

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра
экономики, управления и техносферной безопасности

РАСЧЕТ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов 3 курса
направления подготовки 08.03.01 «Строительство»
очной и очно-заочной форм обучения

4-е издание, исправленное

КАРАБАЕВО
Костромская ГСХА
2024

УДК 621.184.64
ББК 31.38
Р 24

Составитель: к.т.н., доцент кафедры экономики, управления и техносферной безопасности Костромской ГСХА *М.А. Трофимов.*

Рецензент: к.т.н., руководитель центра дистанционного обучения Костромской ГСХА *А.А. Лобачев.*

*Рекомендовано к изданию
методической комиссией инженерно-технологического факультета,
протокол № 7 от 10 сентября 2024 года.*

Р 24 Расчет отопления и вентиляции здания : учебно-методическое пособие для студентов 3 курса направления подготовки 08.03.01 «Строительство» очной и очно-заочной форм обучения / М.А. Трофимов. — 4-е изд., испр. Караваево : Костромская ГСХА, 2024. — 55 с.

Издание содержит методику расчета систем отопления и вентиляции жилых, административных и производственных зданий. В приложениях даны схемы, табличные и графические справочные материалы, используемые в процессе курсового проектирования.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Теплогазоснабжение с основами теплотехники» и выполнению курсовой работы предназначено для студентов 3 курса направления подготовки 08.03.01 «Строительство». Может быть полезно специалистам, занимающимся проектированием, расчетом и эксплуатацией систем отопления и вентиляции зданий.

УДК 621.184.64
ББК 31.38

© ФГБОУ ВПО Костромская ГСХА, 2013
© ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, 2020, перераб.
© М.А. Трофимов, составление, 2020
© ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, 2024, испр.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие указания по выполнению курсовой работы	5
2. Методика расчета отопления.....	6
2.1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций здания	7
2.2. Определение потерь теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха.....	14
2.3. Расчет тепловых потерь помещениями и зданием	14
2.4. Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.....	16
2.5. Определение площади поверхности и числа элементов отопительных приборов	18
2.6. Гидравлический расчет теплопроводов	23
3. Методика расчета вентиляции.....	27
3.1. Расчет воздухообмена	27
3.2. Определение естественного давления.....	29
3.3. Расчет воздухопроводов	31
Список рекомендуемых источников.....	34
Приложения.....	35

ВВЕДЕНИЕ

При изучении курса «Теплогазоснабжение с основами теплотехники» студентами направления подготовки 08.03.01 «Строительство» в учебный план дисциплины включена курсовая работа, выполняемая с целью приобретения навыков в теплотехнических расчётах зданий и сооружений, а также с целью закрепления теоретических знаний в указанной области. Выполнение курсовой работы обеспечивает получение навыков в использовании справочной литературы, проведении теплотехнических расчетов, проектировании систем отопления и вентиляции объектов жилого, производственного и другого назначения.

Курсовая работа позволяет в процессе её выполнения анализировать возможности по энергосбережению в системах теплоснабжения, отопления и вентиляции, а также экологический аспект в их функционировании. В современных условиях специалисты, имеющие чёткие представления о способах рационального использования энергии при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов, несомненно, будут востребованы соответствующей отраслью производства.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа содержит расчет систем поддержания микроклимата в жилых или производственных зданиях.

Исходным материалом для выполнения работы служит индивидуальное задание, которое включает следующие сведения: назначение объекта и его месторасположение, краткая характеристика здания (размеры, объем, этажность), вид источника теплоснабжения и его характеристика.

Все расчеты сводятся в расчетно-пояснительную записку (формат листа А4).

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя:

- титульный лист;
- задание на проектирование, выданное руководителем;
- оглавление;
- введение;
- краткую характеристику объекта, где указывается ориентация фасада по отношению к сторонам света, дается краткая характеристика его ограждающих конструкций, определяется категория эксплуатационной влажности материалов ограждений, определяются расчетные условия: зимняя температура наружного воздуха; средняя температура и продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха $\leq +8^{\circ}\text{C}$; расчетная температура воздуха помещений;
- расчет отопления с соблюдением указанной последовательности;
- расчет вентиляции;
- список использованной литературы;
- чистый лист в конце записки для замечаний и заключения руководителя.

В записке необходимо представить иллюстрации, поясняющие расчеты.

Графическая часть курсовой работы состоит из одного листа формата А1. На чертеже вычерчиваются планы этажей здания с нанесением на них элементов систем отопления и вентиляции; выполняется аксонометрическая схема системы отопления и аксонометрическая схема вытяжной системы вентиляции.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОТОПЛЕНИЯ

Отоплением называется искусственное обогревание помещений здания с возмещением теплопотерь для поддержания в них температуры на заданном уровне, определяемом условиями теплового комфорта для находящихся людей или требованиями технологического процесса. При проектировании отопления должны учитываться требования по экономии энергетических ресурсов [1].

Целью расчета является определение мощности системы отопления $Q_{c.o}$:

$$Q_{c.o} = Q_{огр} + Q_u + Q_{mat} - Q_{проч}. \quad (2.1)$$

Согласно [2], отопление следует проектировать для обеспечения нормируемой температуры воздуха в помещениях, учитывая:

- а) потери теплоты через ограждающие конструкции $Q_{огр}$;
- б) расход теплоты на нагревание наружного воздуха Q_u , проникающего в помещения за счет инфильтрации или путем организованного притока через оконные клапаны, форточки, фрамуги и другие устройства для вентиляции помещений. В жилых зданиях с естественным притоком наружного воздуха объем инфильтрующегося воздуха следует принимать не менее необходимого для вентиляции квартиры;
- в) расход теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств Q_{mat} ;
- г) тепловой поток, регулярно поступающий от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, трубопроводов, людей и других источников $Q_{проч}$.

Для жилых зданий выражение (2.1) упрощается, так как учитываются только потери теплоты через ограждающие конструкции, расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха и бытовые теплопоступления:

$$Q_{c.o} = Q_{огр} + Q_u - Q_{быт}.$$

Тепловой поток $Q_{быт}$, поступающий в жилые комнаты и кухни жилых домов, следует принимать не менее 10 Вт на 1 м² пола помещения.

2.1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций здания

Потери теплоты $Q_{огр}$, Вт, помещениями через ограждающие конструкции, учитываемые при проектировании систем отопления, разделяются условно на основные и добавочные. Их следует определять, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции с округлением до 10 Вт, по формуле

$$Q_{огр} = \frac{F}{R_o} (t_в - t_n) (1 + \sum \beta) n = k F (t_в - t_n) (1 + \sum \beta) n, \quad (2.2)$$

где F — расчетная площадь ограждающей конструкции по наружному обмеру, м²;

R_o — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м²·К)/Вт;

$t_в$ — расчетная температура воздуха помещения, °С, принимается согласно [3] и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений;

t_n — расчетная зимняя температура наружного воздуха, принимается в соответствии с [4], равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 при расчете потерь теплоты через наружные ограждения*;

β — добавочные потери теплоты в долях от основных потерь (прил. 1);

n — коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, определяется по выражению 2.5;

k — коэффициент теплопередачи данной ограждающей конструкции, Вт/(м²·К).

*Примечание.** При расчете теплотерь через внутренние ограждения, например, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых, в формуле (2.2) в качестве t_n принимают температуру воздуха в неотапливаемом помещении. Теплообмен через ограждения между смежными отапливаемыми помещениями при расчете теплотерь не учитывается, если разность температур воздуха этих помещений менее 3°С.

2.1.1. Определение сопротивления теплопередаче R_o

Правильно выбранная конструкция ограждения и строго обоснованная величина его сопротивления теплопередаче обеспечивают требуемый микроклимат и экономичность здания.

Для наружного ограждения (наружные стены, чердачные перекрытия)

$$R_o = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^k R_i + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2.3)$$

где α_e — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, Вт/(м²·К) [5, табл. 4];

$\sum_{i=1}^k R_i = \sum_{i=1}^k \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ — сумма сопротивлений теплопроводности конструктивных слоев ограждения, (м²·К)/Вт;

δ_i — толщина i -го конструктивного слоя, м;

λ_i — коэффициент теплопроводности i -го конструктивного слоя с учетом его эксплуатационной влажности, Вт/(м·К) [5, прил. Т];

$i = 1, 2, \dots, k$ — количество конструктивных слоев в ограждении;

$\delta_{из}$ — толщина теплоизоляционного слоя, м;

$\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м·К);

α_n — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности [5, табл. 6].

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений отапливаемых зданий R_o должно быть не менее нормируемого сопротивления теплопередаче, $R_o \geq R_o^{норм}$.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_o^{норм}$, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле

$$R_o^{норм} = R_o^{mp} \cdot m_p, \quad (2.4)$$

где R_o^{mp} — базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт, принимается в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ($GCOП$), °С·сут/год, региона строительства и определяются по [5, табл. 3];

m_p — коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете по формуле (2.4) принимается равным 1. Допускается снижение значения коэффициента в случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания (см. раздел 2.4) выполняются требования к данной характеристике.

Для определения базового значения требуемого сопротивления теплопередаче R_o^{mp} , предварительно рассчитываются ГСОП:

$$ГСОП = (t_{в.ср} - t_{он})z_{он},$$

где $t_{в.ср}$ — расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для расчета ограждающих конструкций по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [3, табл. 1-3];

$t_{он}$ — средняя температура наружного воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха $\leq +8^\circ\text{C}$, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых $\leq +10^\circ\text{C}$ [4, табл.3.1];

$z_{он}$ — продолжительность периода, сут, со средней суточной температурой воздуха $\leq +8^\circ\text{C}$, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых $\leq +10^\circ\text{C}$. [4, табл.3.1].

Значения R_o^{mp} для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_o^{mp} = a \cdot ГСОП + b,$$

где a, b — коэффициенты, значения которых следует принимать по [5, табл. 3] для соответствующих групп зданий.

В случаях, когда средняя наружная или внутренняя температура для отдельных помещений отличается от принятых в расчете, базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций умножаются на коэффициент, который рассчитывается по формуле

$$n = \frac{t_{в}^* - t_{он}^*}{t_{в.ср} - t_{он}}, \quad (2.5)$$

где $t_{в}^*; t_{он}^*$ — средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, °С;

Таким образом, определив R_o^{mp} , толщину теплоизоляционного слоя можно рассчитать, используя выражение (2.3):

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left(R_o^{mp} - \frac{1}{\alpha_в} - \sum_{i=1}^k R_i - \frac{1}{\alpha_н} \right).$$

Полученное значение $\delta_{из}$ округляют в большую сторону, принимая фактическое значение толщины слоя изоляции, таким образом, общая

толщина наружных стен была кратна 0,05 м, а толщина кирпичной кладки — кратной половине кирпича. После этого по формуле (2.3) уточняют фактическое термическое сопротивление наружного ограждения.

Для окон, балконных дверей и фонарей

Нормируемое сопротивление теплопередаче R_o^{mp} светопрозрачных конструкций (окон, балконных дверей, фонарей) определяется по [5, табл. 3] и сравнивается с приведенным сопротивлением, принимаемым на основании сертификационных испытаний конструкций. При отсутствии результатов испытаний следует принимать значения по [6, табл. 11.3].

