				
1800	77.4	0.28	130	0.145	26	0.09	8		
1900	81.7	0.30	143	0.15	29				
2000	86.0	0.31	156	0.16	32	0.10	10	0.06	3
2200	94.6	0.34	185	0.18	37				
2400	103.2	0.38	215	0.19	43	0.12	13	0.07	4
2600	111.8	0.41	247	0.21	50				
2800	120.4	0.44	281	0.22	57	0.14	17	0.08	5
3000	129.0	0.47	318	0.24	64	0.145	19		
3200	137.6	0.50	356	0.26	71	0.15	22	0.09	6
3400	146.2	0.53	396	0.27	79	0.16	24		
3600	154.8	0.56	438	0.29	88	0.17	27	0.10	8
3800	163.4	0.59	482	0.30	96	0.18	29		
4000	172.0	0.63	528	0.32	105	0.19	32	0.12	10
4400	189.2	0.69	625	0.35	124	0.21	38	0.13	11
4800	206.4	0.75	730	0.38	145	0.23	44	0.14	13
5200	223.6	0.81	842	0.42	167	0.25	50	0.15	15
5600	240.8	0.88	961	0.45	190	0.27	57	0.16	17
6000	258.0	0.94	1113	0.48	215	0.29	65	0.17	19
6500	279.5	1.02	1256	0.52	247	0.31	74	0.19	20
7000	301.0	1.10	1435	0.56	282	0.34	85	0.20	25
7500	322.5	1.17	1626	0.6	327	0.36	96	0.22	28
8000	344.0	1.25	1827	0.64	358	0.39	107	0.23	32
8500	365.5			0.67	399	0.41	119	0.24	35
9000	387.0			0.72	442	0.43	132	0.26	39

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9500	408.5			0.76	487	0.46	145	0.28	43
10000	430.0			0.80	533	0.48	159	0.29	47
11000	473.0			0.89	633	0.53	188	0.32	56
12000	516.0			0.96	740	0.58	220	0.35	65
13000	559.0			1.04	856	0.63	254	0.38	75
14000	602.0			1.12	978	0.68	289	0.40	85
15000	645.0			1.19	1109	0.72	328	0.44	96
16000	688.0			1.28	1247	0.77	368	0.47	108
17000	731.0					0.82	410	0.49	121
18000	774.0					0.87	455	0.52	133
19000	817.0					0.92	501	0.55	147
20000	860.0					0.97	550	0.58	161
22000	946.0					1.06	654	0.64	191
24000	1032.0					1.16	766	0.70	223
26000	1118.0					1.27	886	0.76	258
28000	1204.0					1.35	1014	0.81	295
30000	1290.0					1.45	1150	0.87	334
34000	1462.0							0.99	419
38000	1634.0							1.11	513

**Примечания:** 1. В таблице приведены потери давления в трубопроводах *LPE* и *PE-Xc (VPE-c)* для средней температуры воды 80°C.

2. При таблице приведена тепловая нагрузка  $Q$ , Вт, при перепаде температуры воды в системе  $\Delta t=20^\circ\text{C}$ . В других случаях достоверным является расход воды  $G$ , кг/ч.

Таблица П2.16

**Значение местных сопротивлений  $Z$ , Па, при  $\xi=1$  для воды при температуре 80°C**

Скорость воды, м/с	Сопротивление $Z$ , Па	Скорость воды, м/с	Сопротивление $Z$ , Па
0.05	1	0.55	147
0.10	5	0.60	175
0.12	7	0.65	205
0.14	10	0.70	238
0.16	12	0.75	273
0.18	16	0.80	310
0.20	19	0.85	350
0.25	30	0.90	393
0.30	44	0.95	438
0.35	59	1.00	485
0.40	78	1.05	510
0.45	98	1.10	538
0.50	121	1.20	700

**Коэффициенты местных сопротивлений элементов и оборудования систем подпольного отопления из полимерных труб**

№ п/п	Название местного сопротивления	$\xi$	№ п/п	Название местного сопротивления	$\xi$
1	Отопительный прибор секционный при диаметре подводки:		10	Отвод	2.0
	10.0	1.5	11	Отвод гнутый с $r/d \geq 5*$ диаметром:	
	14.0	3.0		10.0	0.5
	18.0	9.0		14.0	0.3
		18.0		0.3	
2	Отопительный прибор стальной панельный при диаметре подводки:			23.2	0.3
	10.0	2.5	12	Тройники:	
	14.0	6.5		в подающем трубопроводе	0.5
	18.0	19.0		в обратном трубопроводе	0.5
		в ответвлении подачи		1.5	
		в ответвлении обратки		1.0	
3	Вентиль отопительного прибора диаметром прохода:			в сходящемся потоке, в разветвлении	3.0
	10÷15	8.5	13	Крестовина:	
	20	6.0		на проходе	2.0
		в ответвлении		3.0	
4	Вентиль запорный прямой диаметром прохода:		14	Двойное колено	0.5
	10÷15	16.0	15	Обходной канал	1.0
	20÷25	12.0	16	Удлинитель гладкий упругий	2.0
5	Вентиль запорный косой диаметром:		17	Внезапное изменение сечения:	
	10÷15	3.5		расширение	1.0
	20÷25	3.0		сужение	0.5
6	Вентиль шаровой	0.15			
7	Вентиль поворотный	4.0			
8	Котел чугунный	2.5			
9	Котел стальной	2.0			

\* наименьший радиус изгиба трубы  $r = 5d$



**Удельная теплоотдача  $q$  и температура  $t_{пл}$  покрытий при устройстве теплых полов  
на основе полимерных труб LPE и PE-Xc (VPE-c)**

$\frac{t_r}{t_o}$ , °C	$t_B$ , °C	Шаг укладки трубопровода $b$ , м											
		0.10		0.15		0.20		0.25		0.30		0.35	
		$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{пл}$ , °C	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{пл}$ , °C	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{пл}$ , °C	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{пл}$ , °C	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{пл}$ , °C	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{пл}$ , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Тип полового покрытия: керамика, глазурь, камень (<math>R_{пл}=0.02</math> м<sup>2</sup>°C/Вт).</b>													
55/45	12	202	30.0	176	27.7	164	26.6	142	24.7	128	23.4	113	22.1
	16	181	32.2	158	30.1	147	29.1	128	27.4	115	26.3	102	25.1
	18	170	33.2	148	31.2	138	30.3	120	28.7	108	27.6	95	26.5
	20	160	34.3	140	32.5	130	31.6	113	30.1	102	29.1	90	28.0
	25	133	36.9	116	35.4	108	34.6	94	33.4	85	32.6	70	31.7
50/40	12	176	27.7	154	25.8	143	24.8	124	23.1	112	22.0	99	20.8
	16	155	29.8	136	28.1	126	27.3	110	25.8	99	24.8	87	23.8
	18	144	30.8	126	29.3	117	28.4	102	27.1	92	26.2	81	25.2
	20	133	31.9	116	30.4	108	29.6	94	28.4	85	27.6	75	26.7
	25	107	34.6	94	33.4	87	32.8	76	31.8	68	31.1	60	30.4
45/35	12	149	25.3	130	23.6	121	22.8	105	21.4	95	20.5	84	19.5
	16	128	27.4	112	26.0	104	25.3	90	24.0	82	23.3	72	22.4
	18	117	28.4	101	27.1	95	26.5	82	25.3	74	24.6	66	23.9
	20	107	29.6	94	28.4	87	27.8	76	26.8	68	26.1	60	25.4
	25	80	32.1	70	31.3	65	30.8	57	30.1	51	29.6	45	29.0
40/30	12	123	23.1	108	21.6	100	20.9	87	19.8	78	19.0	69	18.2
	16	101	25.0	88	23.9	82	23.3	71	22.3	64	21.7	57	21.1
	18	91	26.1	80	25.1	74	24.6	64	23.7	58	22.2	51	22.6
	20	80	27.1	70	26.3	65	25.8	57	25.1	51	24.6	45	24.0
	25	53	29.7	46	29.1	43	28.8	37	28.3	34	28.0	30	27.7
<b>Тип полового покрытия: синтетический материал (<math>R_{пл}=0.075</math> м<sup>2</sup>°C/Вт).</b>													
55/45	12	150	25.4	131	23.7	120	22.7	107	21.6	98	20.8	91	20.1
	16	134	28.0	118	26.5	107	25.6	96	24.6	88	23.9	81	23.3
	18	126	29.3	ПО	27.8	101	27.0	90	26.0	83	25.4	76	24.8
	20	119	30.6	104	29.3	95	28.5	85	27.6	78	27.0	72	26.4
	25	99	33.8	86	32.7	79	32.0	71	31.3	65	30.8	60	30.0
50/40	12	131	23.7	114	22.2	105	21.3	94	20.3	86	19.7	79	19.1
	16	115	26.3	101	25.0	92	24.2	82	23.3	79	22.8	70	22.2
	18	107	27.0	94	26.4	86	25.6	77	24.8	70	24.3	65	23.8
	20	99	28.8	86	27.7	79	27.0	71	26.3	65	25.8	60	25.3
	25	80	32.1	70	31.2	64	30.7	57	30.1	52	29.7	48	29.3
45/35	12	11	21.9	97	20.6	88	19.9	79	19.1	73	18.5	67	18.0
	16	95	24.5	83	23.4	76	22.8	68	21.6	62	21.6	58	21.1
	18	87	25.8	76	24.8	69	24.2	62	23.5	57	23.1	53	22.7
	20	80	27.1	70	26.2	64	25.7	57	25.1	52	24.7	48	24.3
	25	60	30.3	52	29.6	48	29.2	43	28.8	39	28.5	36	28.2
40/30	12	92	20.2	80	19.2	73	18.5	65	17.8	60	17.4	55	17.0
	16	75	22.7	66	21.9	60	21.3	54	20.8	49	20.4	45	20.1
	18	68	24.1	59	23.3	54	22.8	48	22.0	44	22.0	41	21.7
	20	60	25.3	52	24.6	48	24.2	43	23.8	39	23.0	36	23.2
	25	39	28.5	34	28.1	31	27.8	28	27.5	26	27.3	24	27.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Тип полового покрытия: паркет, ковер средней толщины (<math>R_{пл}=0.1 \text{ м}^2\text{С/Вт}</math>).</b>													
55/45	12	126	23.3	ПО	21.8	98	20.8	91	20.1	84	19.5	78	11.9
	16	ИЗ	26.1	98	24.8	88	23.9	81	23.3	76	22.8	70	22.3
	18	106	27.5	92	26.2	83	25.4	76	24.8	71	24.3	66	25.5
	20	100	28.9	97	27.8	78	27.0	72	26.4	67	26.0	62	29.6
	25	83	32.4	72	31.4	65	30.8	60	30.3	56	30.0	51	
50/40	12	110	21.8	96	20.5	86	19.7	79	19.1	74	18.6	68	18.1
	16	97	24.7	84	23.5	76	22.8	70	22.2	65	21.8	60	21.4
	18	90	26.0	78	25.0	70	24.3	65	23.8	60	23.4	56	23.0
	20	83	27.4	72	26.4	65	25.8	60	25.3	56	25.0	51	24.6
	25	67	31.0	58	30.2	52	29.7	48	29.3	45	29.0	42	28.7
45/35	12	93	20.3	81	19.2	73	18.5	67	18.0	62	17.6	58	17.1
	16	80	23.1	70	22.2	62	21.6	58	21.1	54	20.8	50	20.4
	18	73	24.5	64	23.7	57	23.1	53	22.7	49	22.4	45	22.0
	20	67	26.0	58	25.2	52	24.7	48	24.3	45	24.0	42	23.7
	25	50	29.5	44	28.9	39	28.5	36	28.2	34	28.0	31	27.8
40/30	12	77	18.9	67	18.0	60	17.4	55	17.0	52	16.6	48	16.3
	16	63	21.6	55	20.9	49	20.4	45	20.1	42	19.8	39	19.5
	18	57	23.1	50	22.4	44	22.0	41	21.7	38	21.4	35	21.2
	20	50	24.5	44	23.9	39	23.5	36	23.2	34	23.0	31	22.8
	25	33	27.9	29	27.6	26	27.3	24	27.1	22	27.0	20	26.8
<b>Тип полового покрытия: толстый паркет, толстый ковер (<math>R_{пл}=0.15 \text{ м}^2\text{С/Вт}</math>).</b>													
55/45	12	103	22.1	89	20.0	82	19.3	77	18.9	69	18.2	66	17.9
	16	93	24.3	80	23.2	73	22.6	69	22.2	62	21.5	59	21.2
	18	87	25.8	75	24.7	69	24.2	65	23.8	58	23.2	55	22.9
	20	82	27.3	71	26.3	65	25.8	61	25.4	55	24.9	52	24.6
	25	68	31.1	59	30.3	54	29.8	51	29.5	46	29.1	43	28.9
50/40	12	90	20.1	78	19.0	72	18.4	67	18.0	61	17.4	56	17.1
	16	80	23.1	69	22.1	63	21.6	59	21.3	53	20.8	50	20.5
	18	74	24.6	64	23.7	59	23.2	55	22.9	50	22.4	47	22.2
	20	68	26.1	59	25.3	54	24.8	51	24.5	46	24.1	43	23.9
	25	55	29.9	48	29.2	44	28.9	41	28.6	37	28.3	35	28.1
45/35	12	76	18.8	66	17.9	60	17.4	57	17.1	51	16.6	48	16.3
	16	66	21.9	57	21.1	52	20.6	49	20.4	44	19.9	42	19.7
	18	60	23.3	52	22.6	47	22.2	45	22.0	40	21.6	38	21.4
	20	55	24.9	48	24.2	44	23.9	41	23.6	37	23.3	35	23.1
	25	41	28.7	36	28.7	33	27.9	31	27.7	28	27.5	26	27.3
40/30	12	63	17.6	55	17.6	50	16.5	47	16.2	42	15.8	40	15.6
	16	52	20.6	45	20.6	41	19.7	38	19.4	35	19.1	33	18.9
	18	47	22.2	40	22.2	37	21.3	35	21.1	31	20.8	30	20.6
	20	41	23.7	36	23.7	33	22.9	31	22.7	28	22.5	26	22.5
	25	27	27.4	23	27.4	21	26.9	20	26.8	18	26.6	17	26.7

