

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

А. Б. НЕВЗОРОВА

ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

*Утверждено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений высшего образования
по специальностям «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных
ресурсов», «Промышленное и гражданское строительство»,
«Экспертиза и управление недвижимостью»*

Гомель 2014

УДК 697.1/8(075.8)
ББК 38.762.1
Н40

Р е ц е н з е н т ы: кафедра «Теплогаснабжэне и вэнтэляцыя» Палочкага дзяржаўнага ўніверсітэта (зав. кафедрай кандыдат тэхнічных навук, дацэнт Т. І. Каралева); зав. кафедрай «Тэплогаснабжэне и вэнтэляцыя» УО «Брэстскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт», кандыдат тэхнічных навук, дацэнт В. Г. Новосельцэв

Невзорова, А. Б.

Н40 Теплогаснабжэне, атоплэне и вэнтэляцыя : учеб. / А. Б. Невзорова ; М-во абразавання Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 279 с.
ISBN 978-985-554-323-8

Рассмотрены теоретические и практические вопросы по обеспечению теплового режима зданий, теплотехнического расчета ограждающих конструкций, проектирования систем отопления и вентиляции зданий с учетом энергосберегающих технологий, приведены обзор систем кондиционирования воздуха, сведения по тепло- и газоснабжению зданий и основам эксплуатации соответствующего оборудования и систем.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Промышленное и гражданское строительство», «Экспертиза и управление недвижимостью». Будет полезно студентам других специальностей и заинтересованным в этой области читателям.

**УДК 697.1/8(075.8)
ББК 38.762.1**

ISBN 978-985-554-323-8

© Невзорова А. Б., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ АВТОРА	6
1 ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ	8
1.1 Понятие о тепловом комфорте помещения.....	8
1.2 Условия комфортности температурной обстановки в помещении.....	11
1.3 Формирование микроклимата помещения в зависимости от влажности и подвижности воздуха.....	13
1.4 Инженерные системы, обеспечивающие нормативные параметры микроклимата.....	15
1.5 Характеристика наружного климата холодного периода года.....	15
2 СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА	18
2.1 Основы теории теплопередачи.....	18
2.2 Теплозащитные свойства ограждающих конструкций.....	22
2.3 Сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче.....	24
2.4 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций.....	27
2.5 Воздухопроницаемость конструкций дома.....	32
2.6 Учет влажности материалов при расчете теплопередачи.....	35
2.7 Теплоустойчивость ограждений.....	35
3 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ	37
3.1 Общие сведения об отоплении.....	37
3.2 Общие сведения о теплообменных аппаратах.....	39
3.3 Общая классификация систем отопления.....	41
3.4 Основные принципы выбора и проектирования систем отопления.....	44
3.5 Область применения парового отопления.....	46
3.6 Воздушное отопление.....	48
3.6.1 Основные схемы.....	50
3.6.2 Расчет количества и температуры воздуха.....	52
3.6.3 Отопительные агрегаты.....	55
3.7 Панельно-лучистое отопление.....	56
3.7.1 Потолочные и стеновые панели.....	59
3.7.2 Напольное отопление.....	61
3.8 Местное отопление.....	62
3.8.1 Печное отопление.....	62
3.8.2 Инфракрасное отопление.....	68
3.8.3 Электрическое отопление.....	72
4 ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ	74
4.1 Тепловой баланс помещения.....	74