Для дверей

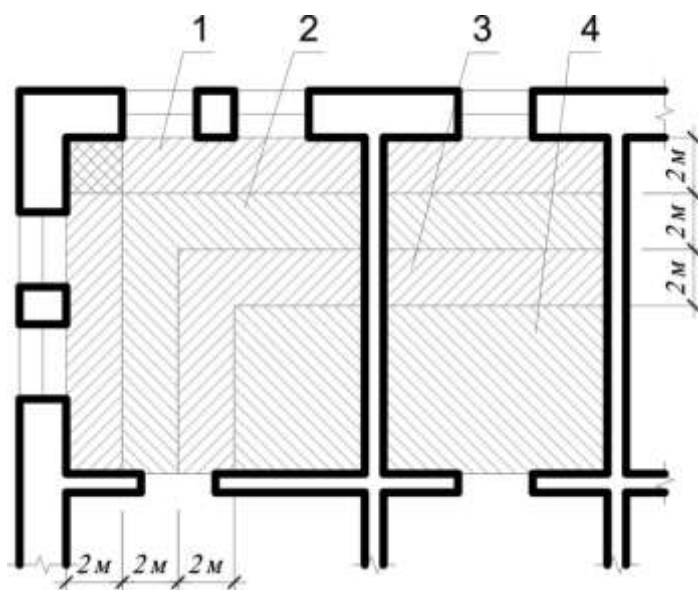
Нормируемое сопротивление теплопередаче дверей (кроме балконных) и ворот должно быть не менее $0,6 \cdot R_o^{norm}$, где R_o^{norm} — нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, отвечающих санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, определяется по формуле

$$R_o^{norm} = \frac{t_{в.сп} - t_n}{\Delta t_n \cdot \alpha_в},$$

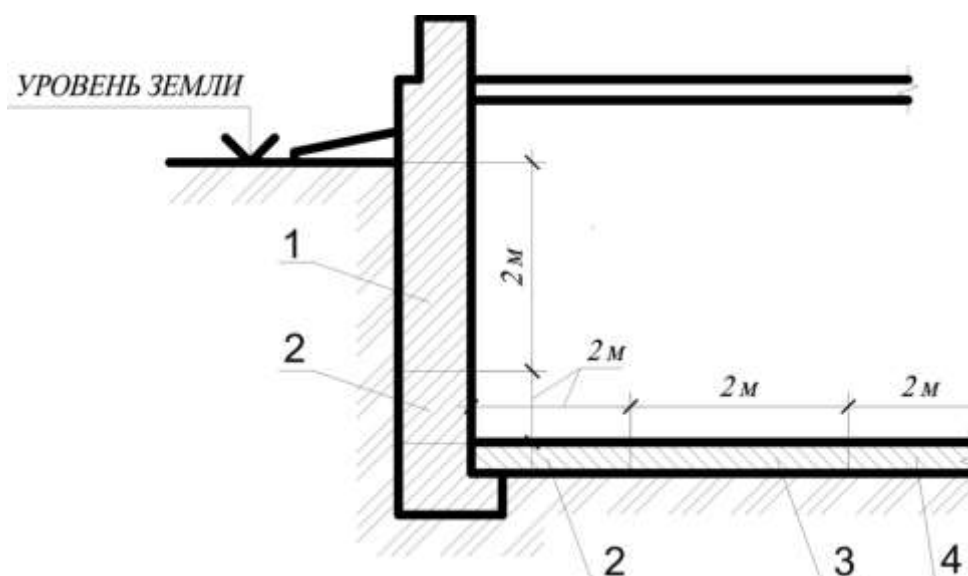
где Δt_n — нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, принимаемый по [5, табл. 5].

Для полов

Потери теплоты через полы, расположенные на грунте или на лагах, из-за сложности точного решения задачи определяют на практике упрощенным методом — по зонам-полосам шириной 2 м, параллельным наружным стенам (рис. 2.1). Чем ближе зона расположена к наружной стене, тем меньше величина R . Поверхность участков полов возле угла наружных стен (в первой двухметровой зоне) вводится в расчет дважды, т.е. по направлению обеих стен, составляющих угол.



I — вариант



II — вариант

Рисунок 2.1 – Определение зон-полос при расчете потерь теплоты через полы и стены, заглубленные ниже уровня земли:

*1 — первая зона; 2 — вторая зона;
3 — третья зона; 4 — четвертая (последняя) зона*

Теплопотери через подземную часть наружных стен и полы отапливаемого подвала здания подсчитываются так же, как и через полы, расположенные на грунте бесподвального здания, т.е. по зонам-полосам, с отсчетом их от уровня земли. При отсчете зон полы помещений в этом случае рассматриваются как продолжение подземной части стен.

Сопrotивление теплопередаче для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,2$ Вт/(м·К) по зонам шириной 2 м, принимается равным:

- для первой зоны $R_{1н.н} = 2,1$ (м²·К)/Вт;
- для второй зоны $R_{2н.н} = 4,3$ (м²·К)/Вт;
- для третьей зоны $R_{3н.н} = 8,6$ (м²·К)/Вт;
- для четвертой зоны $R_{4н.н} = 14,2$ (м²·К)/Вт (для оставшейся площади пола).

Сопrotивление теплопередаче конструкций утепленных полов, расположенных непосредственно на грунте $R_{y.n}$, (м²·К)/Вт, надлежит определять также для каждой зоны, но по формуле

$$R_{y.n} = R_{н.н} + \sum \frac{\delta_{y.c}}{\lambda_{y.c}},$$

где $\sum \frac{\delta_{y.c}}{\lambda_{y.c}}$ — сумма термических сопротивлений утепляющих слоев, (м²·К)/Вт.

Утепляющими слоями считаются слои из материалов, имеющих коэффициент теплопроводности $\lambda < 1,2$ Вт/(м·К).

Сопrotивление теплопередаче конструкций полов на лагах R_l , (м²·К)/Вт, определяется по формуле

$$R_l = 1,18 R_{y.n}$$

Тогда основная расчетная формула при подсчете потерь теплоты через пол Q_n , Вт, расположенный на грунте, принимает следующий вид:

$$Q_n = \left(\frac{F_1}{R_{1н}} + \frac{F_2}{R_{2н}} + \frac{F_3}{R_{3н}} + \frac{F_4}{R_{4н}} \right) (t_b - t_n) n,$$

где F_1, F_2, F_3, F_4 — площади соответственно 1, 2, 3, 4 зон-полос, м².

Нормируемое сопротивление теплопередаче должно соответствовать среднему сопротивлению теплопередаче всего пола, а не одной зоны.

Для этого определяется среднее сопротивление теплопередаче пола R_n^{cp} , в соответствии с занимаемыми каждой зоной площадями

$$R_n^{cp} = \frac{F_1 \cdot R_{1н} + F_2 \cdot R_{2н} + F_3 \cdot R_{3н} + F_4 \cdot R_{4н}}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}.$$

Затем проверяется условие $R_n^{cp} > R_o^{норм}$.

2.1.2. Учет влажности материалов при расчете теплопередачи

Влажность материалов в ограждении зависит от конструкции ограждения, внешних и внутренних условий, времени года. Зимой влагосодержание материалов близко к среднему значению за год. Теплотехнический расчет ограждений и расчет теплопотерь помещениями проводится для этого периода, поэтому теплофизические характеристики материалов следует выбирать по среднегодовой влажности материалов в ограждении в период регулярной эксплуатации здания.

Эксплуатационное влажностное состояние материалов определяется категориями А и Б. Зная влажностную зону района строительства [5, прил. В] и влажностный режим помещения [5, табл. 1], находят условия эксплуатации ограждающих конструкций [5, табл. 2].

Переход теплоты из помещения к наружной среде через ограждение сопровождается фильтрацией воздуха, передачей влаги. Фильтрация наружного воздуха через ограждения в холодный период года вызывает дополнительные потери теплоты помещениями, а также охлаждение внутренних поверхностей ограждения. При эксплуатации здания обязательно должно выполняться условие недопустимости конденсации влаги из воздуха как на внутренней поверхности ограждения, так и в толще его.

2.1.3. Проверка ограждения на отсутствие конденсации влаги на внутренней поверхности

Для предупреждения конденсации влаги на внутренней поверхности наружного ограждения необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\tau_{\epsilon} > t_p,$$

где τ_{ϵ} — температура внутренней поверхности ограждения, °С;

t_p — температура точки росы, °С.

Температуру внутренней поверхности ограждения следует определять по формуле

$$\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_n}{R_o \cdot \alpha_{\epsilon}}.$$

Температура точки росы определяется по $h-d$ -диаграмме влажного воздуха (прил. 2). При этом исходными данными являются параметры воздуха внутри помещения: ϕ , % — относительная влажность и

t_e — температура. Относительная влажность воздуха в помещении принимается в соответствии со стандартом[5].

Для предупреждения конденсации в толще ограждения более плотные, теплопроводные и малопаропроницаемые материалы должны располагаться у внутренней поверхности ограждения, а у наружной поверхности, наоборот, пористые, малотеплопроводные и более паропроницаемые. В этом случае у внутренней поверхности будет более высокая температура.

Если условие $\tau_e > t_p$ не соблюдается, то необходимо увеличить сопротивление теплопередаче ограждения R_o . Кроме того, целесообразны вентиляция помещений, обдувка или прогрев внутренних поверхностей ограждения.

2.2. Определение потерь теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха

Определив потери теплоты через ограждающие конструкции всего помещения (здания) $\Sigma Q_{огр}$, к ним необходимо добавить расходы теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха Q_u .

Расход теплоты Q_u , Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, следует рассчитывать по формуле

$$Q_u = 0,28 L \rho c_p (t_e - t_n),$$

где L — расход удаляемого воздуха, м³/ч; для жилых зданий удельный нормативный расход 3 м³/ч на 1 м² жилых помещений; для других зданий смотри соответствующие нормы и правила;

ρ — плотность наружного воздуха, кг/м³, определяемая в зависимости от температуры, $\rho = \frac{346}{273 + t_n}$;

c_p — удельная массовая изобарная теплоемкость воздуха, равная примерно 1 кДж/(кг·К).

2.3. Расчет тепловых потерь помещениями и зданием

Расчет основных и добавочных теплотерь через ограждающие конструкции для одного помещения должен быть полностью представлен в расчетно-пояснительной записке. Расчеты по остальным помещениям вписываются в специальный формуляр (бланк) для лучшей организации техники расчета (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Формуляр для записи расчета теплотерь

1	2	3	Поверхность ограждения			7	8	9	10	Добавки в долях от основных теплотерь β			14	15	16	17	18
			4	5	6					11	12	13					
Номер помещения	Назначение помещения	Внутренняя температура $t_{в}$, °С	Обозначение	Ориентация	Количество и размер	Площадь F , м ²	Разность температур $(t_{в}-t_{н})$, °С	Поправочный коэффициент n	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	На ориентацию	На продуваемость	На врывание холодного воздуха	Суммарный коэффициент добавочных теплотерь $1+\Sigma\beta$	Потери теплоты через ограждающие конструкции $Q_{огр}$, Вт	Теплотери на инфильтрацию $Q_{и}$, Вт	Бытовые теплотепоступления $Q_{быт}$, Вт	Общие потери теплоты (мощность системы отопления) $Q_{с.о.}$, Вт
Итого по помещению (зданию):																	

При заполнении таблицы 2.1 в графе 4 условными знаками обозначаются:

Н.С. — наружная стена;

Д.О. — окно с двойным остеклением;

О.О. — окно с одинарным остеклением;

П — пол;

Пт — потолок;

Д — дверь;

Ф — фонарь.

В графе 6 размеры ограждений указываются в виде произведения количества ограждений на их длину и ширину. При определении площади стен (графа 7) площадь окон не вычитается, но при этом в графу 10 (для окон) проставляется разность коэффициентов теплопередачи стен и окон, то есть ΔK . Площадь наружных дверей вычитается из площади стен.

В формуляре должны быть подведены итоги расчета потерь теплоты по отдельным помещениям, по этажам и по всему зданию с округлением до 10 Вт.

2.4. Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания на стадии разработки проектной документации является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания [5, прил. Г].

Расчетное значение удельной (на 1 м³ отапливаемого объема зданий) характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^{р}$, кДж/(м³·°С сут), определяется по формуле

$$q_{от}^{р} = \frac{10^3 \cdot Q_{от}^{год}}{V_{от} \cdot ГСОП},$$

где $Q_{от}^{год}$ — расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода, МДж;

$V_{от}$ — отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений м³.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания в течение отопительного периода в курсовой работе ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$Q_{OT}^{ГОД} \cong 0,1 \frac{Q_{с.о} \cdot ГСОП}{t_{в.ср} - t_n}.$$

Полученное значение $q_{от}^p$ должно быть меньше или равно нормируемому значению $q_{от}^{тр}$, кДж/(м³·°С сут), определенному по таблице 2.2, т.е. $q_{от}^p \leq q_{от}^{тр}$.