Таблица П2.19

**Технические характеристики аппаратов АОГВ**

АОГВ-6-3-У (2208)	
Тепловая нагрузка основной горелки, Вт	7000
Диаметр, мм	412
Высота, мм	973
Диаметр дымоотводящего патрубка, мм	80
Минимальное разрежение в дымоходе, Па	3
Диапазон регулирования температур, °С	50-90
КПД, %	80
Масса, кг	50
АОГВ-10-3-У(2203)	
Тепловая нагрузка горелки, Вт:	
Основной	11600
запальной	300
Габаритные размеры, мм	400×765×1010
Вместительность теплообменника, л	5
Размеры дымоотводящего патрубка, мм	103×103
Разрежение в дымоходе, Па	2-30
Время срабатывания автоматического устройства при розжиге, с:	60
АОГВ-20-3-У(2205)	
Тепловая нагрузка горелки, Вт:	
Основной	23000
запальной	300
Габаритные размеры, мм	374×656×850
Диаметр дымоотводящего патрубка, мм	130
Минимальное разрежение в дымоходе, Па	3
Время срабатывания автоматического устройства безопасности, с:	
при розжиге	не более 60
при нарушении тяги в дымоходе	от 10 до 60
при погасании пламени запальной горелки	не более 60
Диапазон регулирования температуры воды в теплообменнике, °С	50-90
КПД, %	80
Масса, кг	100

Таблица П2.20

**Технические характеристики водонагревателя АГВ**

Показатели	Марка водонагревателя	
	АГВ-80	АГВ-120
Высота прибора, мм	1540	1600
Наружный диаметр, мм	410	460
Объем бака, л	80	120
Температура горячей воды, °С	До 95	До 95
Тепловая нагрузка, Вт	7000	14000
КПД при непрерывной работе, %	75	75
Диаметр подводного газопровода, мм	15	18
Диаметр водопровода, мм	38	38
Масса прибора (без воды), кг	85	100

**Технические характеристики аппарата АДГ-25**

Тепловая нагрузка горелки, Вт: Основной Запальной	2900 не более 350
Габаритные размеры, мм	420×267×895
Расход воды при работе в режиме горячего водоснабжения, л/мин: При нагреве на 45 °С При нагреве на 25 °С	7,1 13
Давление воды перед аппаратом при работе в режиме горячего водоснабжения, кПа: Минимальное Номинальное максимальное	30 150 600
Потребляемая мощность, Вт	Не более 100
Напряжение, В	220
Диапазон регулирования температуры, °С, воды на выходе из аппарата: В режиме отопления В режиме горячего водоснабжения Воздух в помещении при работе в режиме отопления	40-35 20-65 10-30
КПД, %, в режиме: Отопления Горячего водоснабжения	Не менее 80 Не менее 75
Масса, кг	50

**Объем воды в элементах системы отопления**

Элемент системы отопления	Объём воды, л на 1000 Вт при перепаде температуры воды в системе, °С	
	95-70	130-70
Чугунные радиаторы высотой 500мм	8,5	6,5
Чугунные радиаторы высотой 1000мм	20	15
Греющие бетонные панели	1,7	1,3
Ребристые трубы	5,6	4,3
Пластинчатые калориферы	0,43	0,43
Трубопроводы систем с естественной циркуляцией	14	-
Трубопроводы систем с искусственной циркуляцией	6,9	5
Котлы чугунные секционные	2,6	-
Котлы стальные жаротрубные	25	-

## Диаметры труб расширительных баков

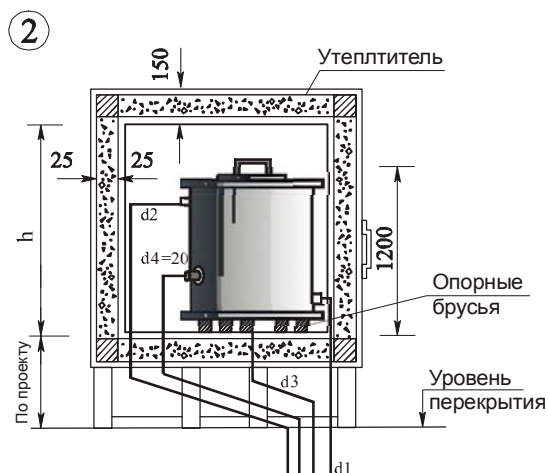
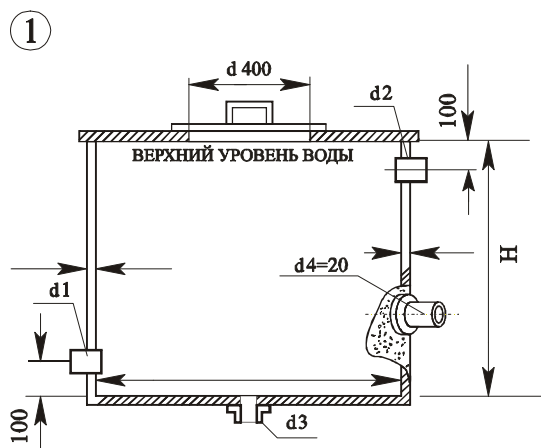
Объём расширительного бака	Диаметры труб, мм			
	соединительной	циркуляционной	сигнальной	переливной
До 150	25	20	20	32
150-400	25	20	20	40
Более 400	32	25	20	50

**СВАРНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РАСШИРИТЕЛЬНЫЕ БАКИ  
ИЗ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ТОЛЩИНОЙ 3 ММ**  
(по данным ГПИ Сантехпроект, рис. П2.2)