4.2	Определение площади ограждений.....	75
4.3	Потери теплоты через ограждающие конструкции помещений.....	76
4.4	Удельная тепловая характеристика здания.....	78
4.5	Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий	80
5	ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.....	81
5.1	Требования, предъявляемые к отопительным приборам.....	81
5.2	Классификация отопительных приборов.....	82
5.3	Характеристика отопительных приборов.....	84
5.4	Выбор и размещение отопительных приборов.....	93
5.5	Определение площади поверхности отопительных приборов.....	97
5.6	Основные типы приборных узлов и способы их подключения.....	102
5.7	Регулирование теплоотдачи отопительных приборов.....	105
6	СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ.....	110
6.1	Теплопроводы системы отопления: размещение и прокладка в здании.....	110
6.2	Размещение запорно-регулирующей арматуры.....	114
6.3	Материал теплопроводов.....	115
6.4	Удаление воздуха из системы отопления.....	118
6.5	Классификация и основные схемы систем водяного отопления.....	123
6.6	Поквартирная разводка систем отопления.....	129
6.7	Отопление высотных зданий.....	134
6.8	Гидравлический расчет типовых систем водяного отопления.....	139
6.9	Особенности гидравлического расчета поквартирных систем водяного отопления.....	147
7	ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ.....	152
7.1	Требования к воздушной среде помещения.....	152
7.2	Назначение вентиляции и классификация вентиляционных систем.....	156
7.3	Исходные данные для расчета вентиляции.....	163
7.4	Определение воздухообмена в помещениях.....	164
7.5	Схемы организации воздухообмена.....	166
7.6	Естественная вентиляция в жилых зданиях.....	169
7.7	Вентиляционные каналы.....	171
7.8	Аэродинамический расчет воздуховодов.....	172
7.9	Механическая вентиляция для жилых зданий.....	176
7.10	Рекуператоры (теплоутилизаторы).....	180
7.11	Воздушно-тепловые завесы.....	184
7.12	Механическая вентиляция промышленных зданий.....	188
7.13	Оборудование систем вентиляции.....	190
8	КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА.....	192
8.1	Классификация систем кондиционирования воздуха.....	192
8.2	Типы кондиционеров.....	193
8.3	Принцип действия кондиционера.....	199
8.4	Подбор кондиционеров.....	200
8.5	Инверторный кондиционер.....	200
8.6	Расчет мощности кондиционера для внутренних помещений гражданских зданий.....	201
8.7	Проект системы кондиционирования.....	205

9 ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ	206
9.1 Общие сведения о видах топлива и его свойствах.....	206
9.2 Системы теплоснабжения и потребление тепловой энергии.....	208
9.3 Классификация тепловых сетей.....	211
9.4 Способы прокладки тепловых сетей.....	213
9.5 Строительные работы, выполняемые при прокладке тепловых сетей.....	219
9.6 Присоединение потребителей к тепловым сетям.....	219
9.7 Регулирование расхода теплоты в системах отопления.....	221
9.8 Тепловой пункт системы водяного отопления.....	225
9.9 Схемы присоединения систем водяного отопления к сетям централизованного теплоснабжения.....	230
9.10 Теплоснабжение строительных площадок.....	240
9.11 Нетрадиционные способы теплоснабжения жилых зданий.....	243
9.12 Энергосбережение в теплоснабжении зданий и сооружений.....	246
10 ГАЗОСНАБЖЕНИЕ	248
10.1 Свойства газа.....	248
10.2 Устройство газовых сетей.....	249
10.3 Прокладка внутридомовых газопроводов.....	253
10.4 Бытовое и промышленное газовое оборудование.....	254
10.5 Газовое отопление.....	258
11 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	261
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	265
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	266
ПРИЛОЖЕНИЕ А Контрольные вопросы.....	269
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Расчетная температура воздуха и кратность воздухообмена в помещениях жилых зданий (по СНБ 3.02.04–03).....	271
ПРИЛОЖЕНИЕ В Нормативные удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых зданий (по СНБ 4.02.01–03).....	272
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Данные для гидравлического расчета трубопроводов сис- тем водяного отопления.....	273
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Номограмма для определения потерь давления на трение в круглых воздуховодах естественной вентиляции.....	275
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Основные термины и определения.....	276

ОТ АВТОРА

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха имеют многовековую историю. Их развитие неразрывно связано с историей человечества, и по их уровню можно косвенно судить об уровне развития цивилизации. Костер (каменный век), камин, печь (начало нашей эры и средние века), воздушное отопление с подачей в помещение теплого воздуха (Римская Империя и XV век), системы водяного и парового отопления (XVII–XVIII вв.), изобретение отопительного прибора (1855 г.), создание лучистого и панельного отопления, развитие систем центрального отопления, теплофикации и централизованного теплоснабжения (начало XX века и до наст. вр.).

Если говорить о современных зданиях, то они просто немыслимы без систем жизнеобеспечения людей. Сегодня в любом жилом доме или промышленном сооружении предусмотрены не только системы водоснабжения и канализации, но и системы тепло-, электро- и газоснабжения.