Таблица 2.2. Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых многоквартирных зданий, $q_{от}^{тр}$, кДж/(м³·°С сут).

Площадь здания, м ²	С числом этажей			
	1	2	3	4
50	0,579	-	-	-
100	0,517	0,558	-	-
150	0,455	0,496	0,538	-
250	0,414	0,434	0,455	0,476
400	0,372	0,372	0,393	0,414
600	0,359	0,359	0,359	0,372
1000 и более	0,336	0,336	0,336	0,336

Примечание. При промежуточных значениях площади отапливаемых помещений дома в интервале 50-1 000 м² значения $q_{от}^{тр}$ должны определяться по интерполяции.

Если соблюдение условия $q_{от}^p \leq q_{от}^{тр}$ обеспечивается при меньших значениях сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций, чем требуемые по [5, табл.3], то допускается снижать показатели сопротивления теплопередаче наружных ограждений, пока удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания не превысит нормируемую. Значения коэффициента m_p в формуле (2.4) при этом должны быть не менее: 0,63 – для стен, 0,80 – для остальных ограждающих конструкций (кроме светопрозрачных), 1,00 – для светопрозрачных конструкций [5].

Далее по табл. 2.3 необходимо определить класс энергосбережения здания. Для этого рассчитывается отклонение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой (базовой) величины

$$\delta = \frac{q_{от}^p - q_{от}^{тр}}{q_{от}^{тр}} \cdot 100\%.$$

Таблица 2.3. Классы энергосбережения жилых и общественных зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %
A++	Очень высокий	Ниже минус 60
A+		От минус 50 до минус 60 включительно
A		От минус 40 до минус 50 включительно
B+	Высокий	От минус 30 до минус 40 включительно
B		От минус 15 до минус 30 включительно
C+	Нормальный	От минус 5 до минус 15 включительно
C		От плюс 5 до минус 5 включительно
C-		От плюс 15 до плюс 5 включительно

Класс энергосбережения следует заносить в паспорт здания при вводе его в эксплуатацию и уточнять при эксплуатации и с учетом проводимых мероприятий по энергосбережению.

В целях достижения оптимальных технико-экономических характеристик дома и дальнейшего сокращения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания следует предусматривать [7]:

- объемно-планировочные решения, обеспечивающие улучшение показателей компактности;
- наиболее рациональную ориентацию дома и его помещений по отношению к сторонам света с учетом преобладающих направлений холодного ветра и потоков солнечной радиации;
- применение эффективного инженерного оборудования соответствующего номенклатурного ряда с повышенным коэффициентом полезного действия;
- применение энергосберегающих источников искусственного освещения;
- утилизацию теплоты отходящего воздуха, сточных вод, использование возобновляемых источников солнечной энергии, ветра и т.д.

2.5. Определение площади поверхности и числа элементов отопительных приборов

Ниже представлена методика расчета площади поверхности и числа элементов чугунных, стальных радиаторов и ребристых труб. В случае использования других отопительных приборов (например, алюминиевых литых секционных радиаторов) необходимо пользоваться расчетом, предлагаемым фирмой-изготовителем.

Для расчета площади поверхности отопительных приборов расчета F_p необходимо определить величину удельного теплового потока отопительного прибора q_{np} , Вт/м², т.е. сколько теплоты передается от теплоносителя в окружающую среду через 1 м² площади поверхности прибора.

$$q_{np} = (0,8 \dots 0,9) \cdot q_{ном},$$

где $q_{ном}$ — номинальный удельный тепловой поток отопительного прибора при стандартных условиях работы, Вт/м² (принимается по прил. 3).

При расчете отопительных приборов следует учитывать 90% теплового потока, поступающего в помещение от трубопроводов отопления при их открытой прокладке [2].

Площадь отопительного прибора определяется по формуле

$$F_p = \frac{Q_{номп} - 0,9 Q_{мп}}{q_{np}} \beta_1 \beta_2,$$

где $Q_{номп}$ — теплопотребность помещения, равная его теплопотерям за вычетом теплопоступлений, Вт; принимается по данным таблицы 2.1 по каждому помещению отдельно;

$Q_{мп}$ — суммарная теплоотдача открыто проложенных в пределах помещения трубопроводов (стояков, подводок к приборам), Вт;

β_1 — коэффициент учета дополнительных потерь теплоты отопительными приборами у наружных ограждений, принимается по таблице 2.4.

β_2 — коэффициент запаса в поверхности нагрева отопительных приборов на возможность компенсации теплопотерь через внутренние ограждения смежных помещений, в которых термостаты выставлены на режим сниженного отопления или для возможности интенсивного прогрева помещений перед началом рабочего дня при режиме ночного снижения в общественных зданиях ($\beta_2 = 1,2$).

Таблица 2.4. Значение коэффициента β_1

Отопительные приборы	Значения β_1 при установке прибора	
	у наружной стены, в том числе под световым проемом	у остекления светового проема
Радиатор:		
– чугунный секционный	1,02	1,07
– стальной панельный	1,04	1,10
Конвектор:		
– с кожухом	1,02	1,05
– без кожуха	1,03	1,07

Суммарную теплоотдачу открыто проложенных в пределах помещения труб стояка (ветви) и подводок, к которым непосредственно присоединен прибор Q_{mp} , Вт, можно определить по формуле

$$Q_{mp} = q_v \cdot l_v + q_g \cdot l_g,$$

где q_v, q_g — теплоотдача одного метра вертикальных и горизонтальных труб, Вт/м, принимается по таблице 2.5, исходя из диаметра и положения труб, а также разности температуры теплоносителя при входе его в рассматриваемое помещение t_m и температуры воздуха в помещении $t_в$;

l_v, l_g — длина вертикальных и горизонтальных труб в пределах помещения, м.

Таблица 2.5. Теплоотдача открыто проложенных теплопроводов

Условный диаметр, d_y , мм	Разность температур ($t_m - t_в$)									
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
10	<u>25</u>	<u>30</u>	<u>34</u>	<u>38</u>	<u>42</u>	<u>46</u>	<u>51</u>	<u>56</u>	<u>60</u>	<u>65</u>
	36	41	46	52	57	63	68	75	81	87
15	<u>34</u>	<u>38</u>	<u>43</u>	<u>47</u>	<u>53</u>	<u>59</u>	<u>65</u>	<u>71</u>	<u>77</u>	<u>82</u>
	44	50	57	63	70	77	84	92	100	107
20	<u>42</u>	<u>47</u>	<u>53</u>	<u>59</u>	<u>66</u>	<u>74</u>	<u>81</u>	<u>88</u>	<u>96</u>	<u>103</u>
	55	60	68	77	85	93	102	109	120	128
25	<u>52</u>	<u>59</u>	<u>67</u>	<u>74</u>	<u>83</u>	<u>93</u>	<u>101</u>	<u>110</u>	<u>120</u>	<u>130</u>
	68	73	82	92	102	113	123	134	145	156
32	<u>65</u>	<u>74</u>	<u>84</u>	<u>94</u>	<u>105</u>	<u>117</u>	<u>128</u>	<u>139</u>	<u>151</u>	<u>164</u>
	86	91	101	114	125	138	151	164	178	191
40	<u>74</u>	<u>85</u>	<u>96</u>	<u>107</u>	<u>119</u>	<u>132</u>	<u>145</u>	<u>158</u>	<u>173</u>	<u>186</u>
	88	100	113	127	141	155	168	184	198	214
50	<u>93</u>	<u>106</u>	<u>120</u>	<u>134</u>	<u>149</u>	<u>165</u>	<u>180</u>	<u>196</u>	<u>214</u>	<u>231</u>
	107	122	138	155	171	187	205	223	242	260

Примечания. 1. В числителе — теплоотдача вертикально расположенных труб q_v , в знаменателе — горизонтально расположенных q_g .

2. Промежуточные значения теплоотдачи должны определяться по линейной интерполяции.

Наружный диаметр труб на участке предварительно выбирается по таблице 2.6, исходя из допустимого расхода теплоносителя и тепловой нагрузки. Она, в свою очередь, определяется как сумма тепловых мощностей подключенных к участку отопительных приборов.

Таблица 2.6. Характеристика стальных труб, применяемых для систем отопления

Диаметр труб, мм			Допустимый расход теплоносителя воды, кг/ч	Допустимая тепловая нагрузка, кВт
условный d_y	наружный d_n	внутренний d_b		
Трубы стальные водогазопроводные обыкновенные				
15	21,3	15,7	200	5,8
20	26,8	21,2	800	23,3
25	33,5	27,1	1700	49,5
32	42,3	35,9	3500	102,0
40	48,0	41,0	6600	192,0
50	60,0	53,0	11500	335,0

- Примечания.* 1. Значения расхода теплоносителя (воды) указаны для максимально допустимой скорости движения теплоносителя в трубах данного диаметра.
2. Допустимая тепловая нагрузка — это тепловой поток, который можно передать теплоносителем по данному трубопроводу. Значения тепловой нагрузки соответствуют расчетному температурному перепаду в системе отопления 25 °С.

Для чугунных радиаторов определяется число секций N_p :

$$N_p = \frac{F_p \beta_4}{f_1 \beta_3},$$

где F_p — общая расчетная поверхность нагрева отопительного прибора (радиатора), м²;

β_4 — коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении (прил. 4);

f_1 — площадь поверхности нагрева одной секции, м²;

β_3 — коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе и принимаемый для радиаторов типа МС-140, равным: при числе секций от 3 до 15 — 1, от 16 до 20 — 0,98, от 21 до 25 — 0,96, а для остальных чугунных радиаторов вычисляется по формуле

$$\beta_3 = 0,92 + 0,16/F_p.$$

Если в качестве отопительных приборов устанавливаются панельные радиаторы типа РВС1 и РСГ2 или конвектор с кожухом определенной площади f_1 , м², то их число (размещаемых в помещении открыто) составит:

$$N_p = \frac{F_p}{f_1}.$$

Число конвекторов без кожуха или ребристых труб по вертикали и в ряду по горизонтали определяют по формуле

$$N_p = \frac{F_p}{n f_2},$$

где n — число ярусов и рядов элементов, составляющих прибор;
 f_2 — площадь одного элемента конвектора или одной ребристой трубы, м².

В процессе определения необходимой площади поверхности отопительных приборов исходные и получаемые данные вписывают в бланк (табл.2.7).

Таблица 2.7. Расчет отопительных приборов

Номер помещения	Теплопотребность помещения $Q_{потр}, \text{Вт}$	Температура воздуха в помещении $t_в, \text{°C}$	Теплоотдача теплопроводов $Q_{тр}, \text{Вт}$	$Q_{пот} - 0,9Q_{тр}, \text{Вт}$	Расчетная площадь прибора, $F_p, \text{м}^2$	Поправочные коэффициенты			Число секций	
						β_2	β_3	β_4	рас. N_p	уст. $N_{уст}$

Расчетное число секций редко получается целым. К установке принимают ближайшее большее число секций радиатора.

Отопительные приборы размещают, как правило, под световыми проемами в местах, доступных для осмотра, ремонта и очистки.

Длину отопительного прибора следует принимать, как правило, не менее 75% длины светового проема (окна) в больницах, детских дошкольных учреждениях, школах, домах для престарелых и инвалидов, и 50% — в жилых и общественных зданиях [2].

Отопительные приборы в производственных помещениях с постоянными рабочими местами, расположенными на расстоянии 2 м или менее от окон, в районах с расчетной температурой наружного воздуха в холодный период года минус 15 °С и ниже следует размещать под окнами [2].

Для приведения теплоотдачи приборов в соответствие с потерями теплоты, которые изменяются в течение отопительного периода, следует предусматривать количественное и качественное регулирование системы отопления.

2.6. Гидравлический расчет теплопроводов

Системы отопления представляют собой разветвленную сеть теплопроводов, выполняющих важную функцию распределения теплоносителя по отопительным приборам. Целью гидравлического расчета является определение диаметров теплопроводов при заданной тепловой нагрузке и расчетном циркуляционном давлении, установленном для данной системы. Существует несколько методов гидравлического расчета теплопроводов систем отопления. Наиболее распространенными являются: 1) по удельной потере давления на трение; 2) по характеристикам сопротивлений.