Марка бака	Емкость, л		Размеры бака, мм		Диаметр подводящих труб, мм			Масса, кг	Размеры будки, см	
	До переливной трубы	полезная	D	H	$d_1$	$d_2$	$d_3$		$l$	$h$
1E010	100	67	645	710	20	32	25	35,9	105	125
2E010	150	101	570					45,9	115	
3E010	200	134	660					55,3	125	
4E010	300	212	815			40	73,5	140		
5E010	400	283	940				88,5	155		
6E010	500	397	850	1000	25	50	32	97	145	155
7E010	600	476	930					107,2	155	
8E010	800	642	1080					130	170	
9E010	1000	799	1205					149,2	186	
10E010	1200	958	1320					169	190	
11E010	1500	1203	1480					198,2	210	
12E010	200	1680	1540	1200	25	50	32	235	215	176
13E010	2500	2090	1720					290	230	
14E010	3000	2520	1890					312	250	
15E010	3500	2940	2040					346	265	
16E010	4000	3360	2180					366	280	

**Примечание:**

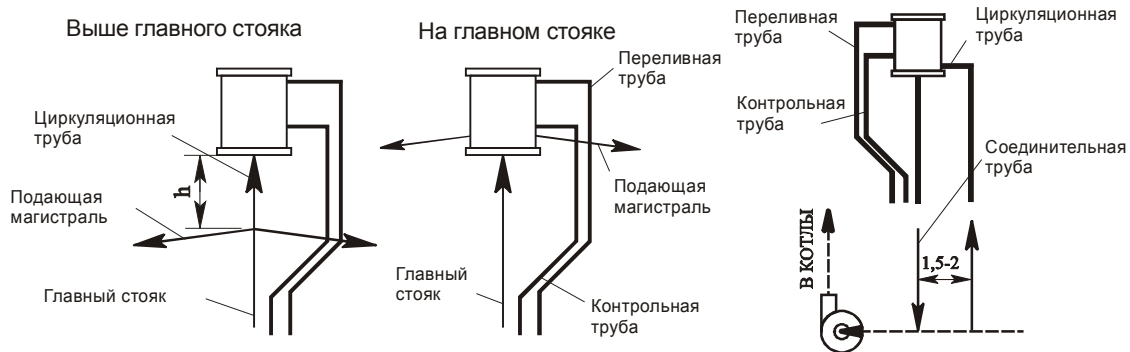
- Патрубки для присоединения труб к расширительному баку указаны при насосной циркуляции. В проточной схеме патрубки монтируют по проекту.
- Приняты следующие обозначения диаметров:  $d_1$  - циркуляционной трубы,  $d_2$  - переливной,  $d_3$  - соединительной,  $d_4$  - контрольной (сигнальной).



3

При естественной циркуляции

При насосной циркуляции



4

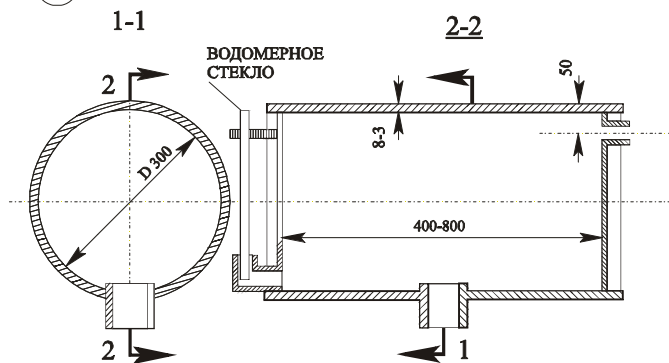


Рис. П2.2 1 - цилиндрический бак ;  
 2 - установка баков в утепленной будке;  
 3 - схема присоединения к трубопроводам систем отопления;  
 4 - расширительный бак с водомерным стеклом.

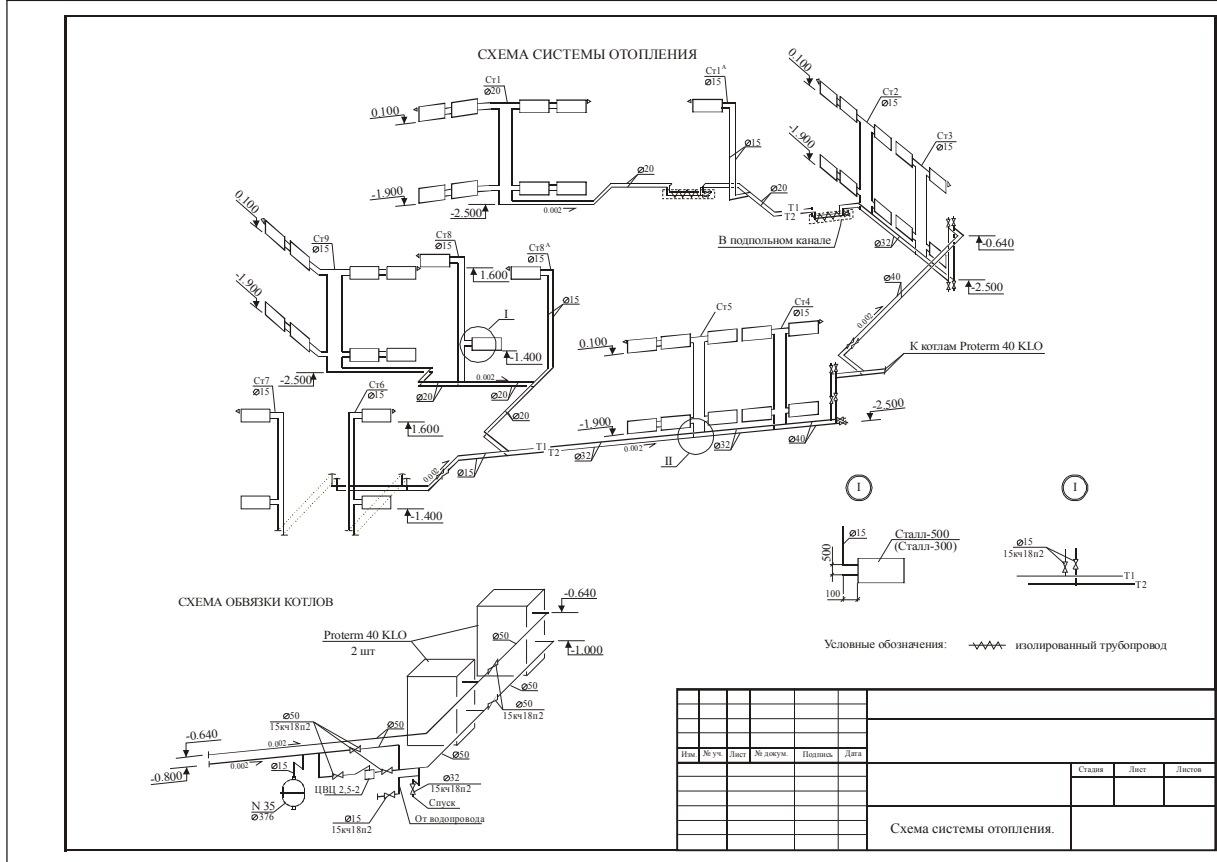
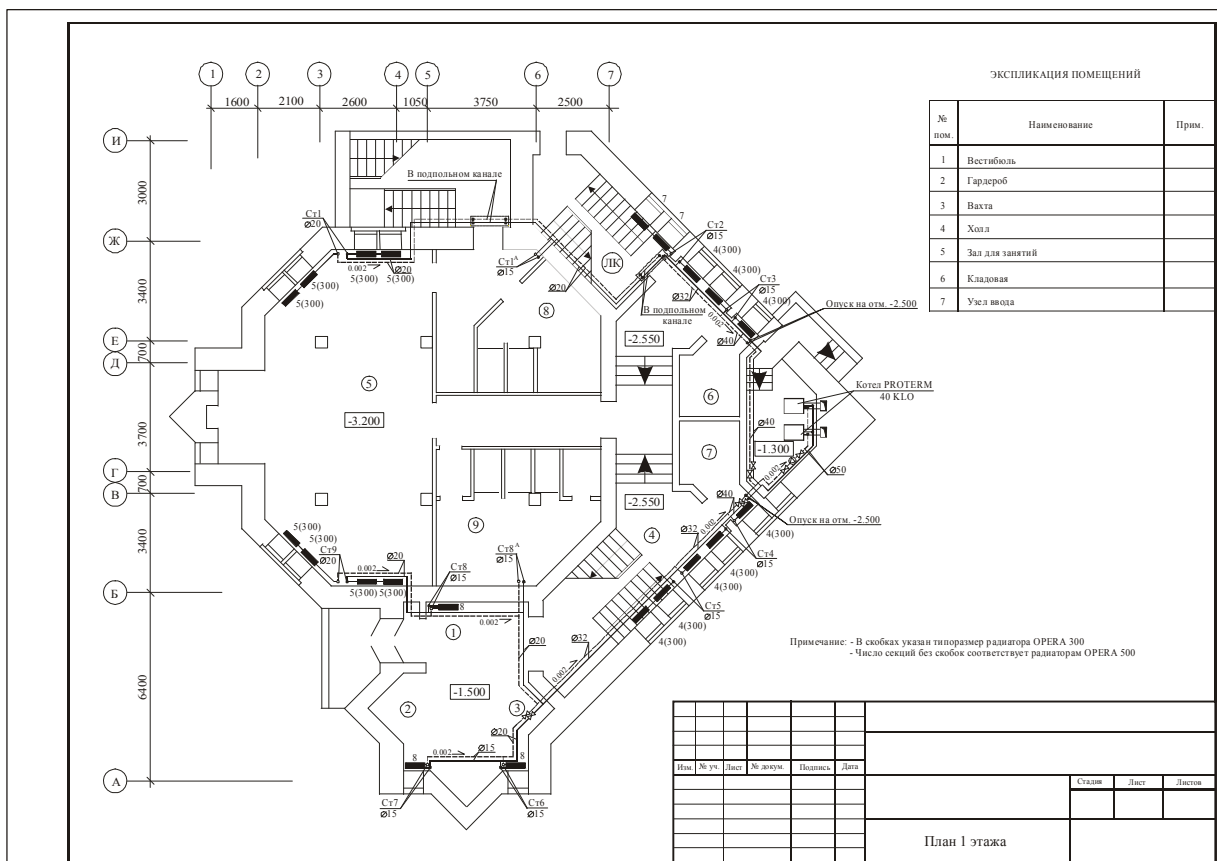
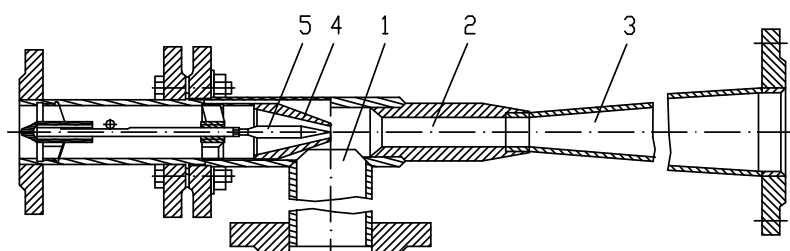