Важность теплотехнической подготовки инженера-строителя определяется тем, что инженерные сети систем жизнеобеспечения (например, отопление, вентиляция и др.) являются составными технологическими элементами современных зданий и на них приходится значительная часть капитальных вложений, энергетических затрат и эксплуатационных расходов. Поэтому в учебнике нашли свое отражение современные тенденции проектирования таких систем с учетом энергосберегающих технологий. Особое значение уделяется вопросам экономии топливно-энергетических ресурсов при оснащении инженерно-технических систем счетчиками, приборами контроля и автоматического поддержания в помещении температуры воздуха с целью обеспечения теплового комфорта.

В учебнике дается общая информация о теоретических положениях и структуре всего курса, приводятся основные определения,

раскрываются области практического приложения. Все это позволяет студенту понять место дисциплины среди других учебных курсов, так как учебник написан в соответствии с требованиями образовательных стандартов Республики Беларусь: ОСВО 1-70 04 03-2013 (специальность «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»), ОСВО 1-70 02 01-2013 (специальность «Промышленное и гражданское строительство»), ОСВО 1-70 02 02-2013 (специальность «Экспертиза и управление недвижимостью») для студентов дневного и заочной форм обучения.

Согласно стандартам выпускник (современный инженер-строитель гражданских и промышленных зданий и сооружений) должен знать: условия формирования микроклимата помещений, определение его параметров; устройство систем отопления, теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха и газоснабжения; принципы расчетов систем отопления и естественной вентиляции зданий; современные подходы к строительству и прокладке инженерных сетей с использованием новых материалов и конструкций; состав строительных работ, выполняемых до и при прокладке инженерных систем. А также уметь рассчитать тепловой баланс помещений зданий; выполнять расчеты и анализ тепловлажностного режима ограждающих конструкций зданий; принимать решения по проектированию систем отопления и вентиляции жилых зданий; выполнять теплотехнический расчет системы водяного отопления и расчет систем естественной вытяжной вентиляции.

Представленный в учебнике материал является лишь ориентиром в море разнообразной информации по отоплению, вентиляции и теплогазоснабжению и носит практикоориентированный характер. Поэтому надеюсь, что содержание данного учебника будет полезно не только студентам, но и читателям, интересующимся вопросами, как сделать свои микроклиматические условия проживания более комфортными за счет совершенствования работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Невзорова Алла Брониславовна,
доктор технических наук, профессор,
декан факультета магистерской подготовки и профориентации
УО «Белорусский государственный университет транспорта»

1 ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ

1.1 Понятие о тепловом комфорте помещения

В каждом обогреваемом здании необходимо создавать и поддерживать тепловой режим в зависимости от его назначения и предъявляемых санитарно-гигиенических требований. *Тепловым режимом* здания называют его общее тепловое состояние в течение отопительного сезона, рассматриваемое как совокупность тепловых условий в помещениях. Тепловой режим может быть равномерным в зданиях с постоянным пребыванием людей, иметь суточные, недельные и другие циклы изменения, связанные с периодической деятельностью людей и использованием зданий.

В общем тепловой комфорт можно определить как приятные ощущения человека в отапливаемом пространстве.

На тепловые ощущения человека и его комфорт влияют несколько факторов, из которых самими важными являются:

- температура воздуха в помещении t_b (°C);
- температура внутренних поверхностей, ограничивающих помещение, – t_R (°C);
- скорость воздуха в помещении – v (м/с);
- тепловое сопротивление одежды – R_e (Вт/(м²·°C));
- уровень активности человека – Q (Вт);
- относительная влажность среды – ϕ (%).

Температура воздуха в помещении t_b обычно относится к первичным критериям оценки теплового состояния отапливаемого помещения. Этот критерий вместе со скоростью перемещения воздуха определяет конвекционную передачу теплового потока от человека к окружающему его пространству.

В отапливаемых помещениях при $t_{в} = 18...20$ °С допускается движение воздуха не более 0,1–0,3 м/с. Идеальное отопление должно обеспечить такое вертикальное распределение воздуха в помещении, при котором температура на уровне высоты головы человека (приблизительно 1,7 м над полом) была бы примерно на 2 °С ниже, чем на уровне 10 см над полом.