Методика расчета по удельной потере давления на трение заключается в следующем.

1. До гидравлического расчета теплопроводов выполняют аксонометрическую схему системы отопления со всей запорно-регулирующей арматурой. К составлению такой схемы приступают после того, как: подсчитана тепловая мощность системы отопления здания; выбран тип отопительных приборов и определено их число для каждого помещения; размещены на поэтажных планах здания отопительные приборы, горячие и обратные стояки, а на планах чердака и подвала — подающие и обратные магистрали; выбрано место для теплового пункта или котельной; показано на плане чердака или верхнего этажа (при совмещенной крыше) размещение расширительного бака и приборов воздухоудаления.

На планах этажей, чердака и подвала горячие и обратные стояки системы отопления должны быть пронумерованы, а на аксонометрической схеме, кроме стояков, нумеруют все расчетные участки циркуляционных колец — участки труб, а также указывают тепловую нагрузку и длину каждого участка (пример расчетной схемы приведен в прил. 5). Сумма длин всех расчетных участков составляет величину расчетного циркуляционного кольца.

2. Выбирают главное циркуляционное кольцо. В тупиковых схемах однотрубных систем за главное принимается кольцо, проходящее через дальний стояк, а в двухтрубных системах — кольцо, проходящее через нижний прибор дальнего стояка. При попутном движении воды наиболее неблагоприятным в гидравлическом отношении является кольцо, проходящее через один из средних наиболее нагруженных стояков.

3. Определяют расчетное циркуляционное давление Δp_p . Это давление, которое может быть израсходовано в расчетных условиях на преодоление гидравлических сопротивлений в системе.

При движении реальной жидкости по трубам всегда имеют место потери давления на преодоление сопротивления двух видов — трения

по длине и местных сопротивлений. К местным сопротивлениям относятся повороты, тройники, крестовины, отводы, вентили, краны, отопительные приборы, котлы, теплообменники и т.д.

Потери давления R_m , Па, на преодоление трения на участке теплопровода с постоянным расходом движущейся среды (воды, пара) и неизменным диаметром определяют по формуле

$$R_m = \frac{\lambda}{d} \frac{v^2}{2} \rho l = R l,$$

где λ — коэффициент гидравлического трения;

d — диаметр трубопровода, м;

v — скорость движения воды в теплопроводе, м/с;

ρ — плотность движущейся среды, кг/м³;

l — длина участка теплопровода, м;

R — удельные потери давления, Па/м.

Потери давления на преодоление местных сопротивлений Z , Па, определяют по формуле

$$Z = \sum \zeta \frac{v^2}{2} \rho,$$

где $\sum \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений на данном участке теплопровода (значения ζ приведены в прил. б);

$\frac{v^2}{2} \rho = p_d$ — динамическое давление воды на данном участке теплопровода, Па, определяется по приложению 7 в зависимости от скорости движения воды в трубопроводе.

При расчете главного циркуляционного кольца рекомендуется предусматривать запас давления на неучтенные сопротивления, но не более 10% расчетного давления:

$$\sum(R l + Z) = 0,9 \Delta p_p.$$

В системах водяного отопления с естественной циркуляцией расчетное циркуляционное давление в общем случае определяется:

$$\Delta p_p^e = \Delta p_{np}^e + \Delta p_{mp}^e,$$

где Δp_{np}^e — давление, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

Δp_{mp}^e — давление, вызываемое охлаждением воды в теплопроводах, Па, определяется по приложению 8.

При верхней разводке теплопроводов:

$$\Delta p_p^e = h g (\rho_o - \rho_z) + \Delta p_{mp}^e,$$

где h — расстояние по вертикали от середины котла (центра нагрева) до середины отопительного прибора (центра охлаждения), м (прил.9);

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_o, ρ_g — плотности обратной и горячей воды, кг/м³, определяются по приложению 10.

При нижней разводке охлаждение воды в теплопроводах не учитывается, т.е. $\Delta p_{mp}^e = 0$.

В системах с искусственной циркуляцией расчетное циркуляционное давление Δp_p^u складывается из давления, создаваемого насосом Δp_n , Па, и естественного давления Δp^e :

$$\Delta p_p^u = \Delta p_n + \Delta p^e = \Delta p_n + E(\Delta p_{np}^e + \Delta p_{mp}^e),$$

где E — коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях, рекомендуется для двухтрубных систем принимать $E = 0,4 \dots 0,5$, для однетрубных систем $E = 1$.

Естественное давление Δp_{np}^e и Δp_{mp}^e можно не учитывать, если оно составляет не более 10% давления, создаваемого механическим побуждением.

Расчетное циркуляционное давление Δp_n практически принимают равным 10...12 кПа.

4. Для предварительного выбора диаметров трубопроводов определяют среднее значение удельного падения давления по главному циркуляционному кольцу R_{cp} , Па/м:

$$R_{cp} = \frac{(1-k) \Delta p_p}{\sum l},$$

где k — коэффициент, учитывающий долю потери давления на местные сопротивления от общей величины расчетного циркуляционного давления ($k = 0,35$ — для систем отопления с искусственной циркуляцией, $k = 0,5$ — для систем отопления с естественной циркуляцией);

$\sum l$ — общая длина расчетного циркуляционного кольца, м.

5. Определяют расходы воды на расчетных участках $G_{yч}$, кг/ч:

$$G_{yч} = \frac{3,6 Q_{yч}}{c (t_2 - t_o)},$$

где $Q_{уч}$ — тепловая нагрузка участка, составленная из тепловых нагрузок отопительных приборов, обслуживаемых протекающей по участку водой, Вт;

c — удельная массовая теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·К).

б. Ориентируясь на полученное значение $R_{ср}$ и определив количество воды $G_{уч}$, с помощью приложения 11 подбирают оптимальные диаметры труб расчетного кольца и определяют действительные удельные сопротивления R , Па/м, скорость v , м/с и динамическое давление P_d , Па на каждом участке. Все расчетные данные заносят в специальный бланк (табл.2.8).

Таблица 2.8. Результаты гидравлического расчета теплопроводов системы водяного отопления

Номер участка	l , м	$Q_{уч}$, Вт	$G_{уч}$, кг/ч	d , мм	v , м/с	R , Па/м	Rl , Па	$\Sigma\zeta$	P_d , Па	Z , Па	$Rl+Z$, Па
По предварительному расчету											
По окончательному расчету											

При расчете отдельных участков теплопровода необходимо иметь в виду следующее: местное сопротивление тройников и крестовин относят лишь к расчетным участкам с наименьшим расходом воды; местные сопротивления отопительных приборов, котлов и подогревателей учитывают поровну в каждом примыкающем к ним теплопроводе.

Диаметры трубопроводов считаются подобранными правильно, если имеется некоторый (не более 10%) запас давления в кольце на неучтенные местные сопротивления и возможные неточности в монтаже системы отопления, т.е.

$$\frac{\Delta p_p - \sum(Rl + Z)}{\Delta p_p} 100\% \leq 10\% .$$

Если это условие не выполняется, то следует изменить диаметры труб некоторых участков циркуляционного кольца и повторить расчет.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ

В жилых и общественных зданиях для помещений, не требующих воздухообмена больше однократного, преимущественно применяется естественная канальная вентиляция.

В производственных зданиях естественную вентиляцию следует проектировать, если она обеспечит нормируемые условия воздушной среды в помещениях, если она отвечает технологическим требованиям.

Вытяжная естественная канальная вентиляция состоит из вертикальных внутростенных или приставных каналов с отверстиями, закрытыми жалюзийными решетками, сборных горизонтальных воздуховодов и вытяжной шахты. Для усиления вытяжки воздуха из помещений на шахте часто устанавливают специальную насадку — дефлектор. Загрязненный воздух из помещений поступает через жалюзийную решетку в канал, поднимается вверх, достигая сборных воздуховодов, и оттуда выбрасывается через шахту в атмосферу.

Вытяжка из помещений регулируется жалюзийными решетками в вытяжных отверстиях, а также дроссель-клапанами или задвижками, устанавливаемыми в сборном воздуховоде и в шахте.

В животноводческих и птицеводческих помещениях естественный воздухообмен не может обеспечить достаточную вентиляцию, поэтому эти помещения необходимо оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией, подающей в них свежий воздух при одновременном удалении загрязненного. Приток воздуха осуществляется механическим способом, т.е. с помощью вентилятора воздух по воздуховодам подается в верхнюю зону помещения. В холодный период года, как правило, приточный воздух подогревается. Кроме этого, имеется естественная приточная вентиляция через вентиляционные проемы в верхней части стен или в покрытии.

Вытяжная вентиляция этих помещений так же, как и приточная, осуществляется механическим путем: естественная — из верхней зоны через вентиляционные шахты, механическая — из верхней или нижней зоны.

3.1. Расчет воздухообмена

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредные выделения, чистым атмосферным воздухом.

Количество воздуха, подаваемого в помещение или удаляемого из него за один час, отнесенное к его внутреннему объему, принято называть *кратностью воздухообмена*:

$$n = \pm \frac{L}{V_{\Pi}},$$

где «+» — воздухообмен по притоку;

«-» — воздухообмен по вытяжке;

L — воздухообмен, м³/ч;

V_{Π} — объем помещения, м³.

Более точный расчет воздухообмена, если в этом есть необходимость, проводят по отдельным видам и массе вредных веществ, выделяющихся в помещении [8], для животноводческих помещений [9].

При определении расчетного воздухообмена многоквартирных жилых зданий, необходимо руководствоваться [6, 7] и исходить из того, что количество воздуха, необходимого для вентиляции квартиры жилого дома, составляет 3 м³/ч на 1 м² жилой площади, и что воздух удаляется из квартиры через вентиляционные каналы санузла, ванной комнаты и кухни. Причем количество удаляемого воздуха из кухни не должно быть меньше минимального, который требуется для компенсации воздуха, расходуемого при сжигании газа (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Расчетный минимальный воздухообмен помещений жилого здания

Назначение помещения	Требуемый воздухообмен, L
Жилая комната квартир или общежитий	3 м ³ /ч на 1 кв.м жилых помещений
Кухня квартиры и общежития:	
– с электроплитами	Не менее 60 м ³ /ч
– с 2-конфорочной газовой плитой	Не менее 60 м ³ /ч
– с 3-конфорочной газовой плитой	Не менее 75 м ³ /ч
– с 4-конфорочной газовой плитой	Не менее 90 м ³ /ч
Ванная комната	25 м ³ /ч
Санузел индивидуальный	25 м ³ /ч
Совмещенное помещениесанузла и ванной	50 м ³ /ч

Для определения действительного воздухообмена кухни L_k необходимо из суммарного воздухообмена жилых комнат $\sum L_{ж.к}$ вычесть воздухообмен санузла $L_{с.у}$ и ванной комнаты L_v :

$$L_k = \sum L_{ж.к} - L_{с.у} - L_v = 3 \sum F_n - L_{с.у} - L_v,$$

где $\sum F_n$ — суммарная площадь жилых комнат квартиры, м².

Полученное значение L_k необходимо сравнить с принятым минимальным требуемым воздухообменом L_k^{min} . За расчетный воздухообмен принимается больший из этих величин.

После определения воздухообмена для каждого помещения заполняется бланк специальной формы (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Характеристика воздухообмена

Номер и назначение помещения	Размер помещения, м			Объем помещения, м ³	Кратность воздухообмена, n	Воздухообмен	
	длина	ширина	высота			L, м ³ /ч	номер установки

Далее проводится компоновка системы вентиляции. В одну систему объединяют только одноименные или близкие по назначению помещения. Не допускается присоединять вытяжные санитарные узлы к системам вентиляции кухонь.

Производится графическое изображение на планах этажей и чердака элементов системы (каналов и воздуховодов, вытяжных отверстий и жалюзийных решеток, вытяжных шахт). Против вытяжных отверстий помещений указывается количество воздуха, удаляемого по каналу. Транзитные каналы, обслуживающие помещения нижних этажей, рекомендуется обозначать римскими цифрами (I, II). Все системы вентиляции должны быть пронумерованы.