Рис. П2.3 Пример оформления чертежей элементов индивидуальной системы отопления отдельно стоящего здания с двумя газовыми котлами PROTORM (Чехия)

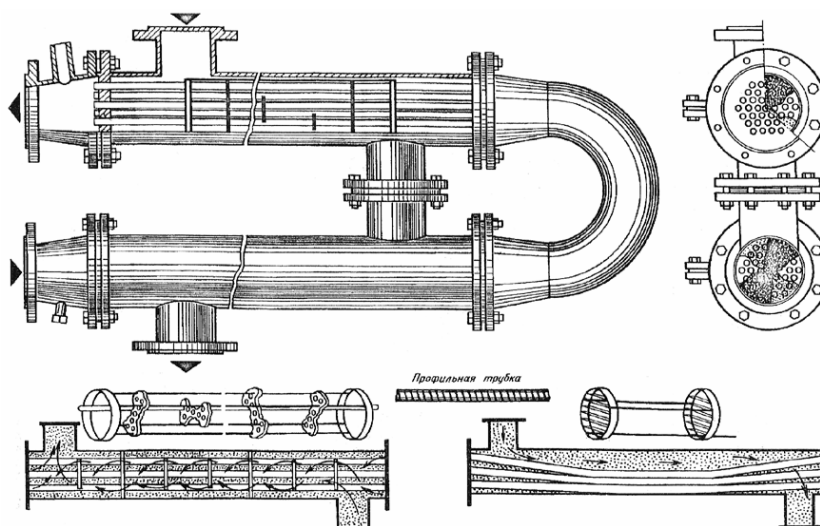


**Рис. ПЗ.1. Элеватор с регулируемым соплом:** 1 - всасывающий патрубок; 2 - камера смешения; 3 - диффузор; 4 - сопло; 5 - регулирующий орган – игла

Таблица ПЗ.1

**Основные размеры элеватора конструкции ВТИ - Теплосеть Мосэнерго**

Номер элеватора	Диаметр камеры смешения $d$ , мм	Размеры, мм					
		$L$	$A$	$B$	$d_1$	$d_2$	$d_3$
1	15	425	90	110	37	51	51
2	20	425	90	110	37	51	51
3	25	625	135	155	49	70	70
4	30	625	135	155	49	70	70
5	35	625	135	155	49	70	100
6	47	720	180	175	80	100	100
7	59	720	180	175	80	100	100



*Схема движения теплоносителя в межтрубном пространстве подогревателя с опорами-турбулизаторами*

*Существующий подогреватель после 6 лет эксплуатации с опорами в виде полок*

**Рис. ПЗ.2 Общий вид горизонтального секционного кожухотрубного водоподогревателя с опорами-турбулизаторами**



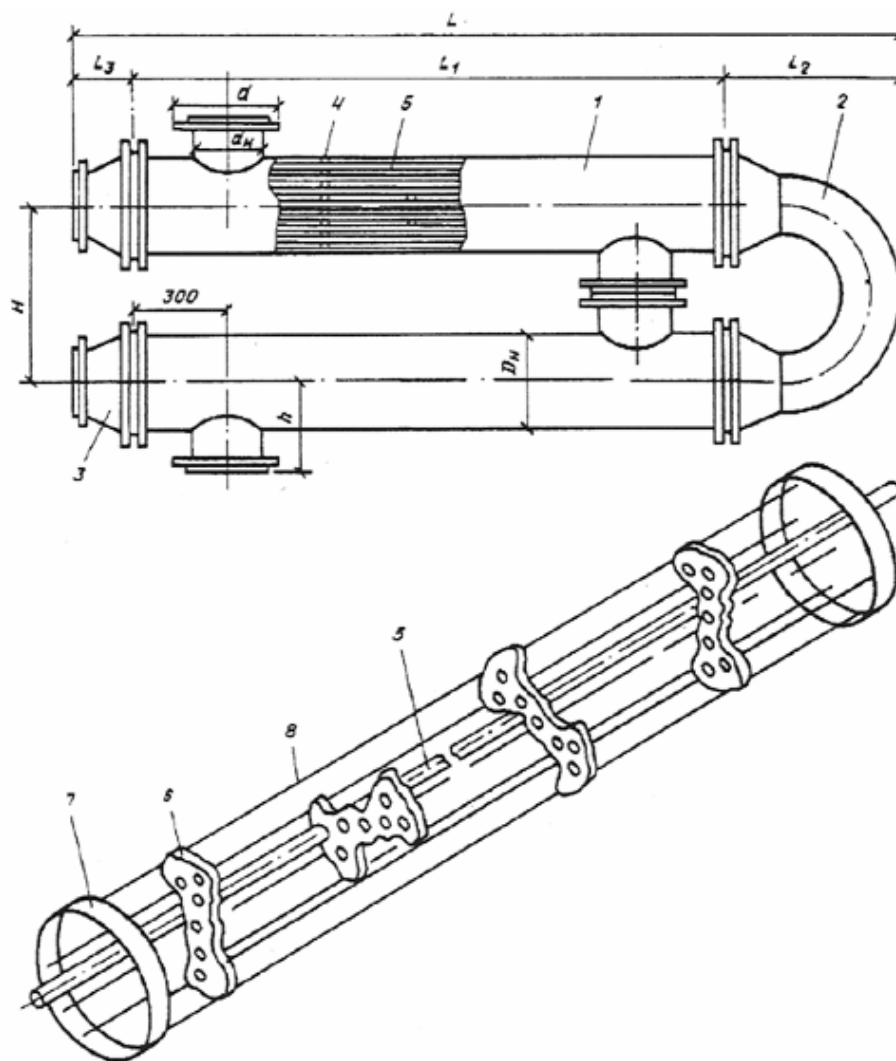


Рис. ПЗ.3 Конструктивные размеры кожухотрубного скоростного водоподогревателя

1 - секция; 2 - калач; 3 - переход; 4 - блок опорных перегородок; 5 - трубки;  
6 - перегородка опорная; 7 - кольцо; 8 - пруток.

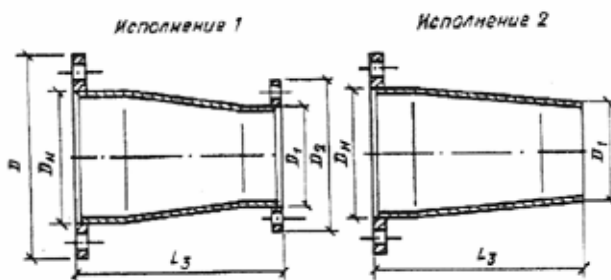


Рис. ПЗ.4 Калач соединительный

Рис. ПЗ.5 Переход

Таблица П3.2

## Технические характеристики водоподогревателей по ГОСТ 27590

Наружный диаметр корпуса секции $D_n$ , мм	Число трубок в секции $n$ , шт.	Площадь сечений межтрубного пространства $f_{мтр}$ , м <sup>2</sup>	Площадь сечения трубок $f_{тр}$ , м <sup>2</sup>	Эквивалентный диаметр межтрубного пространства $d_{экр}$ , м	Поверхность нагрева одной секции $f_{сек}$ , м <sup>2</sup> , при длине, м		Тепловая производительность, $Q_{сек}^{sp}$ , кВт, секции длиной, м				Масса, кг					
							Система из труб				секции длиной, м		калача, исполнение		перехода	
							гладких (исполнение 1)		профилированных (исполнение 2)							
							2	4	2	4	2	4	2	4	1	3
57	4	0,00116	0,00062	0,0129	0,37	0,75	8	18	10	23	23,5	37,0	8,6	7,9	5,5	3,8
76	7	0,00233	0,00108	0,0164	0,65	1,32	12	25	15	35	32,5	52,4	10,9	10,4	6,8	4,7
89	10	0,00327	0,00154	0,0172	0,93	1,88	18	40	20	50	40,0	64,2	13,2	12,0	8,2	5,4
114	19	0,005	0,00293	0,0155	1,79	3,58	40	85	50	110	58,0	97,1	17,7	17,2	10,5	7,3
168	37	0,0122	0,00570	0,019	3,49	6,98	70	145	90	195	113,0	193,8	32,8	32,8	17,4	13,4
219	61	0,02139	0,00939	0,0224	5,75	11,51	114	235	150	315	173,0	301,3	54,3	52,7	26,0	19,3
273	109	0,03077	0,01679	0,0191	10,28	20,56	235	475	315	635	262,0	461,7	81,4	90,4	35,0	26,6
325	151	0,04464	0,02325	0,0208	14,24	28,49	300	630	400	840	338,0	594,4	97,3	113,0	43,0	34,5

**Примечания**

1 Наружный диаметр трубок 16 мм, внутренний — 14 мм.

2 Тепловая производительность определена при скорости воды внутри трубок 1 м/с, равенстве расходов теплообменивающихся сред и температурном напоре 10 °С (температурный перепад по греющей воде 70—15 °С, нагреваемой — 5—60 °С).

3 Гидравлическое сопротивление в трубах не более 0,004 МПа для гладкой трубки и 0,008 МПа — для профилированной при длине секции 2 м и соответственно не более 0,006 МПа и 0,014 МПа при длине секции 4 м; в межтрубном пространстве гидравлическое сопротивление равно 0,007 МПа при длине секции 2 м и 0,009 МПа при длине секции 4 м.