Значительное влияние на тепловой комфорт человека имеет температура t_{R} , которая должна быть такой, чтобы разница температур стен и пола и температуры воздуха составляла не более 7 °С, если человек, например, отдыхает, и не более 10 °С, если он работает физически.

Среднее арифметическое значение эффективной температуры стен и температуры воздуха в помещении можно определить как внутреннюю температуру в помещении $t_{п}$.

Если влажность воздуха в помещении варьируется в диапазоне 40–60 %, она не влияет на ощущение теплового комфорта человека.

Остальные факторы, влияющие на тепловой комфорт в помещении, можно определить как принадлежащие к более широкому набору микроклиматических условий. К ним относятся: частицы пыли в воздухе; микроорганизмы или бактерии; газы, испарения и запахи разного типа; содержание ионов в воздухе.

Благодаря метаболизму в организме человека непрерывно вырабатывается и передается окружающей среде теплота, причем организм стремится сохранять постоянную температуру тела (36,6 °С).

Тепловой баланс организма человека складывается из теплоты, вырабатываемой организмом и воспринимаемой им из внешней среды, и расходуемой теплоты, отдаваемой им во внешнюю среду (рисунок 1).

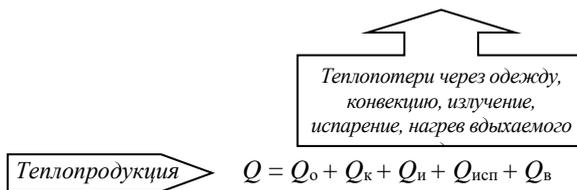


Рисунок 1 – Схема терморегуляции человека

Интенсивность теплоотдачи с поверхности тела человека зависит от его физического состояния, рода занятий, окружающей среды, а

также от *температуры воздуха*, влияющей на конвективный теплообмен, и от *температуры, размеров и расположения охлажденных и нагретых поверхностей*, определяющих радиационный теплообмен. Оказывают влияние также *скорость движения и относительная влажность воздуха* в помещении.

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Нормальное протекание физиологических процессов в организме человека возможно лишь тогда, когда выделяемая организмом избыточная теплота непрерывно отводится в окружающую среду, которая способна её полностью воспринять. В этих условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений холода или перегрева.

Величина теплообразования в организме изменяется в зависимости от метаболических функций организма, его возраста, работы мышц и ряда других факторов. Второй элемент теплового баланса – теплопотери – находится в прямой связи с микроклиматическими условиями помещения. Так, если воздух помещения имеет низкую температуру, потеря теплоты организмом увеличивается и, наоборот, с повышением температуры воздуха – уменьшается.

Нарушение теплового баланса человека ухудшает его самочувствие и трудоспособность. Тепловыделение человека зависит от его возраста, веса, деятельности. В спокойном состоянии взрослый человек отдает окружающей среде ~120 Вт, при легкой работе – до ~250, при тяжелой – до ~500 Вт. Большая доля тепла передается лучеиспусканием (~55 %), меньшая – конвекцией (14–30 %) и испарением.

Таким образом, *тепловой комфорт* – это наиболее предпочтительное (комфортное) тепловое состояние организма человека; характеризуется определенным содержанием и распределением теплоты в поверхностных и глубоких тканях тела при минимальном функциональном напряжении системы терморегуляции.

Тепловой комфорт является неотъемлемой составляющей частью микроклимата помещения и определяется основными физическими параметрами: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха. В зависимости от их сочетания они могут быть оптимальными, допустимыми и дискомфортными.

Оптимальные параметры микроклимата – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное

тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении.

Допустимые параметры микроклимата – сочетания количественных показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызывать преходящие и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния организма, сопровождающиеся напряжением механизмов терморегуляции, не выходящим за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности

Условия окружающей среды, при которых нормальное тепловое состояние человека нарушается, называют *дискомфортными*.

1.2 Условия комфортности температурной обстановки в помещении

Внутренние тепловые условия в помещении (микроклимат) могут быть заданы с 3 позиций: комфортность для человека, оптимальность для технологического процесса, комфортно-технологические требования. Рассмотрим первую позицию.

Организм имеет систему терморегуляции, позволяющую человеку приспособляться к изменению тепловых условий. Однако эта способность организма ограничена небольшим интервалом температуры.