Вычерчивается аксонометрическая схема в линиях или, что лучше, с изображением внешних очертаний всех элементов системы. На схемах в кружке у выносной черты ставится номер участка: над чертой — нагрузка участка, м³/ч, а под чертой — длина участка, м. Пример схемы системы вытяжной вентиляции смотри в приложении 12.

3.2. Определение естественного давления

В канальных системах естественной вытяжной вентиляции воздух перемещается в каналах и воздуховодах под действием естественного давления, возникающего вследствие разности давлений холодного наружного и теплого внутреннего воздуха.

Естественное располагаемое давление Δp_e , Па:

$$\Delta p_e = h_i g (\rho_n - \rho_e), \quad (3.1)$$

где h_i — высота воздушного столба, принимаемая от центра вытяжного отверстия до устья вытяжной шахты, м;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_n, ρ_e — плотность наружного и внутреннего воздуха (как функция температуры), кг/м³.

Расчетное естественное давление для систем вентиляции жилых и общественных зданий определяется для температуры наружного воздуха +5 °С [2]. Считается, что при более высоких наружных температурах, когда естественное давление становится весьма незначительным, дополнительный воздухообмен можно получать, открывая более часто и на продолжительное время форточки, фрамуги, а иногда и створки оконных рам.

Естественное давление не зависит от длины горизонтальных воздухопроводов, однако на основании технико-экономических расчетов и опыта эксплуатации вытяжных систем вентиляции радиус действия их — от оси вытяжной шахты до оси наиболее удаленного отверстия — допускается не более 8м.

Для нормальной работы системы естественной вентиляции необходимо, чтобы было сохранено равенство:

$$\sum (Rl\beta + Z)\alpha = \Delta p_e, \quad (3.2)$$

где R — удельная потеря давления на трение, Па/м;

Rl — потеря давления на трение расчетной ветви, Па;

β — поправочный коэффициент на шероховатость поверхности, определяется по таблице 3.3;

α — коэффициент запаса, равный 1,1...1,15;

Z — потеря давления на местные сопротивления, Па;

Δp_e — располагаемое давление, Па.

Таблица 3.3. Значения коэффициента β на шероховатость поверхности

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
1,6	1,22	1,31	1,58	1,95
2,0	1,25	1,35	1,65	2,04
2,4	1,28	1,38	1,70	2,11
3,0	1,32	1,43	1,77	2,20
4,0	1,37	1,49	1,86	2,32
5,0	1,41	1,54	1,93	2,41
6,0	1,44	1,58	1,98	2,48
7,0	1,47	1,61	2,03	2,54
8,0	1,49	1,64	2,06	2,58

Потери на местные сопротивления Z :

$$Z = \sum \zeta h_v, \quad (3.3)$$

где $\sum \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений, значения ζ даны в приложении 14;

h_v — динамическое давление, Па, определяется по приложению 14.

3.3. Расчет воздуховодов

1. При заданных объемах воздуха, подлежащего перемещению по каждому участку каналов, принимают скорость его движения.

При предварительном определении площади сечений каналов систем естественной вентиляции могут быть заданы следующие скорости движения воздуха: в вертикальных каналах верхнего этажа $v = 0,5 \dots 0,6$ м/с, из каждого нижерасположенного этажа на $0,1$ м/с больше, чем из предыдущего, но не выше 1 м/с; в сборных воздуховодах $v > 1$ м/с и в вытяжной шахте $v = 1 \dots 1,5$ м/с.

2. По объему воздуха L и принятой скорости v определяют предварительно площадь сечения каналов f . Для этого используются таблицы 3.4 и 3.5 или для каналов, выполненных из другого материала, по формуле

$$f = \frac{L}{3600 v},$$

где f — площадь сечения канала или воздуховода, м²;

L — расход вентиляционного воздуха, м³/ч.

Таблица 3.4. Пропускная способность каналов в кирпичных стенах L , м³/ч

Размер канала		Эквивалентный диаметр d_e , мм	Площадь сечения f , м ²	Скорость, м/с					
в кирпичах	мм			0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,5
0,5×0,5	140×140	140	0,0195	35	42	50	56	70	105
0,5×1	140×270	180	0,0378	68	82	95	100	136	204
1×1	270×270	270	0,0729	130	158	184	210	260	390
1×1,5	270×400	320	0,11	185	220	254	294	370	555
1,5×1,5	400×400	400	0,16	288	348	360	460	580	865
1×2	270×530	375	0,143	256	310	330	412	515	770
1,5×2	400×530	456	0,21	378	456	530	605	755	1130

Таблица 3.5. Пропускная способность
асбестоцементных воздуховодов L , $м^3/ч$

Размерканала		Площадь сечения f , $м^2$	Скорость, $м/с$					
a	b		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
100	150	0,0150	27,0	32,5	38,0	43,5	48,5	54,0
150	150	0,0225	40,5	49,0	56,5	65,0	72,5	81,0
150	200	0,0300	54,0	65,0	75,5	86,5	97,0	108,0
150	300	0,0450	81,0	98,0	113,0	130,0	146,0	162,0
200	200	0,0400	72,0	87,0	101,0	115,0	129,0	144,0
200	300	0,0600	108,0	130,0	151,0	173,0	226,0	216,0
300	300	0,0900	163,0	195,0	227,0	260,0	291,0	324,0

3. Дальнейший расчет выполняется по номограмме (прил. 14). Номограмма составлена для стальных воздуховодов круглого сечения. В ней взаимосвязаны величины L , R , v , d . Чтобы воспользоваться номограммой для расчета воздуховода прямоугольного сечения, необходимо предварительно определить соответствующую величину равновеликого (эквивалентного) диаметра $d_э$, т.е. такого диаметра круглого воздуховода, при котором для той же скорости движения воздуха, как и в прямоугольном воздуховоде, удельные потери на трение были бы равны. Значения $d_э$ для кирпичных каналов приведены в таблице 3.4, а для асбоцементных — 3.5.

В других случаях $d_э$ определяется по формуле

$$d_э = \frac{2ab}{a+b},$$

где a, b — размеры сторон прямоугольных воздуховодов, $м$.

По значениям расхода удаляемого воздуха L и эквивалентного диаметра $d_э$ определяют фактическую скорость движения воздуха v , удельные потери давления R и динамическое давление:

$$h_v = \rho \frac{v^2}{2}.$$

При расчете неметаллических воздуховодов, имеющих шероховатую поверхность, удельная потеря давления на трение R будет больше, чем дано в номограмме приложения 14. Поэтому вводится поправка β на шероховатость в зависимости от материала воздуховода и скорости воздуха v . Значения β даны в таблице 3.3.

На всем участке потери давления с учетом коэффициента шероховатости определяются как

$$R_y = Rl\beta,$$

где l — длина участка, м.

Далее, используя приложение 13, находят сумму коэффициентов местных сопротивлений для рассчитываемого участка $\Sigma\zeta$. Зная величину $\Sigma\zeta$, по формуле 3.3 определяется Z .

Определяется общая потеря давления рассчитываемого участка:

$$R_o = Rl\beta + Z.$$

Результаты расчетов по каждому участку заносятся в специальный бланк (табл. 3.6). Пример расчета воздуховодов смотри в приложении 12.

Таблица 3.6. Расчет воздуховодов системы естественной вытяжной вентиляции

Номер участка	L , м ³ /ч	l , м	$a \times b$, мм	$d_э$, м	f , м ²	v , м/с	R , Па/м	R_y , Па	h_v , Па	$\Sigma\zeta$	Z , Па	R_o , Па

4. Сравнивают полученные суммарные сопротивления с располагаемым давлением. Если условие (3.2) выполняется, то предварительно полученные площади сечения каналов могут быть приняты как окончательные. Если же потери давления оказались меньше или больше располагаемого давления, то площадь сечения каналов следует увеличить или, наоборот, уменьшить.

Методику расчета механической вентиляции, применяемой в животноводческих, птицеводческих, производственных помещениях, смотри в учебнике [8], а естественной вытяжной вентиляции с помощью вентиляционных шахт в учебном пособии [9].

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон РФ № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха .
3. ГОСТ 30494—2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
4. СП 131.13330.2020. Строительная климатология.
5. СП 50.13330.2013. Тепловая защита зданий.
6. СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
7. СП 55.13330.2016. Дома жилые одноквартирные.
8. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учебник для вузов / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеенко. — 5-е изд., репринтное. — М. : БАСТЕТ, 2009. — 480 с.
9. Захаров, А.А. Практикум по применению теплоты и тепло-снабжению в сельском хозяйстве: учебное пособие. — М.: Колос, 1995. — 176 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Добавочные теплопотери

Учитываются коэффициентом β в долях от основных потерь.

1. На ориентацию ограждения по отношению к сторонам света: если ограждение обращено на север, северо-запад, северо-восток и восток — $\beta = 0,1$, а если на юго-восток или запад — $\beta = 0,05$.

Примечание. Заполняется графа 11 таблицы 2.1.

2. На продуваемость: в угловых помещениях дополнительно $\beta = 0,05$ на каждую стену, дверь и окно, если одно из ограждений обращено на север, северо-запад, северо-восток и восток, и $\beta = 0,1$ — в других случаях.

Для угловых помещений жилого дома температуру внутреннего воздуха принимают на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше, чем в рядовом помещении, и поправку на продуваемость не вводят.

Примечание. Заполняется графа 12 таблицы 2.1.

3. На врывание холодного воздуха: через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий H , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза:

$\beta = 0,2H$ — для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;

$\beta = 0,27H$ — для двойных дверей с тамбурами между ними;

$\beta = 0,34H$ — для двойных дверей без тамбура;

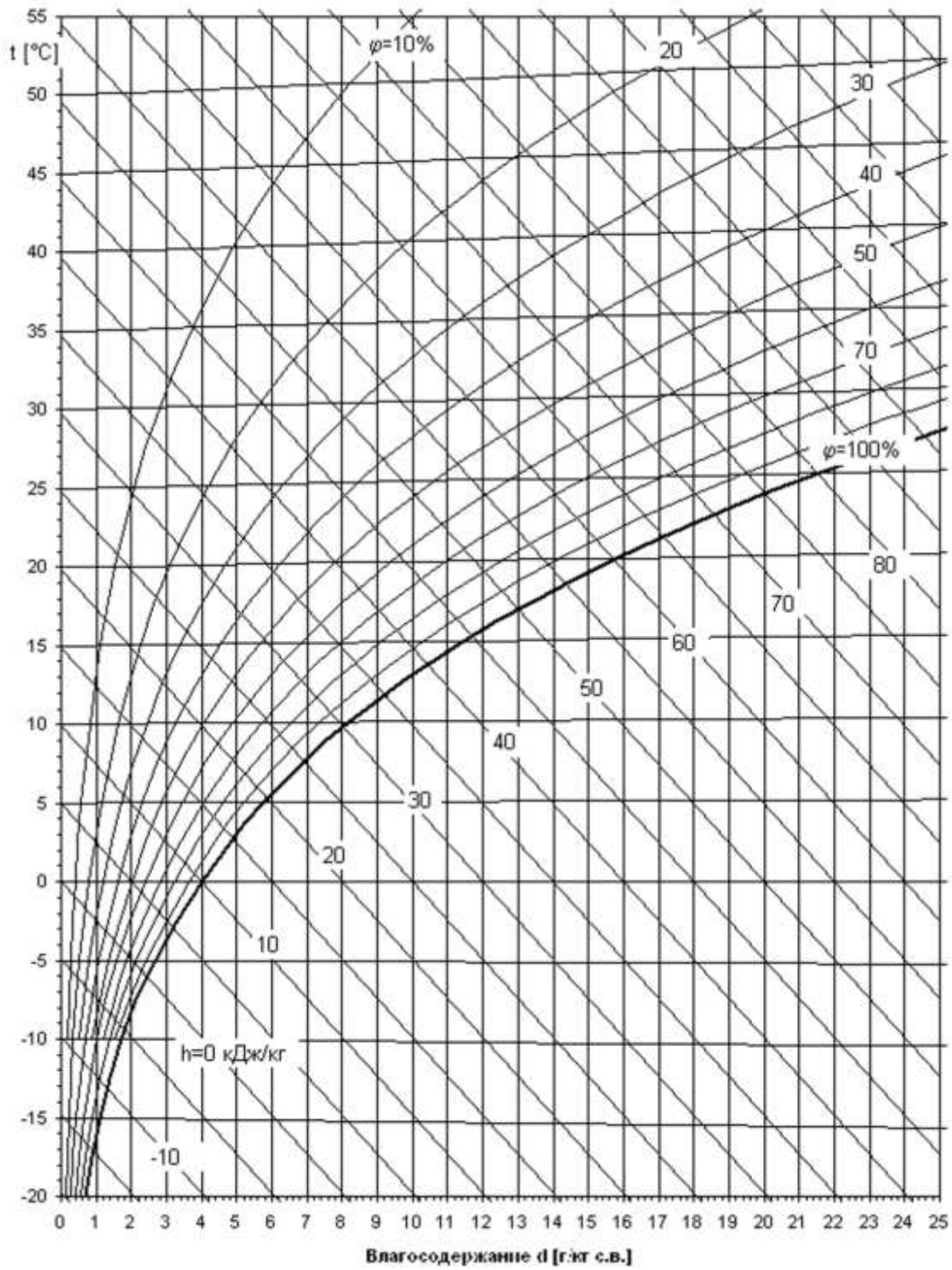
$\beta = 0,22H$ — для одинарных дверей;

$\beta = 3$ — для наружных ворот, не оборудованных воздушными и воздушно-тепловыми завесами, при отсутствии тамбура;

$\beta = 1$ — при наличии тамбура у ворот.