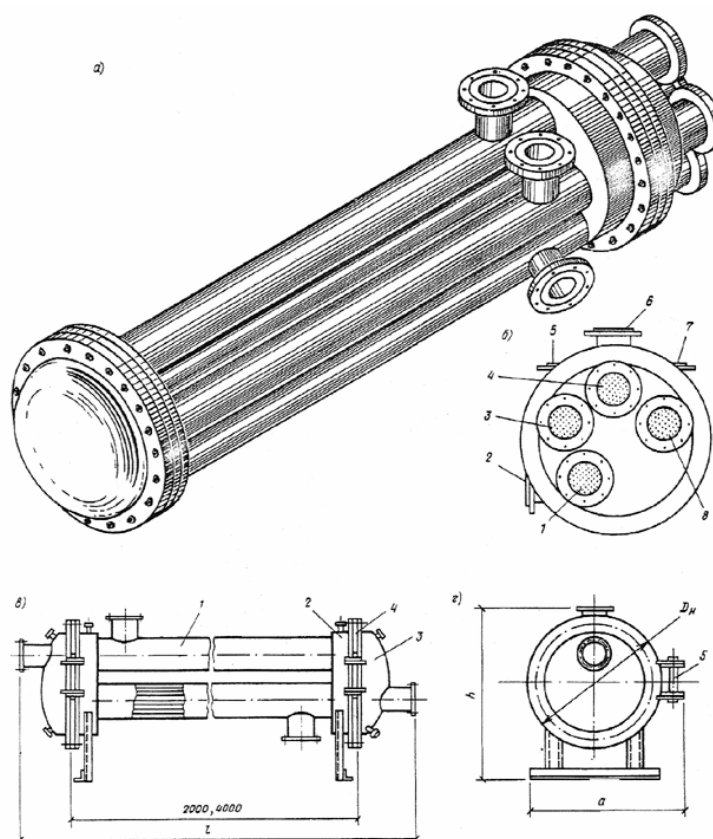
4 Масса определена при рабочем давлении 1 МПа.

5 Тепловая производительность дана для сравнения с подогревателями других типоразмеров или типов.

Таблица П3.3

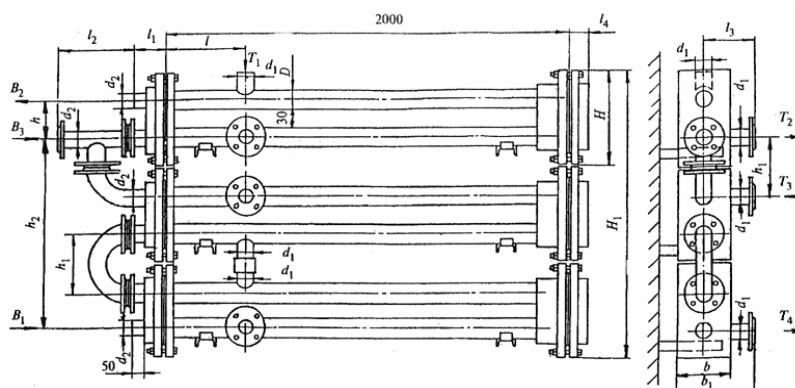
## Номинальные габариты и присоединительные размеры водоподогревателей, мм

Наружный диаметр корпуса секции $D_H$ , мм	$D$	$D_1$	$D_2$	$d$	$d_H$	$H$	$h$	$L$	$L_1$	$L_2$		$L_3$ по рис. 4
										исполнение по рис. 3		
										1	3	
57	160	45	145	145	45	200	100	2225;4225	2000; 4000	133	146	70
76	180	57	160	160	57	200	100	2265;4265		143	178	80
89	195	76	180	180	76	240	120	2320;4320		170	217	85
114	215	89	195	195	89	300	150	2350;4350		210	250	90
168	280	114	215	245	133	400	200	2490;4490		310	340	140
219	325	168	280	280	168	500	250	2610;4610		415	450	150
273	390	219	335	335	219	600	300	2800;4800		512	600	190
325	440	219	335	390	273	600	300	2800;4800		600	600	190



**Рис. ПЗ.6 Общий вид горизонтального многоходового кожухотрубного водоподогревателя**

*a* - общий вид; *б* - разрез по секциям; 1 - вход холодной воды - I ступень; 2 - выход теплоносителя - I ступень; 3 - выход горячей воды - I ступень; 4 - выход горячей воды - II ступень; 5 - вход теплоносителя - I ступень; 6 - выход теплоносителя - II ступень; 7 - выход теплоносителя - II ступень; 8 - вход холодной воды - II ступень, *в*, *г* - конструктивные размеры: 1 - секции; 2 - соединительная камера межтрубного пространства; 3 - то же, трубного; 4 - трубная доска; 5 - шарнир;



**Рис. ПЗ.7 Водоподогреватель блочного типа по ТУ 400-28-132-90**

$B_1$  — холодная вода;  $B_2$  — горячая вода;  $B_3$  — циркуляционная линия горячего водоснабжения;  $T_1$  — подающая теплосети;  $T_2$  — выход греющей воды из II ступени;  $T_3$  — вход греющей воды в I ступень;  $T_4$  — обратная теплосети

Таблица ПЗ.4

## Техническая характеристика пластин

Показатель	Тип пластины		
	0,3р	0,6р	05Пр
Габариты (длина × ширина × толщина), мм	1370x300x1	1375x600x1	1380x650x1
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	0,3	0,6	0,5
Вес (масса), кг	3,2	5,8	6,0
Эквивалентный диаметр канала, м	0,008	0,0083	0,009
Площадь поперечного сечения канала, м <sup>2</sup>	0,0011	0,00245	0,00285
Смачиваемый периметр в поперечном сечении канала, м	0,66	1,188	1,27
Ширина канала, мм	150	545	570
Зазор для прохода рабочей среды в канале, мм	4	4,5	5
Приведенная длина канала, м	1,12	1,01	0,8
Площадь поперечного сечения коллектора (угловое отверстие на пластине), м <sup>2</sup>	0,0045	0,0243	0,0283
Наибольший диаметр условного прохода присоединяемого штуцера, мм	65(80)	200	200
Коэффициент общего гидравлического сопротивления	$\frac{19,3}{Re^{0,25}}$	$\frac{15}{Re^{0,25}}$	$\frac{15}{Re^{0,25}}$
Коэффициент гидравлического сопротивления штуцера $\xi$	1,5	1,5	1,5
Коэффициенты:	<i>A</i>	0,368	0,492
	<i>B</i>	4,5	3,0

Таблица ПЗ.5

## Техническая характеристика и основные параметры пластинчатых теплообменных аппаратов

Показатель	Тип пластины		
	0,3р	0,6р	0,5Пр
Тип аппарата	Разборный		Полуразборный
Расход теплоносителя (не более), м <sup>3</sup> /ч	50	200	200
Номинальная площадь поверхности теплообмена аппарата, м <sup>2</sup> , и исполнение на раме:			
консольной (исполнение 1)	От 3 до 10	От 10 до 25	—
двухопорной (исполнение 2)	От 12,5 до 25	От 31,5 до 160	От 31,5 до 140
трехопорной с промежуточной плитой (исполнение 3)	—	От 200 до 300	От 160 до 320
Расчетное давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1(10)	1(10)	1,6(16) ; 2,5(25)
Габарит теплообменников, мм	650x400x1665	650x750x1800	2570x650x1860 (3500)

Таблица ПЗ.6

## Характеристики прокладок для пластин

Условное обозначение прокладок	Марка материала и технические условия	Каучуковая основа	Температура рабочей среды, °С
0	Резина 359 (ТУ 38-1051023-89)	СКМС-30 и АРКМ-15 (бутадиенметилстирольный каучук)	От -20 до +80
1	Резина 4326-Г (ТУ-38-1051023-89)	СКН-18 (бутадиеннитрильный каучук)	От -30 до +100
2	Резина 51-3042 (ТУ 38-1051023-89)	СКЭПТ (этиленпропилендиеновый каучук)	До 150
3	Резина 51-1481 (ТУ 38-1051023-89)	СКЭП (этиленпропилендиеновый каучук)	До 150
4	Резина ИРП-1225 (ТУ 38-1051023-89)	СКФ-32 и ИСКФ-26 (фторированный каучук)	От -30 до +200

**Технические характеристики пластинчатых теплообменников  
фирмы «Альфа-Лаваль» для теплоснабжения**

Показатель	Неразборные паяные			Разборные с резиновыми прокладками			
	CB-51	CB-76	CB-300	M3-XFG	M6-MFG	M10-BFG	M15-BFG8
Поверхность нагрева пластины, м <sup>2</sup>	0,05	0,1	0,3	0,032	0,14	0,24	0,62
Габариты пластины, мм	50x520	92x617	365x990	140x400	247x747	460x981	650x1885
Минимальная толщина пластины, мм	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Масса пластины, кг	0,17	0,44	1,26	0,24	0,8	1,35	29,5
Объем воды в канале, л	0,047	0,125	0,65	0,09	0,43	1,0	1,55
Максимальное число пластин в установке, шт.	60	150	200	95	250	275	700
Рабочее давление, МПа	3,0	3,0	2,5	1,6	1,6	1,6	1,6
Максимальная температура, °С	225	225	225	130	160	150	150
Габариты установки, мм:							
ширина	103	192	466	180	320	470	650
высота	520	617	1263	480	920	981	1885
длина, не более	286	497	739	500	1430	2310	3270
«      » менее	58	120	—	240	580	710	1170
Диаметр патрубков, мм	24	50	65/100	43	60	100	140
Стандартное число пластин	10, 20, 30, 40, 50, 60, 80	20,30,40, 50,60,70, 80, 90, 100, 110,120,13 0140, 150					
Масса установки, кг, при числе пластин:							
минимальном	5,2	15,8	—	38	146	307	1089
максимальном	15,4	73,0	309	59	330	645	3090
Максимальный расход жидкости, м <sup>3</sup> /ч	8,1	39	60/140	10	54	180	288
Потери давления при максимальном расходе, кПа	150	150	150	150	150	150	150
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> · °С), при стандартных условиях	7700	7890	7545	6615	5950	5935	6810
Тепловая мощность, кВт, при стандартных условиях	515	2490	8940	290	3360	11480	18360
<b>Примечания:</b>							
1. Стандартные условия — максимальный расход жидкости, параметры греющего теплоносителя 70—15 °С, нагреваемого — 5—60 °С.							
2. Номенклатура теплообменников «Альфа-Лаваль» не ограничена типами аппаратов, приведенных в таблице.							
3. Материал пластин — нержавеющая сталь AISI 316, материал прокладок—EPDM.							