За расчетную температуру воздуха t_v принимают температуру на высоте 1,5 м от пола и не ближе 1 м от наружной стены.

За радиационную температуру помещения t_R принимают осредненную по площади температуру внутренних поверхностей ограждений помещения и отопительных приборов.

Комплексный показатель радиационной температуры помещения t_R и температуры воздуха помещения t_v отражается в результирующей температуре помещения – t_p .

Комфортные условия в помещении условно можно разделить на условия общего и локального теплового комфорта для находящихся в нем людей. В связи с этим различают первое и второе условия комфортности.

Первое (общего теплового комфорта) устанавливает связь между

радиационной температурой помещения и температурой внутреннего воздуха, при которых человек, находясь в центре обслуживаемой зоны, не испытывает перегрева или переохлаждения.

Обычно для спокойного состояния человека температура $t_{п}$ должна быть 21–23 °С, при легкой работе – 19–20 °С, при тяжелой – 14–16 °С. Для холодного периода года первое условие характеризуется формулой

$$t_R = 1,57 t_{п} - 0,57 t_{в} \pm 1,5. \quad (1)$$

Второе условие комфортности определяет локальный тепловой комфорт. Оно ограничивает интенсивность радиационного теплообмена человека, находящегося на границе обслуживаемой зоны, с нагретыми или охлажденными поверхностями.

Поэтому **второе** условие комфортности температурной обстановки определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека на границах обслуживаемой зоны помещения, т. е. в непосредственной близости от этих поверхностей.

Влияние температуры $t_{в}$ и t_R на комфортное состояние человека приведено на рисунке 2. Опытами установлено, что для приблизительного соблюдения условий температурного комфорта понижению температуры $t_{в}$ должно соответствовать определенное повышение температуры t_R . Голова человека чувствительнее к радиационному перегреву и переохлаждению, а для ног важны температура поверхности пола, которая может быть ниже температуры воздуха помещения не более чем на 2–2,5 °С, поскольку с ней соприкасается стопа человека, и отсутствие холодных токов воздуха вдоль пола.

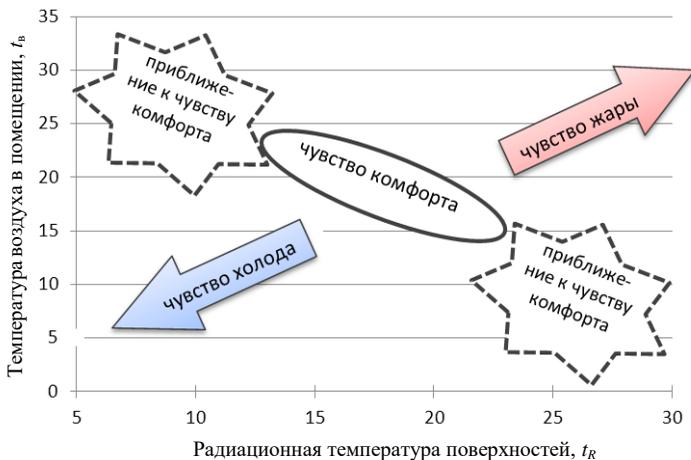


Рисунок 2 – Влияние сочетаний температур t_R и t_B на комфортные условия состояния человека

Заметная разница между t_R и t_B возникает при панельном (лучистом) или воздушном (конвективном) отоплении, а также при сильно развитых холодных поверхностях наружных ограждений в помещении (две и более наружных поверхностей).

Комфортные параметры внутреннего микроклимата зависят от индивидуальных характеристик и требований людей.

Поэтому параметры внутреннего микроклимата должны иметь возможность индивидуального регулирования с целью соответствия субъективным ощущением комфорта потребителя.

1.3 Формирование микроклимата помещения в зависимости от влажности и подвижности воздуха

Но не только температурные параметры определяют микроклимат в помещении. Условия теплового комфорта всегда определяются с учетом относительной влажности φ_B и скорости движения воздуха v в помещении.

Влияние влажности на организм человека неразрывно связано с температурой воздуха. Повышенная или низкая влажность воздуха усиливает неблагоприятное воздействие на человека и окружающую среду как высоких, так и низких температур.

Рассмотрим основные зоны влияния **относительной влажности и температуры** на ощущения человека.