Примечание. Заполняется графа 13 таблицы 2.1. Для летних и запасных наружных дверей и ворот добавочные потери теплоты не учитываются.

Диаграмма $t-d$ для влажного воздуха



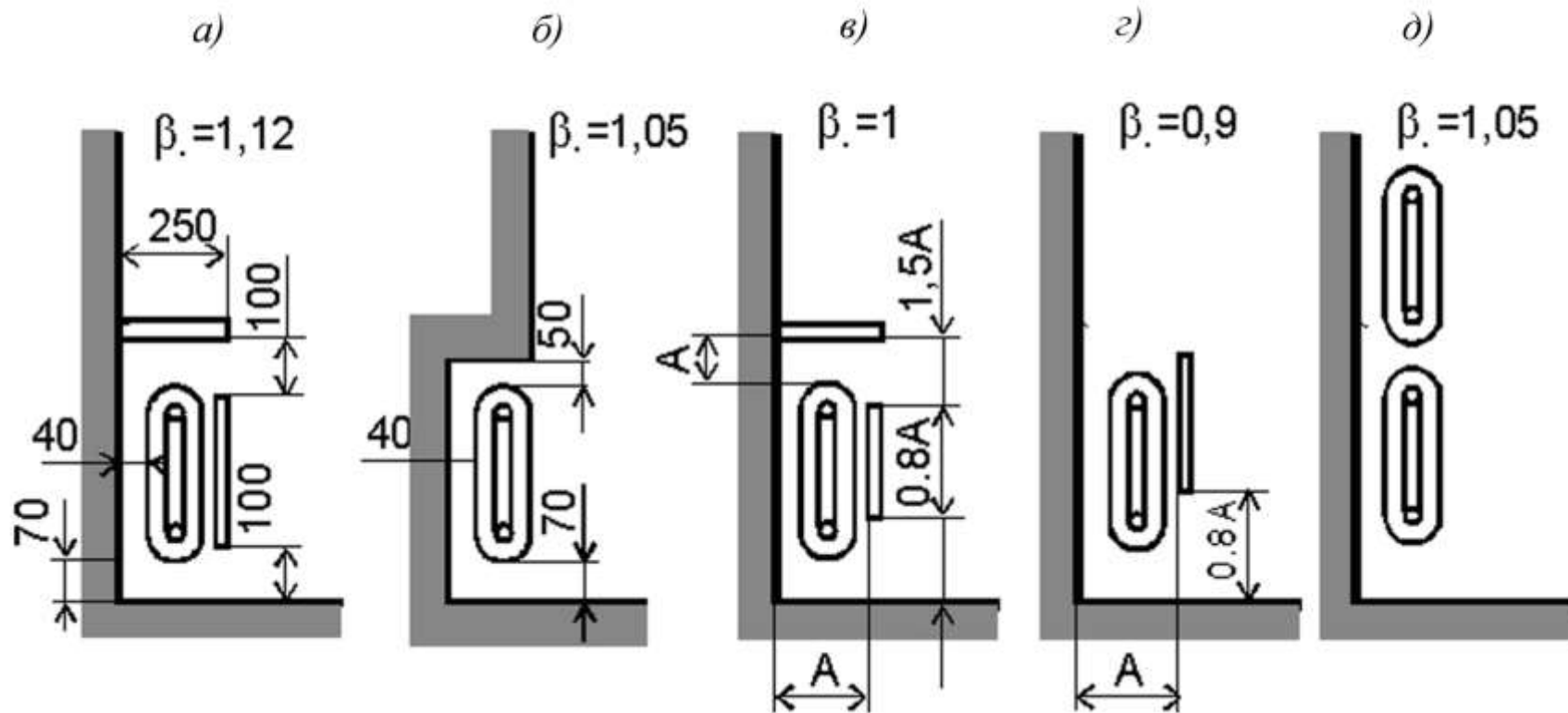
Основные технические данные некоторых отопительных приборов

Наименование прибора, его тип, марка	Площадь поверхности нагрева секции f_I , м ²	Номинальная плотность теплового потока $q_{ном}$, Вт/м ²	Схема присоединения прибора	Расход теплоносителя через прибор $G_{пр}$, кг/с
1	2	3	4	5
Радиаторы чугунные секционные:				
МС-140-108	0,244	758	Сверху вниз	0,005-0,014
МС-140-98	0,240	725		0,015-0,149
МС-90-108	0,187	802		0,015-0,149
М-90	0,200	700		0,150-0,250
Радиаторы стальные панельные типа РВС1 однорядные:				
РВС1-1	0,710	710	Снизу вверх	0,005-0,017
РВС1-2	0,950	712		0,005-0,017
РВС1-3	1,190	714		0,018-0,250
РВС1-4	1,440	712		0,018-0,250
РВС1-5	1,680	714		0,018-0,250
то же двухрядные:				
2РВС1-1	1,420	615	Снизу вниз	0,005-0,032
2РВС1-2	1,900	619		0,005-0,032
2РВС1-3	2,380	620		0,033-0,250
2РВС1-4	2,880	618		0,033-0,250
2РВС1-5	3,360	620		0,033-0,250
Радиаторы стальные панельные типа РСГ2 однорядные:				
РСГ2-1-2	0,540	741	Сверху вниз	0,006-0,080
РСГ2-1-3	0,740	747		0,090-0,250
РСГ2-1-4	0,950	743		0,090-0,250
РСГ2-1-5	1,190	740		0,090-0,250
РСГ2-1-6	1,440	733	Снизу вверх	0,006-0,080
РСГ2-1-7	1,680	733		0,006-0,080
РСГ2-1-8	1,930	728		0,090-0,250
РСГ2-1-9	2,170	729		0,090-0,250
то же двухрядные:				
РСГ2-2-4	1,080	1 074	Сверху вниз	0,006-0,080
РСГ2-2-5	1,480	977		0,006-0,080
РСГ2-2-6	1,900	910		0,090-0,250

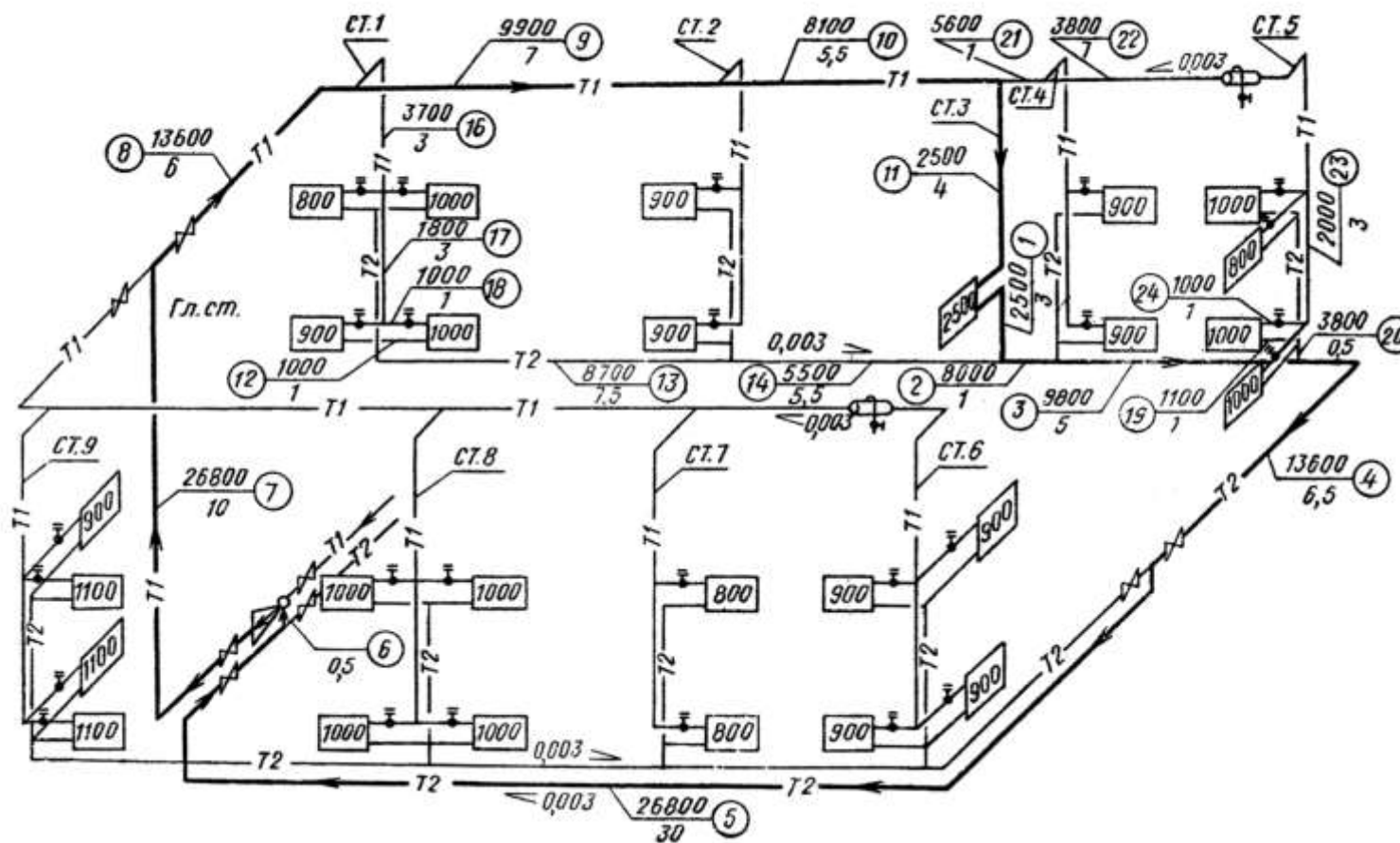
Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5
PCГ2-2-7	2,380	845	Снизу вверх	0,006-0,080
PCГ2-2-8	3,360	683		0,006-0,080
PCГ2-2-9	4,310	597		0,006-0,080
Трубы чугунные ребристые:				
ТР-1	2	388	—	0,010-0,250
ТР-1.5	3	388		0,010-0,250
ТР-2	4	388		0,010-0,250
Конвекторы настенные с кожухом малой глубины типа «Универсал»:				
КН20-0.400	0,952	420		
КН20-0.479	1,140	420		
КН20-0.655	1,830	357		
КН20-0.787	2,200	358		

Способы установки отопительных приборов



Расчетная аксонометрическая схема двухтрубной водяной системы
(к примеру гидравлического расчета тепловыводов[8, с. 164...171])