**Технические характеристики паяных пластинчатых теплообменников «Цетепак»  
производства компании «Цетатерм»**

Показатель	CP410	CP415	CP422	CP422-2V*	CP500	CP500-2V*
Поверхность нагрева пластины, м <sup>2</sup>	0,025	0,05	0,095		0,28	
Габариты пластины $h \times a$ , мм	311x112	520x103	617x192		950x364	
Минимальная толщина пластины, мм	0,4	0,4	0,4		0,4	
Масса пластины, кг	0,1	0,17	0,35		1,26	
Объем воды в канале, л	0,05	0,094	0,21		0,52/0,7	
Максимальное число пластин в установке, шт.	150	80	150		200	
Рабочее давление, МПа	2,5	2,5	2,5		2,5/1,6	
Максимальная температура, °С	225	225	225		225	
Основные размеры теплообменника в изоляции $h \times a \times l$ , мм	360x182x320	590x182x260	670x284x508		1200x450x818	
Диаметр патрубков, мм	25	25	50		65/100	
Масса теплообменника, кг, при числе пластин:						
минимальном **	—	—	20		69,6	
максимальном	—	—	75		246	
Максимальный расход нагреваемой воды при потере давления 100 кПа, м <sup>3</sup> /ч	20	12	62	26	340	165
Коэффициент теплопередачи при стандартных условиях ***, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	2420	—	—	3090	—	1700
Тепловая мощность при стандартных условиях, кВт	95 (CP410-150-2V)	—	—	440 (CP422-150-2V)	—	2000 (CP500-200-2V)
Максимальная тепловая мощность, кВт, при параметрах теплоносителя 150—76/165—70 °С	300	250	1200	800	4000	2500
<p>* Теплообменники этой модели предназначены для ГВС с двухступенчатым подогревом воды в одном корпусе.</p> <p>** Число пластин подбирается с шагом 10 пластин при минимальном числе 10 пластин.</p> <p>*** Стандартные условия — максимальный расход жидкости, параметры греющего теплоносителя 70—15 °С, нагреваемого — 5—60 °С.</p> <p><b>Примечания:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теплообменники поставляются в комплекте с изоляцией.</li> <li>2. Числа через дробь означают параметры для первичного и вторичного теплоносителей.</li> <li>3. Материал пластин— AISI 316.</li> </ol>						

**Технические характеристики пластинчатых теплообменников фирмы «APV»  
для теплоснабжения**

Показатель	Неразборные паяные			Разборные с резиновыми прокладками				
	BD4	BD7	BF2	N25	N35	N50	N60	N92
Поверхность нагрева пластины, м <sup>2</sup>	0,04	0,07	0,14	0,25	0,35	0,5	0,6	0,92
Габариты пластины, мм	290x 120	525x 120	574x 235	924x 368	1200x 368	1614x 368	1188x 740	1563x 740
Минимальная толщина пластины, мм	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Масса пластины, кг	0,14	0,26	0,42	1,3	1,79	2,45	3,08	4,22
Объем воды в канале, л	0,03	0,052	0,133	0,7	0,95	1,3	2,05	2,77
Рабочее давление, МПа	3,0	3,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Максимальная температура, °С	220	220	220	150	150	150	150	150
Диаметр патрубков, мм	25	25	65	80	80	80	200	200
Максимальное число пластин в установке, шт.	93	93	123	39/83*	39/83*	39/83*	91/151*	91/151*
Габариты установки, мм:								
<i>h</i> × <i>a</i>	290x 120	525x 120	574x 235	1249x 450	1525x 450	1939x 450	1560x 886	1935x 906
длина, не более	246	246	315	570 (10/2)	570 (10/2)	570 (10/2)	1340 (10/2)	1340 (10/2)
«   » менее	48	48	48	370 (10/1)	370 (10/1)	370 (10/1)	1090 (10/1)	1090 (10/1)
Стандартное число пластин в установке	7, 11, 17, 25, 33, 43, 63, 93	7, 11, 17, 25, 33, 43, 63, 93	7, 11, 17, 25, 33, 43, 63, 93, 123	—	—	—	—	—
Масса установки, кг :								
не более	14,4	26,2	58,4	310	410	460	1755	2270
не менее	2,4	4,0	10,5	210	300	380	1330	1700

\* Перед чертой — для рамы 10/1, за чертой — 10/2.

**Примечания:**

1. Материал пластин неразборных — AISI 316, разборных AISI 304, материал прокладок разборных — EPDM.
2. Номенклатура теплообменников "APV" не ограничивается типами аппаратов, приведенных в таблице.

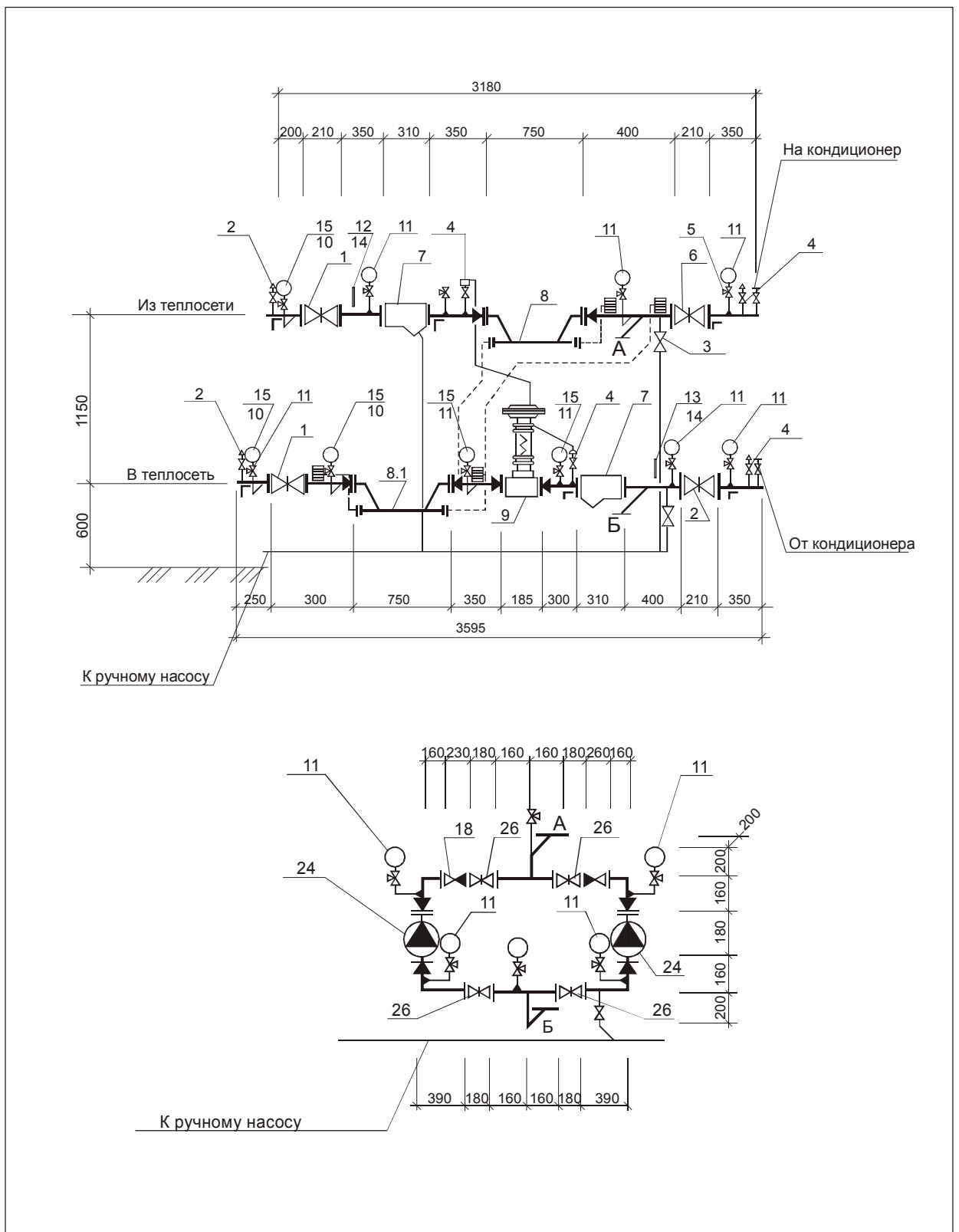


Рис. ПЗ.6 Монтажная схема автоматизированного узла управления



Спецификация на узел управления

Марка Поз.	Обозначение	Наименование	Кол	Масса ед., кг	Примеч
15	ЗК4-2.75.00-90	Отборное устр-во давл. (установка 4) горизонт.	11	0.89	шт
14		Оправа защитная для технического термометра L <sub>A.ч.</sub> =60 ??	2		шт
13	ТУ 25.2021.010-89	Термометр ТТП4-1-160-65	3		шт
12	ТУ 25.2021.010-89	Термометр ТТП5-1-160-65	3		шт
11	ГОСТ 2405-88	Манометр МП4-У(0-10кгс/м <sup>2</sup> )	20		шт
10	ГОСТ 2405-88	Манометр МП4-У(0-16кгс/м )	4		шт
9	IVD - IVF (065-7284)-(065-7250)	Регулятор перепада дав- ления Ø50	1	13.4	компл.
8.1	DN32.02-1-1-0-0-2	Тепломер ультразвуковой "СОНОКАЛ"№32 с интег- ратором "Мультикал 11" с погружными датчиками температуры	1		шт
8	DN32.02-1-1-0-0-2	Тепломер ультразвуковой "СОНОКАЛ"№32 с интег- ратором "Мультикал 11" с погружными датчиками температуры	1		шт
8		Фильтр "SOCLA" Ø80	1	17	шт
6	30ч6бр	Задвижка Ø80	2	20	шт
5	11б18бх	Кран 3-х ходовой натяж- ной муфтовый с контро- льн. фланцем для маном	27	0.52	шт
4	V665	То же Ø15	5		шт
3	V665	Шаровой клапан Ø25	2		шт
2	15с27нж1м	Вентиль фланцевый Ø15	2		шт
1	30с41нж1	Задвижка 80	2	35	шт