Зоны дискомфорта:

а) $\varphi_B > 60 \%$, $t_B > 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Высокая влажность в сочетании с повышенной температурой воздуха способствует перегреванию организма вследствие затруднения отдачи теплоты путем испарения воды с поверхности кожи. В результате перегревания наблюдаются ухудшение самочувствия, ощущение тяжести и духоты, понижается работоспособность и т. д. Также это оказывает влияние и на состояние окружающей обстановки: наблюдается образование плесени, появление пылевых клещей;

б) $\varphi_B > 60 \%$, $t_B < 16 \text{ }^\circ\text{C}$. Высокая влажность в сочетании с низкой температурой воздуха способствует охлаждению организма человека. Это объясняется тем, что теплоемкость водяных паров больше теплоемкости воздуха, поэтому на нагревание холодного сырого воздуха расходуется больше теплоты. В результате конденсации влаги из воздуха кожа и ткани одежды увлажняются и

становятся более теплопроводными (теплопроводность воды в 25 раз больше теплопроводности воздуха).

Продолжительное пребывание людей в сырых, плохо отапливаемых помещениях понижает сопротивляемость организма к простудным, инфекционным и другим заболеваниям. Сырой воздух вреден для организма человека как при высокой, так и при низкой температуре;

в) $\varphi_{\text{в}} < 40 \%$, $t_{\text{в}} > 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. При этих значениях у человека возникает сухость кожи и слизистых дыхательных путей, кроме того, в воздухе повышается содержание пыли, возникает опасность появления электростатического заряда на поверхности ковровых покрытий, возрастает воздействие на человека бактерий, вирусов, происходит обострение аллергии.

Зона пограничного комфорта: $\varphi_{\text{в}} = 0 \dots 40 \%$, $t_{\text{в}} < 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Небольшая влажность помогает легче переносить низкую температуру воздуха. Также и колебания температуры в сухом климате человек выдерживает легче, чем в сыром.

Зона комфорта: оптимальной относительной влажностью считают $\varphi_{\text{в}} = 40 \dots 60 \%$, допустимые граничные параметры – 30 и 70 %, при температурном интервале $16 \leq t_{\text{в}} \leq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для поддержания нормативной влажности воздуха в жилых помещениях необходимо соблюдать нормативы по воздухообмену, изолировать стены зданий от атмосферной влаги и др.

Подвижность воздуха определяется скоростью его движения – это усредненная по объему обслуживаемой зоны скорость движения воздуха. В жилых помещениях принято считать нормальной скоростью движения воздуха $v = 0,1 \dots 0,3 \text{ м/с}$ зимой и $0,2 \dots 0,5 \text{ м/с}$ летом.

При меньшей скорости имеет место недостаточный воздухообмен, ощущение застойного, неподвижного и спертого воздуха, при этом резко ухудшается терморегуляция организма человека и затрудняется дыхательный процесс

Скорость движения воздуха, превышающая $0,3 \text{ м/с}$, вызывает неприятное ощущение сквозняка, который, как правило, является причиной простудных заболеваний.

Таким образом, оптимальные параметры микроклимата формируются из совокупного воздействия внутренней температуры $t_{\text{в}}$, влажности $\varphi_{\text{в}}$, скорости воздуха v и температур внутренних поверхностей $t_{\text{Р}}$ (ограждений, мебели и т.д.), что и обеспечивает комфортность среды.

С гигиенической точки зрения наиболее благоприятный уровень температуры, поддерживаемой в жилом помещении, составляет 22 °С, а допустимые колебания от 21 до 23 °С и подвижность воздуха в пределах от 0,1 до 0,3 м/с. Более низкая температура воздуха, рекомендуемая в нормативных материалах при проектировании отопительных систем 18 °С, оценивается человеком как «прохладно».

Допустимые и оптимальные параметры воздушной среды – температура, влажность и подвижность воздуха, а также гигиенические требования к ней в зависимости от назначения помещения и времени года регламентируются нормативно-техническими документами Рес-публики Беларусь СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», СНБ 3.02.04-03 «Жилые здания».

1.4 Инженерные системы, обеспечивающие нормативные параметры микроклимата

Для создания комфортного микроклимата в помещении используются следующие инженерные системы:

в холодный период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха, равной 8 °С и ниже, – различные **системы отопления и вентиляции**, увлажнения воздуха.