Приложениеб

Коэффициенты местных сопротивлений ζ
для различных элементов систем отопления

Элементы систем отопления	ζ при условном проходе труб, мм					
	15	20	25	32	40	50
Радиаторы двухколонные	2	2	2	2	2	2
Котлы:						
– чугунные	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
– стальные	2	2	2	2	2	2
Внезапное расширение	1	1	1	1	1	1
Внезапное сужение	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Отступы	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Компенсаторы:						
– П-образные	2	2	2	2	2	2
– сальниковые	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Отводы:						
– 90° и утки	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
– двойные узкие	2	2	2	2	2	2
– двойные широкие	1	1	1	1	1	1
Скобы	3	2	2	2	2	2
Тройники:						
– на проходе	1	1	1	1	1	1
– на ответвлении	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
– на противотоке	3	3	3	3	3	3
Крестовины:						
– на проходе	2	2	2	2	2	2
– на ответвлении	3	3	3	3	3	3
Вентили:						
– обыкновенные	16	10	9	9	8	7
– прямоточные	3	3	3	2,5	2,5	2
Задвижки	–	–	0,5	0,5	0,5	0,5
Краны:						
– проходные	4	2	2	2	–	–
– двойной регулировки	4	2	2	–	–	–
Трехходовой кран:						
– при повороте потока	3	3	4,5	–	–	–
– при прямом проходе	2	1,5	2	–	–	–

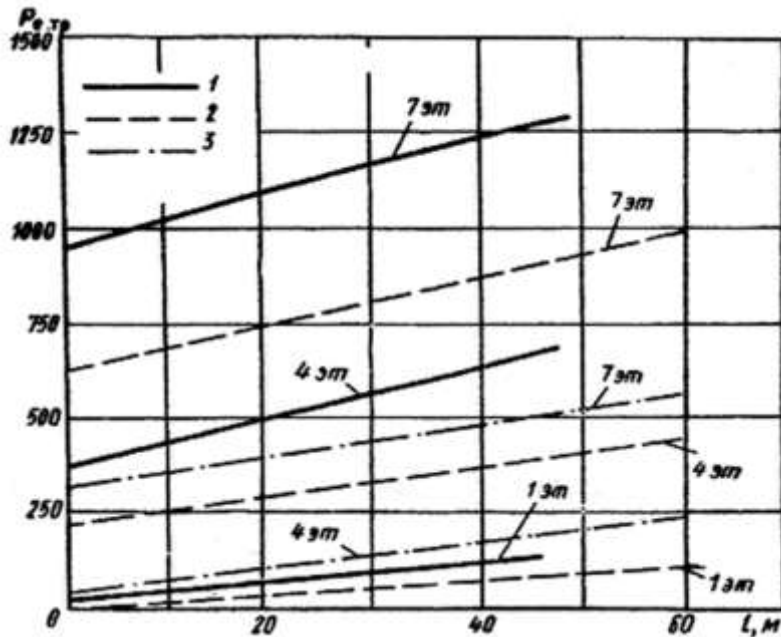
Приложение 7

Динамическое давление воды (Па)
в зависимости от скорости ее движения v , (м/с)
при $\rho_{cp} = 983,2 \text{ кг/м}^3$

v	p_d	v	p_d	v	p_d	v	p_d
0,03	0,44	0,14	9,6	0,32	50,3	0,65	207,7
0,04	0,79	0,16	12,6	0,34	56,8	0,70	241,0
0,05	1,23	0,18	15,9	0,36	63,7	0,75	276,7
0,06	1,77	0,20	19,7	0,38	71,0	0,80	314,6
0,07	2,45	0,22	23,8	0,40	78,7	0,85	355,0
0,08	3,15	0,24	28,3	0,45	99,5	0,90	398,0
0,09	3,98	0,26	33,2	0,50	122,8	1,00	491,6
0,10	4,92	0,28	38,6	0,55	148,7	1,10	594,5
0,12	7,08	0,30	44,2	0,60	177,0	1,20	708,1

Приложение 8

Определение дополнительного гравитационного давления $\Delta p_{тр}^e$



Зависимость дополнительного гравитационного давления $\Delta p_{тр}^e$ от охлаждения воды в трубопроводах системы (l — горизонтальное расстояние от главного стояка до расчетного):

- 1 — двухтрубной с естественной циркуляцией;
- 2 — то же с искусственной циркуляцией;
- 3 — однострубно́й с искусственной циркуляцией.

Номограмма для гидравлического расчета
трубопроводов водяного отопления

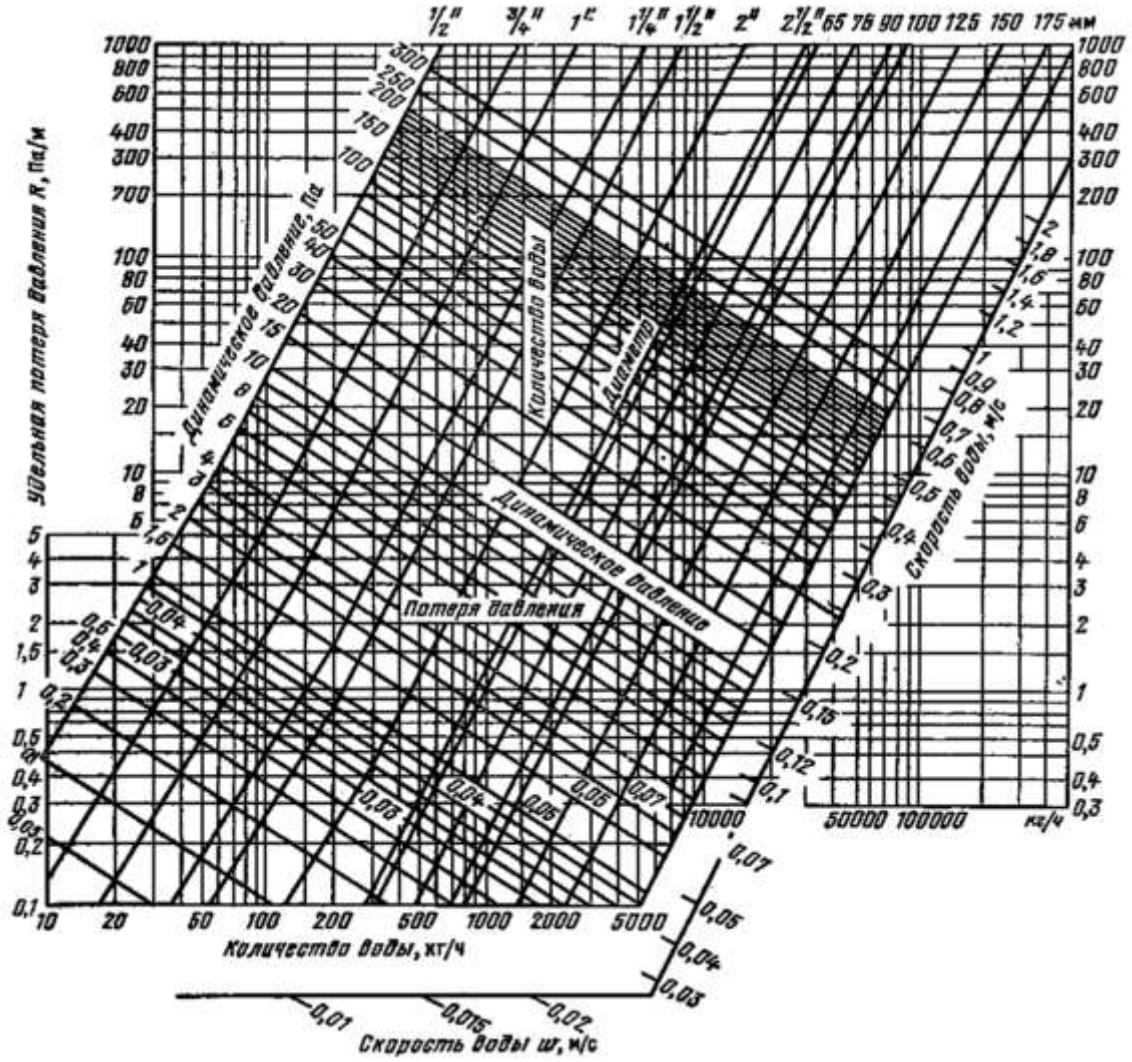
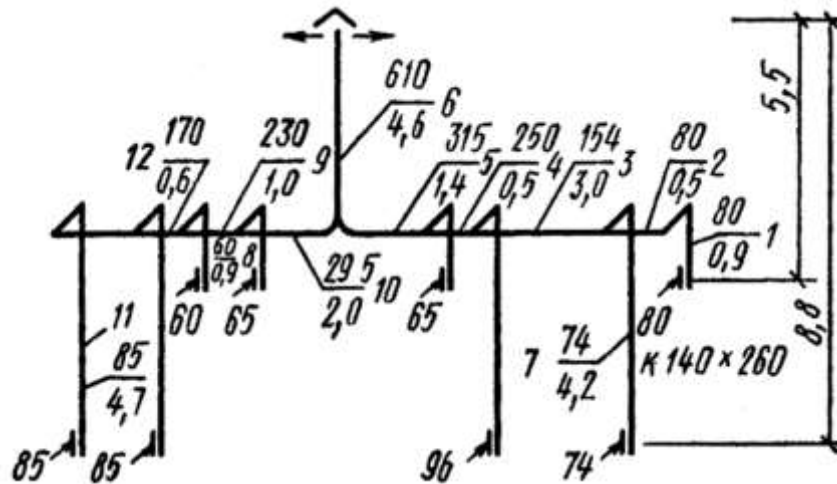


Схема системы вытяжной вентиляции
двухэтажного дома
(к примеру расчета воздуховодов [8, с. 261...266])



Пример расчета

Расчет дается для наиболее неблагоприятной ветви каналов (участки 1...6) для первого участка.

Располагаемое давление в системе вентиляции для помещений второго этажа по формуле 3.1 равно:

$$\Delta p_{e_2} = 5,5 \cdot 9,81 (1,27 - 1,205) = 3,53 \text{ Па.}$$

Участок 1

Канал кирпичный. Предварительно площадь сечения канала по известному расходу удаляемого воздуха $L=80 \text{ м}^3/\text{ч}$ по таблице 2.3 принимаем $0,5 \times 1$ кирпич. Площадь сечения канала $f=0,0378 \text{ м}^2$, эквивалентный диаметр $d_3=180 \text{ мм}$.

Дальнейший расчет проводим, используя номограмму (прил. 15).

Определив d_3 и зная значение L , находим точку на номограмме, которая характеризует состояние воздушного потока в данном канале.

По вертикали вверх определяем скорость движения воздуха $v=0,85 \text{ м/с}$, удельная потеря давления на трение $R=0,08 \text{ Па/м}$, динамическое давление по вертикали вниз $h_v = 0,43 \text{ Па}$.

Потеря давления на трение на всём участке с учетом коэффициента шероховатости:

$$Rl\beta=0,08 \cdot 0,9 \cdot 1,13=0,081 \text{ Па.}$$

Далее по приложению 9 [8] или приложению 13 методического указания находим сумму коэффициентов местных сопротивлений участка:

- вход в жалюзийную решетку с поворотом потока $\zeta=2$;
- два прямоугольных колена $\zeta = 2 \cdot 1,26=2,52$.