Спецификация на узел управления (окончание)

Марка Поз.	Обозначение	Наименование	Кол	Масса ед., кг	Примеч
33		То же $\varnothing 32 \times 2.5$	11	4.44	м
32		То же $\varnothing 57 \times 3$	5	4.4	м
31	ГОСТ 10704-91	Труба стальная электро-	5.2	9.38	
		сварная $\varnothing 89 \times 3.5$			м
28	ЗК4-3-87	Установка расширителя	2	4.06	шт
		с бобышкой L=300 мм			
27		Фильтр "SOCLA" $\varnothing 50$	2	1.29	шт
26	3045бр	Задвижка $\varnothing 50$	4	18	шт
25	ЗК4-2.75.00-90	Отборное устр-во давлени-	11	0.89	шт
		я (установка 3) вертика.			
24	UPE 25-80 SERIE 2000	Циркуляционный насос	2		компл.
		PN10 "GRUNDFOSS"			
		G=1.77 м <sup>3</sup> /ч, H=1.8 м			
23	AMV-123(082G1042)	Электрический привод	2		компл.
		с редуктором (230-240В)			
22	VF-2 (06580040)	Клапан регулирующий	2		компл.
		фланцевый DN( $\varnothing 40$ )(Kvs=25)			
21	ESMU (084 N 100 B)	Датчик температуры	4		шт
		воды погружной L=100мм			
20	ESMT (084 N 1012 )	Датчик температуры	2		шт
		наружного воздуха			
19	EU 9300	регулятор погодной ком-	2		компл.
		пенсации с дисплеем и			
		таймером			
18	16 кч 9 п	Клапан обратный $\varnothing 50$	2	11.2	шт
17		Фильтр "SOCLA" $\varnothing 50$	2	1.29	шт
16		Кронштейн под узел	6	4.6	компл.
		L50x50x5 L=1200 мм			

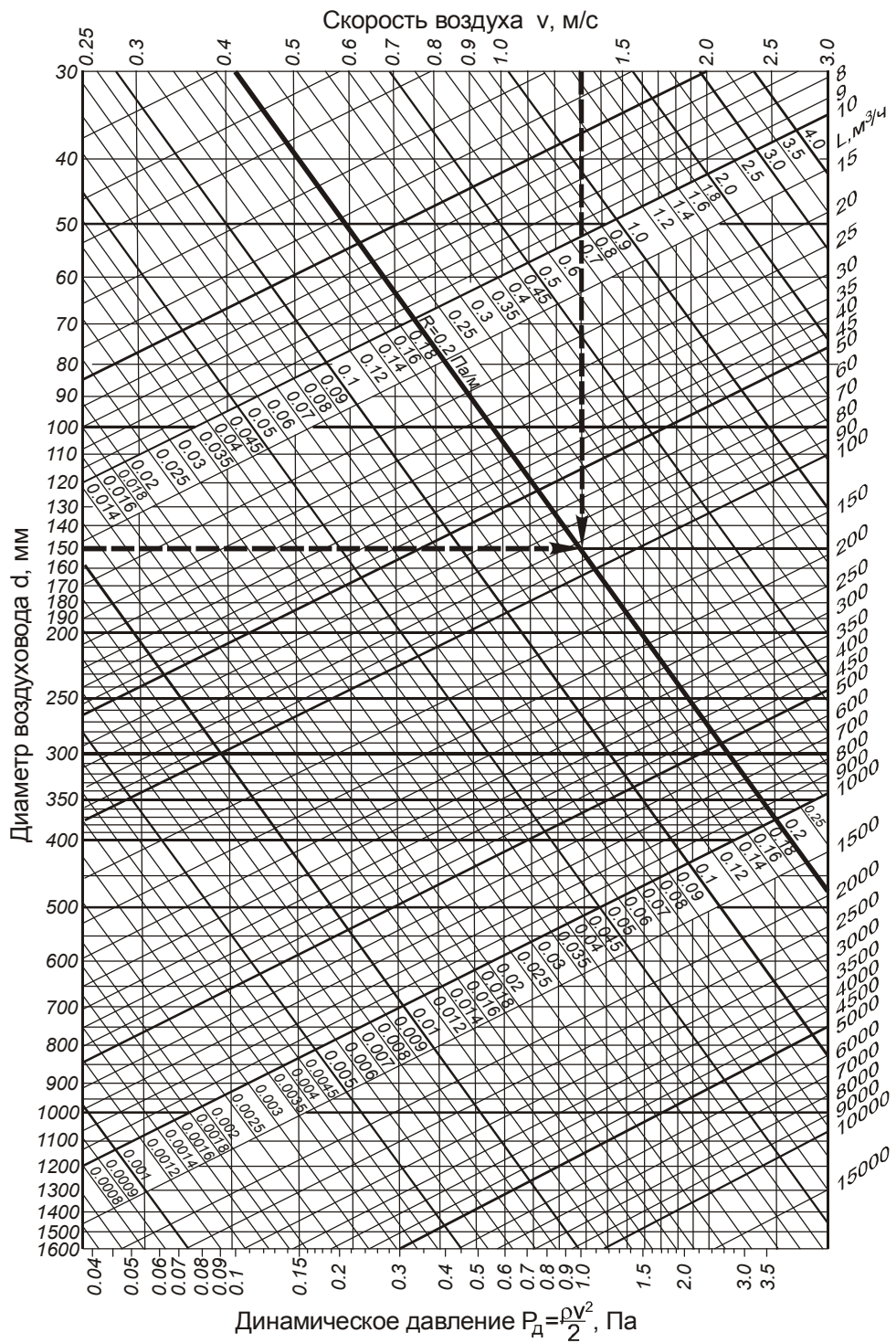


Рис. П4.1 Номограмма для расчета круглых металлических воздуховодов

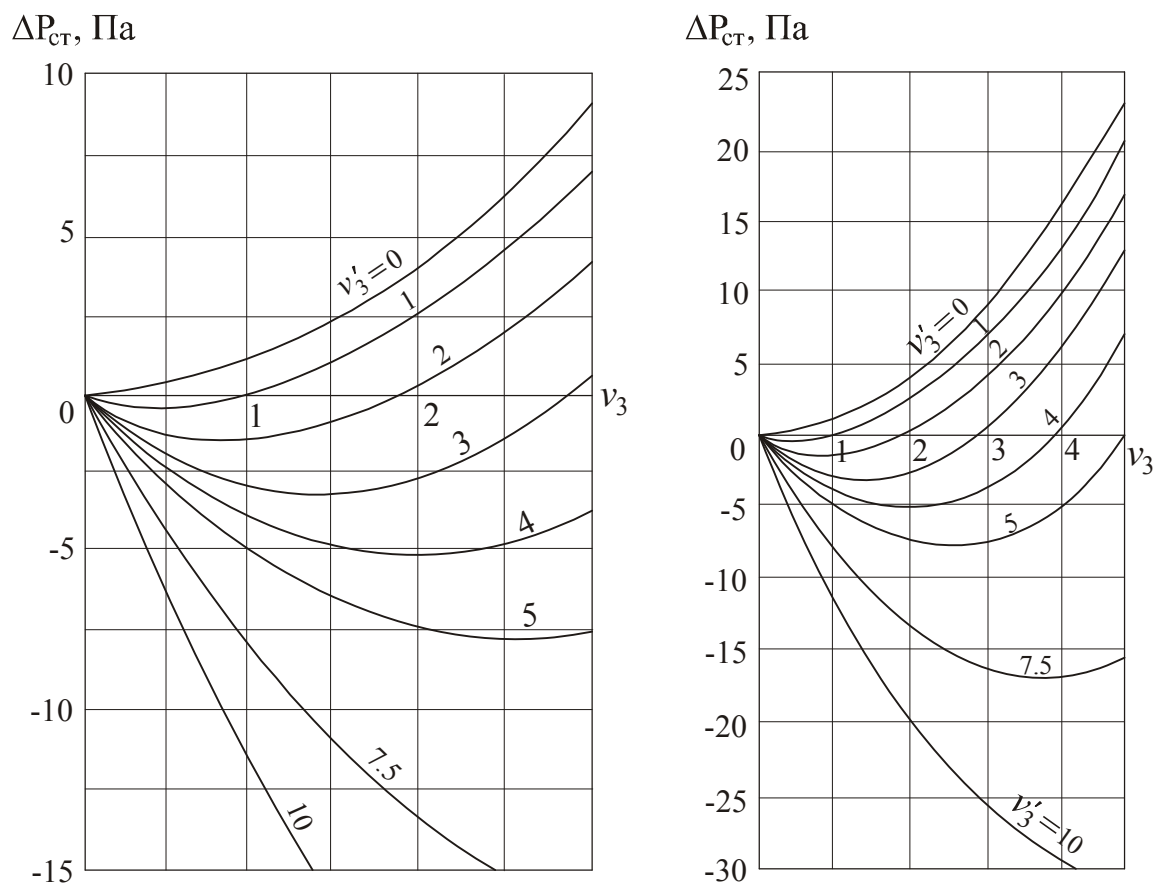


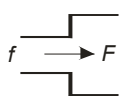
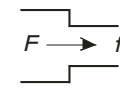
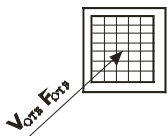
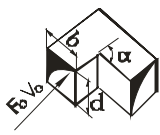
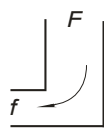