В зимний период времени (при работающей системе отопления) параметры температурно-влажностного состояния помещений определяются тепловой мощностью системы отопления и теплозащитными качествами наружных ограждающих конструкций зданий.

В тёплый период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха выше 8 °С, – **системы вентиляции и кондиционирования** воздуха.

В летний период (при отключённой системе отопления) в помещении с некондиционируемым микроклиматом формируется температурно-влажностный режим, близкий по параметрам к наружной воздушной среде, а его параметры определяются теплозащитными качествами наружных ограждающих конструкций и естественным воздухообменом в помещении.

Значения параметров микроклимата следует принимать согласно нормативной базе в зависимости от назначения помещения, категории работ и периода года, исходя из требований комфорта для находящихся в помещении людей и (или) нормального

протекания технологического процесса.

1.5 Характеристика наружного климата холодного периода года

Продолжительность отопительного сезона зависит от географического местоположения здания. Начало и окончание работы системы отопления должно отвечать созданию оптимального микроклимата в помещениях здания в холодный период года. Для жилых и общественных зданий отопительный сезон определяется как отрезок времени со среднесуточной температурой наружного воздуха $t_n < + 8$ °С. При этом необходимо учитывать параметры наружной среды, к которым относятся температура наружного воздуха, скорость ветра, зона влажности в районе строительства, интенсивность солнечной радиации.

Наиболее значимым параметром холодного периода года для выбора теплозащитных конструкций наружных ограждений и определения мощности системы отопления считается температура наружного воздуха t_n . Приводимые ТКП 45-2.04-43–2006 и СНБ 2.04.02–2000, а также в таблице 1 расчетные параметры температур наружного воздуха базируются на статистических наблюдениях, проводимых по всем областям Республики Беларусь в течение последних 50 лет. Для расчета приняты значения расчетной t_n для каждого географического пункта Республики Беларусь. Эти температуры определены по восьми суровым зимам за последние пятьдесят лет, т. е. в нормативной методике с учетом принятого ряда метеорологических данных заложен коэффициент обеспеченности 0,92.

Таблица 1 – Расчетные климатические характеристики отопительного периода для РБ [2]

Область	Температура наружного воздуха t_n , °С			Продолжительность отопительного периода Z, сут	Средняя температура отопительного периода $t_{н.от.п.}$, °С	Средняя скорость ветра в зимний период времени v, м/с
	наиболее холодных суток $t_{11}^{0,98}$	наиболее холодных суток $t_{11}^{0,92}$	наиболее холодной пятидневки $t_{15}^{0,92}$			
Минская	–33	–28	–24	$\frac{202}{220}$	$\frac{-1,6}{-0,9}$	4,05
Гомельская	–32	–28	–24	$\frac{194}{212}$	$\frac{-1,6}{-0,8}$	4,3
Гродненская	–31	–26	–22	$\frac{194}{213}$	$\frac{-0,5}{-0,4}$	5,3

Витебская	-37	-31	-25	$\frac{207}{222}$	$\frac{-2,0}{-1,4}$	5,3
Брестская	-31	-25	-21	$\frac{187}{205}$	$\frac{0,2}{0,8}$	3,6
Могилевская	-34	-29	-25	$\frac{204}{221}$	$\frac{-1,9}{-1,1}$	5,0
<i>Примечание</i> – Над чертой отопительный период начинается при температуре наружного воздуха 8 °С, под чертой – при 10 °С.						

Годовые затраты теплоты на отопление зависят от продолжительности отопительного сезона Z и средней наружной температуры воздуха $t_{н.от.п.}$.

В последнее десятилетие теплозащита зданий была значительно улучшена, поэтому расчетной t_n для теплотехнического расчета ограждающих конструкций стала средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_{i5}^{0,92}$. Эта же температура является расчетной и для определения теплопотерь зданий.

Обеспеченность условий показывает в долях единицы или процентах число случаев, когда недопустимо отклонение от расчетных условий. Зная коэффициент обеспеченности, можно сказать, в скольких случаях возможно отклонение от расчетных условий. Например, если $k_{об.п} = 0,92$, это означает, что только в четырех зимах из 50 (или в 8 из 100) в периоды наибольших зимних похолоданий могут быть отклонения условий в помещении от расчетных.