Для всего участка:

$$\Sigma\zeta=2 +2,52=4,52.$$

Определяем потерю давления на местные сопротивления Z :

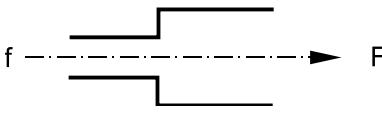
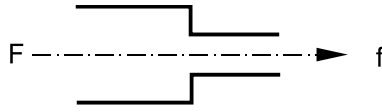
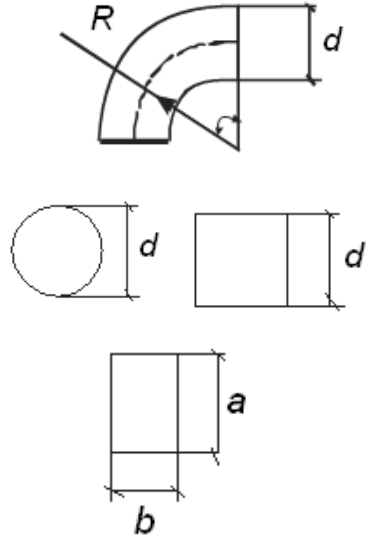
$$Z=\Sigma\zeta \cdot h_v=4,52 \cdot 0,43=1,94 \text{ Па.}$$

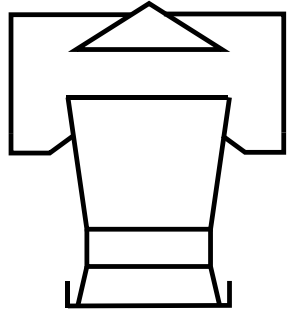
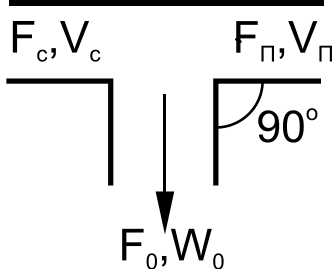
Общая потеря давления на участке 1 составляет

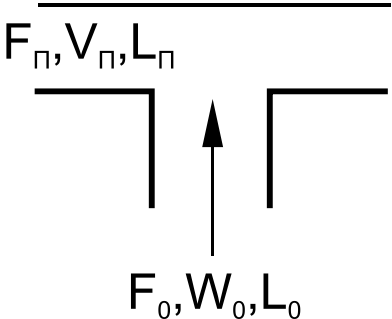
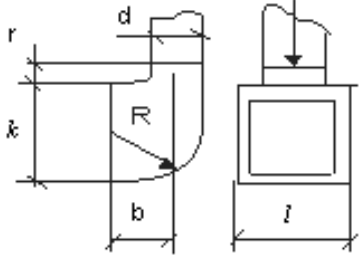
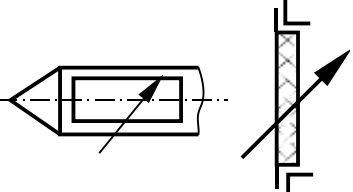
$$Rl\beta + Z = 2,02 \text{ Па.}$$

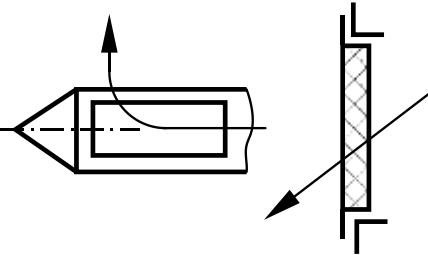
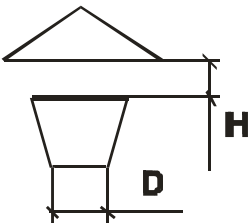
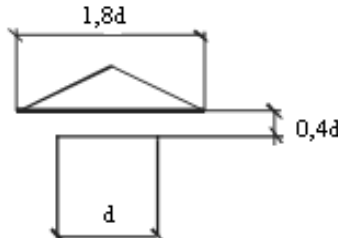
В процессе расчета заполняется специальный бланк (см. табл. 3.6) по всем участкам рассчитываемой ветви. Если условие работоспособности системы вентиляции (формула 3.2) выполняется, то сечение каналов на всех участках подобрано правильно, нет необходимости выполнять перерасчет.

Коэффициенты местных сопротивлений фасонных частей воздуховодов

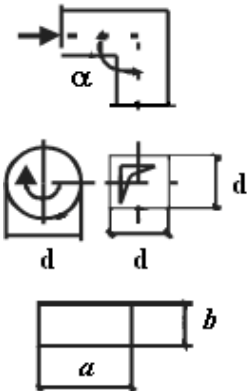
Местное сопротивление	Эскиз	Коэффициент местного сопротивления					
1	2	3					
Внезапное расширение		$\xi = \left(1 - \frac{f}{F}\right)^2$					
Внезапное сужение		$\xi = 0,5 \left(1 - \frac{f}{F}\right)$					
Отводы круглые, квадратные и прямоугольные		α	30	45	60	90	130
		$R/d = 1$					
		ξ	0,09	0,13	0,16	0,21	0,25
		$R/d = 2$					
		ξ	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18
		Для прямоугольных отводов необходимо умножить на коэффициент c					
		b/a	0,25	0,5	1	1,5	2
c	1,8	1,7	1	0,9	0,85		

1	2	3					
Дефлектор круглый ЦАГИ		$\xi = 0,64$					
Тройник под углом 90° на притоке воздуха		Проход $F_n + F_o > F_c; F_n = F_c$					
		v_o/v_c	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		ξ	0,4	0	-0,1	-0,1	0
		Проход $F_n + F_o = F_c$					
		v_n/v_o	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		ξ	4,4	2	0,8	1	0
		Проход $F_c + F_n > F_o; F_c = F_o$					
		v_n/v_c	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4
ξ	9,4	4,2	2,3	1,6	1		

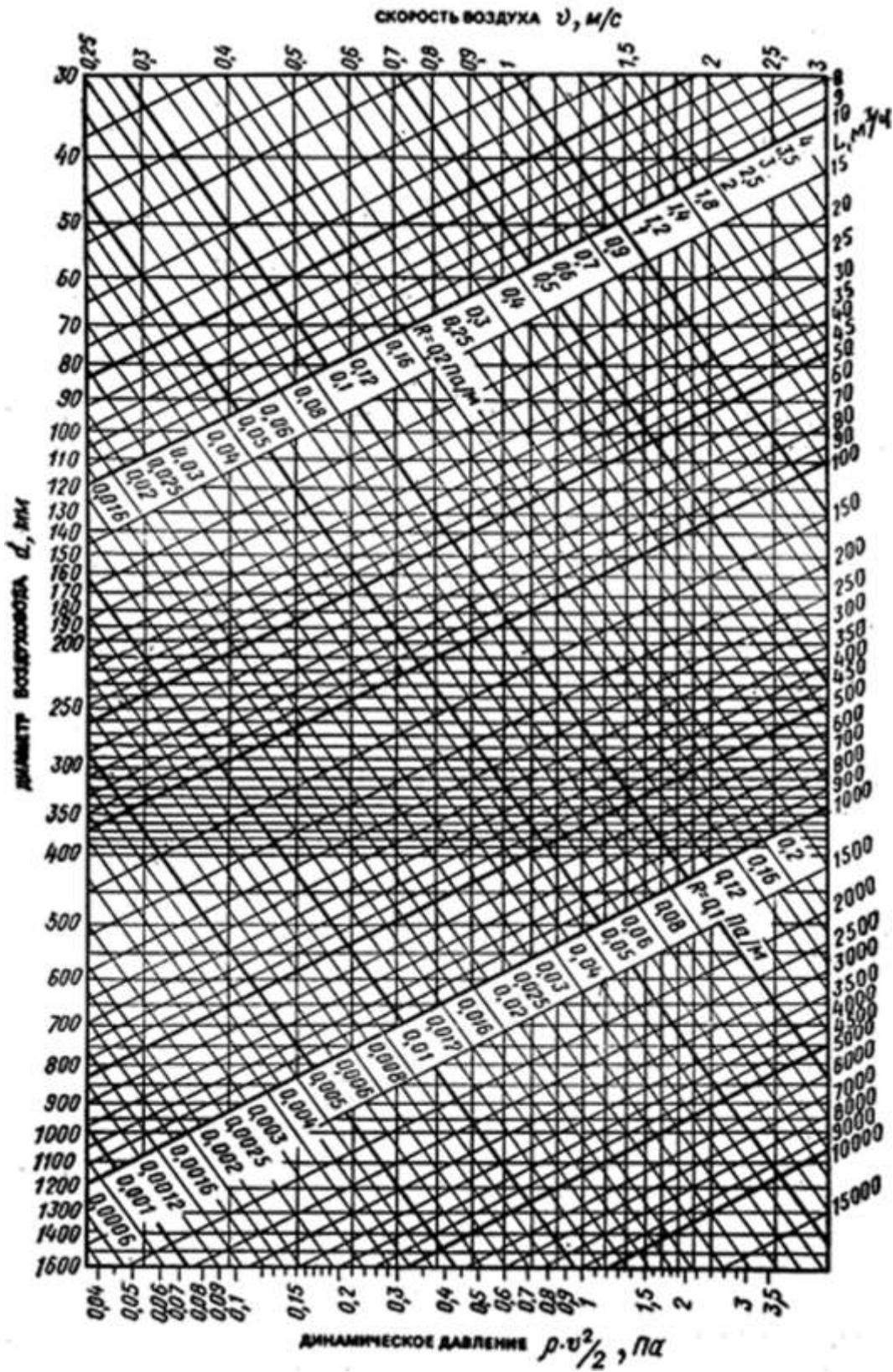
1	2	3																																																																												
<p>Тройник под углом 90° на вытяжке воздуха</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Для прохода воздуха</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">F_n/F_c</th> <th colspan="5">ξ при L_n/L_c</th> </tr> <tr> <th>0,2</th> <th>0,4</th> <th>0,6</th> <th>0,7</th> <th>0,8</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</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>0,4</td> <td>1</td> <td>2,8</td> <td>5,2</td> <td>12,3</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> <td>1,6</td> <td>2,8</td> <td>623</td> </tr> <tr> <th colspan="6">Для ответвления</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">F_c/F_n</th> <th colspan="5">ξ при L_n/L_c</th> </tr> <tr> <th>0,1</th> <th>0,2</th> <th>0,4</th> <th>0,6</th> <th>0,7</th> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,3</td> <td>0,9</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> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-9,4</td> <td>-0,6</td> <td>1</td> <td>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> </tr> </tbody> </table>	Для прохода воздуха						F_n/F_c	ξ при L_n/L_c					0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,1	0,5	1,5	4,4	8,4	20	0,4	0,4	1	2,8	5,2	12,3	1	0,4	0,7	1,6	2,8	623	Для ответвления						F_c/F_n	ξ при L_n/L_c					0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,1	0,3	0,9	1	1	1	0,2	-1,7	0,6	1	1	1	0,4	-9,4	-0,6	1	1	1,1	0,6	-21	-2,7	0,9	1,1	1,2
Для прохода воздуха																																																																														
F_n/F_c	ξ при L_n/L_c																																																																													
	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8																																																																									
0,1	0,5	1,5	4,4	8,4	20																																																																									
0,4	0,4	1	2,8	5,2	12,3																																																																									
1	0,4	0,7	1,6	2,8	623																																																																									
Для ответвления																																																																														
F_c/F_n	ξ при L_n/L_c																																																																													
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7																																																																									
0,1	0,3	0,9	1	1	1																																																																									
0,2	-1,7	0,6	1	1	1																																																																									
0,4	-9,4	-0,6	1	1	1,1																																																																									
0,6	-21	-2,7	0,9	1,1	1,2																																																																									
<p>Выход с плавным поворотом потока воздуха через расширительный патрубок</p>		<p>$\xi = 1,7$ при живом сечении сетки 80% $r = 0,2d$; $R = 1,2d$ $b = 0,7d$; $l = 1,25d$; $k = 1,8d$</p>																																																																												
<p>Вход с поворотом потока воздуха (в отверстие с острыми краями)</p>	<p>Щель в конце воздуховода</p> <p>Жалюзийная решётка</p> 	<p>$\xi = 2$</p>																																																																												

1	2	3					
Выход с поворотом потока воздуха		$\xi = 2,5$					
Вытяжная шахта с диффузором		H/D	0,3	0,4	0,6	0,9	1
Вытяжная шахта с зонтом		$\xi = 1,3$					

Окончание приложения 13

1	2	3				
Колено круглое, квадратное и прямоугольное		α	30	45	60	90
		ξ	0,16	0,32	0,56	1,2
		Для прямоугольных колен умножить на c				
		b/a	0,25	0,5	1	1,5
		c	1,1	1,07	1	0,95

Номограмма для расчета круглых стальных воздуховодов



Для заметок

Учебно-методическое издание

Расчет отопления и вентиляции здания : учебно-методическое пособие для студентов 3 курса направления подготовки 08.03.01 «Строительство» очной и очно-заочной форм обучения / М.А. Трофимов. 4-е изд., испр.— Карачаево : Костромская ГСХА, 2024. — 54 с.

Учебное пособие издаётся в авторской редакции