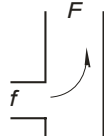
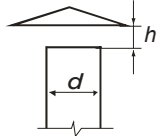
Рис. П4.2 Номограмма для определения потерь статического давления в тройниках

Таблица П4.1

**Значения коэффициентов шероховатости стенок каналов  $\beta$**

Скорость движения воздуха, м/с	Материал воздуховода			
	Шлакогипс	Шлакобетон	Кирпич	Штукатурка по сетке
0,4	1,08	1,11	1,25	1,48
0,8	1,13	1,19	1,40	1,69
1,2	1,18	1,25	1,50	1,84

Значения коэффициентов местных сопротивлений элементов вентсистем

№	Эскиз	$\zeta$																						
1		<p>Внезапное расширение</p> $\zeta = \left(1 - \frac{f}{F}\right)^2$																						
2		<p>Внезапное расширение</p> $\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{f}{F}\right)$																						
3		<p>Решетки, сетки, перфорация, отверстия с параллельными направляющими лопатками</p> $\zeta = 1.8$																						
4		<p>Колено квадратное с острыми кромками</p> <table border="1"> <tr> <td><math>\alpha^\circ</math></td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0.16</td> <td>0.32</td> <td>0.56</td> <td>1.2</td> </tr> </table> <p>Для прямоугольных сечений умножать на коэффициент С</p> <table border="1"> <tr> <td><math>b/d</math></td> <td>0.25</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>С</td> <td>1.1</td> <td>1.07</td> <td>1</td> <td>0.95</td> <td>0.9</td> </tr> </table>	$\alpha^\circ$	30	45	60	90	$\zeta$	0.16	0.32	0.56	1.2	$b/d$	0.25	0.5	1	1.5	2	С	1.1	1.07	1	0.95	0.9
$\alpha^\circ$	30	45	60	90																				
$\zeta$	0.16	0.32	0.56	1.2																				
$b/d$	0.25	0.5	1	1.5	2																			
С	1.1	1.07	1	0.95	0.9																			
5	<p>а</p>  <p>б</p>  <p>в</p> 	<p>Колено с изменением сечения</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td colspan="3"><math>f/F</math></td> </tr> <tr> <td><math>\zeta_a</math></td> <td>0.8</td> <td>0.7</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.3</td> <td>1.35</td> <td>1.45</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td><math>\zeta_б</math></td> <td>1.24</td> <td>1.29</td> <td>1.45</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td><math>\zeta_в</math></td> <td>1.36</td> <td>1.41</td> <td>1.59</td> </tr> </table>		$f/F$			$\zeta_a$	0.8	0.7	0.5		1.3	1.35	1.45	$\zeta_б$	1.24	1.29	1.45	$\zeta_в$	1.36	1.41	1.59		
	$f/F$																							
$\zeta_a$	0.8	0.7	0.5																					
	1.3	1.35	1.45																					
$\zeta_б$	1.24	1.29	1.45																					
$\zeta_в$	1.36	1.41	1.59																					
6		<p>Шахта с зонтом</p> <table border="1"> <tr> <td><math>h/d</math></td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>1.6</td> <td>1.3</td> <td>1.15</td> <td>1.1</td> <td>1.0</td> </tr> </table>	$h/d$	0.3	0.4	0.6	0.8	1	$\zeta$	1.6	1.3	1.15	1.1	1.0										
$h/d$	0.3	0.4	0.6	0.8	1																			
$\zeta$	1.6	1.3	1.15	1.1	1.0																			

Значения коэффициентов местных сопротивлений элементов вентсистем

№	Эскиз	$\zeta$																																																																																																															
7		<p>Диффузор и конфузор прямоугольного сечения</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>\frac{F_0}{F_1}</math></th> <th colspan="4"><math>\alpha^\circ</math></th> </tr> <tr> <th>14</th> <th>20</th> <th>28</th> <th>40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.2</td> <td>0.20</td> <td>0.31</td> <td>0.49</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>0.16</td> <td>0.24</td> <td>0.38</td> <td>0.53</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>0.09</td> <td>0.13</td> <td>0.20</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.07</td> <td>0.09</td> <td>0.14</td> <td>0.19</td> </tr> </tbody> </table>	$\frac{F_0}{F_1}$	$\alpha^\circ$				14	20	28	40	0.2	0.20	0.31	0.49	0.69	0.3	0.16	0.24	0.38	0.53	0.5	0.09	0.13	0.20	0.28	0.6	0.07	0.09	0.14	0.19																																																																																		
$\frac{F_0}{F_1}$	$\alpha^\circ$																																																																																																																
	14	20	28	40																																																																																																													
0.2	0.20	0.31	0.49	0.69																																																																																																													
0.3	0.16	0.24	0.38	0.53																																																																																																													
0.5	0.09	0.13	0.20	0.28																																																																																																													
0.6	0.07	0.09	0.14	0.19																																																																																																													
8		<p>Дефлектор (серия 1.494-32)</p> <p><math>\zeta=0.64</math></p>																																																																																																															
9		<p>Тройник прямой <math>90^\circ</math> вытяжной прямоугольного сечения</p> <p>Прямой проход</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>\frac{F_n}{F_c}</math></th> <th colspan="6"><math>L_n/L_c</math></th> </tr> <tr> <th>0.2</th> <th>0.4</th> <th>0.6</th> <th>0.7</th> <th>0.8</th> <th>0.9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.5</td> <td>1.5</td> <td>4.4</td> <td>8.4</td> <td>20.0</td> <td>82</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>1.1</td> <td>2.8</td> <td>5.2</td> <td>12.3</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.4</td> <td>0.8</td> <td>2.2</td> <td>4.1</td> <td>9.5</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.4</td> <td>0.7</td> <td>1.8</td> <td>3.3</td> <td>7.6</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.4</td> <td>0.7</td> <td>1.6</td> <td>2.8</td> <td>6.3</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> <p>Боковое ответвление</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>\frac{F_o}{F_n}</math></th> <th colspan="7"><math>L_o/L_c</math></th> </tr> <tr> <th>0.1</th> <th>0.2</th> <th>0.4</th> <th>0.5</th> <th>0.7</th> <th>0.9</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.3</td> <td>0.9</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>-1.7</td> <td>0.6</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>-9.4</td> <td>-0.6</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1.1</td> <td>1.1</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>-21</td> <td>-2.7</td> <td>0.9</td> <td>1.1</td> <td>1.2</td> <td>1.2</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>-37</td> <td>-5.5</td> <td>0.6</td> <td>1.1</td> <td>1.3</td> <td>1.2</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>-50</td> <td>-8.8</td> <td>0.3</td> <td>1</td> <td>1.3</td> <td>1.3</td> <td>1.3</td> </tr> </tbody> </table>	$\frac{F_n}{F_c}$	$L_n/L_c$						0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	0.1	0.5	1.5	4.4	8.4	20.0	82	0.4	0.4	1.1	2.8	5.2	12.3	51	0.6	0.4	0.8	2.2	4.1	9.5	39	0.8	0.4	0.7	1.8	3.3	7.6	31	1.0	0.4	0.7	1.6	2.8	6.3	25	$\frac{F_o}{F_n}$	$L_o/L_c$							0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1	0.1	0.3	0.9	1	1	1	1	1	0.2	-1.7	0.6	1	1	1	1	1	0.4	-9.4	-0.6	1	1	1.1	1.1	1.1	0.6	-21	-2.7	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2	0.8	-37	-5.5	0.6	1.1	1.3	1.2	1.2	0.8	-50	-8.8	0.3	1	1.3	1.3	1.3
$\frac{F_n}{F_c}$	$L_n/L_c$																																																																																																																
	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9																																																																																																											
0.1	0.5	1.5	4.4	8.4	20.0	82																																																																																																											
0.4	0.4	1.1	2.8	5.2	12.3	51																																																																																																											
0.6	0.4	0.8	2.2	4.1	9.5	39																																																																																																											
0.8	0.4	0.7	1.8	3.3	7.6	31																																																																																																											
1.0	0.4	0.7	1.6	2.8	6.3	25																																																																																																											
$\frac{F_o}{F_n}$	$L_o/L_c$																																																																																																																
	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1																																																																																																										
0.1	0.3	0.9	1	1	1	1	1																																																																																																										
0.2	-1.7	0.6	1	1	1	1	1																																																																																																										
0.4	-9.4	-0.6	1	1	1.1	1.1	1.1																																																																																																										
0.6	-21	-2.7	0.9	1.1	1.2	1.2	1.2																																																																																																										
0.8	-37	-5.5	0.6	1.1	1.3	1.2	1.2																																																																																																										
0.8	-50	-8.8	0.3	1	1.3	1.3	1.3																																																																																																										

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 57 с.
2. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1996. – 57 с.
3. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 57 с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
5. СНиП II-3-79\*. Строительная теплотехника.
6. СП 23-101-2001. Проектирование тепловой защиты зданий. / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2001. - 96 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1÷6, вып.1÷34. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1989-1998.
8. МГСН 2.01-99. Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. – Москва, 1999.
9. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление/ Под ред. И.Г. Старовойта и Ю.И.Шиллера. - М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
10. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. - 735 с.
11. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – М.: Минстрой России, 1997. – 79 с.
12. ТР АВОК-4-2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома.
13. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха/ Под ред. Павлова В.Н. – М.: Стройиздат, 1992.

Замалеев Зуфар Харисович  
Осипова Лилия Эдуардовна  
Валиуллин Мунир Абдуллович  
Сафиуллин Ринат Габдуллович

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ  
ПО ОТОПЛЕНИЮ И ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛОГО ДОМА**

Учебное пособие

Под общей редакцией В.Н.Посохина

Корректор В.В. Попова

Редакционно-издательский отдел

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подг. в печать

Заказ №

Формат 60×84/16

Бумага офсетная №1

Тираж 200 экз.

Усл. - печ. л. 11.0

Уч. – изд. л. 10.0

---

ПМО ГКАСУ

420043, Казань, Зеленая, 1