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания может быть оптимизировано за счет выбора формы здания (для зданий прямоугольной формы принимаются в расчет такие параметры, как его размеры и ориентация), расположения и площадей заполнения световых проемов, регулирования фильтрационных потоков.

Методология проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха основана на расчетах тепловых и воздушных балансов здания для характерных периодов года. Например, для Беларуси этими периодами года являются наиболее холодная пятидневка, отопительный период, самый жаркий месяц, переходный период, расчетный год.

В этом случае оптимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания за счет выбора его формы и ориентации даст следующие результаты:

- для наиболее холодной пятидневки – снижение установочной мощности системы отопления;
- для отопительного периода – снижение затрат теплоты на

отопление;

- для самого жаркого месяца – снижение установочной мощности системы кондиционирования воздуха;

- для переходного периода – снижение затрат энергии на нагрев (или охлаждение) внутреннего воздуха в помещениях здания;

- для расчетного года – оптимизация затрат энергии на обогрев здания.

2 СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

Строительная теплофизика – научная дисциплина, рассматривающая процессы передачи теплоты, переноса влаги и поступление воздуха в здания через их конструкции и разрабатывающая инженерные методы расчёта этих процессов. Большое значение в строительной теплофизике имеет методика определения теплофизических характеристик строительных материалов и конструкций, которая используется при проектировании ограждающих конструкций, предназначенных для создания необходимых температурно-влажностных и санитарно-гигиенических условий (с учётом действия систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) в жилых, общественных и производственных зданиях.

В данном разделе рассматриваются только те законы теплофизики, которые позволяют инженеру-строителю увязать материал ограждающих конструкций и их толщину с инженерными сетями отопления и вентиляции, эффективно защищающими человека от холода и создающими тепловой и воздушный микроклимат в помещениях здания.

2.1 Основы теории теплопередачи

Передача теплоты в среде происходит при наличии разности температур. При этом теплота распространяется из области повышенных температур в область пониженных. Например, зимой в отапливаемых зданиях теплопередача происходит через наружные ограждения из здания, а летом при сильном нагреве поверхностей стен за счет солнечной радиации – в здание. Чем больше эта разность, тем интенсивнее происходит теплообмен.

Теплообмен – это самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты (точнее, энергии в форме теплоты) между телами

или в пространстве с различной температурой.

Движущиеся среды, участвующие в теплообмене и интенсифицирующие его, называются *теплоносителями* (обычно капельные жидкости, газы и пары, реже – сыпучие материалы).

Известны два основных способа проведения тепловых процессов: путем теплоотдачи и теплопередачей.

Теплоотдача – теплообмен между поверхностью раздела фаз (чаще твердой поверхностью) и теплоносителем.

Теплопередача – теплообмен между двумя теплоносителями или иными средами через разделяющую их твердую стенку либо межфазную поверхность.

Существует три простых вида теплообмена, различных по своей природе: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Теплопроводность – молекулярный процесс переноса теплоты в сплошной среде (твердой, жидкой или газообразной), обусловленный наличием градиента (перепада) температуры.

Количественным показателем способности конкретного вещества проводить тепловую энергию служит коэффициент теплопроводности материалов λ (Вт/(м·°C)) – это количество теплоты, Дж, переносимой через 1 м² изотермической поверхности в единицу времени при разности температур поверхностей ограждения, равной единице. Например, если теплопроводность стали $\lambda = 50$ Вт/(м·°C), это означает, что при изменении температуры на расстоянии 1 м на 1 К через 1 м² изотермической поверхности внутри стали проводится тепловая мощность 50 Вт.

Для расчетов значения λ принимают по справочным таблицам. Для сравнения λ некоторых материалов их значения приведены ниже (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициент теплопроводности различных материалов

Материал	λ , Вт/(м·°C)
Газы и пар	0,005–0,5
Воздух при $t = 0$ °C	0,02
Жидкости	0,08–0,7
Вода	0,06
Медь	395
Алюминий	210
Висмут	8
Гранит	3,5
Железобетон	1,69
Кирпич	0,3

Древесина	0,09
Пенополистирол	0,04

Если $\lambda < 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, то эти материалы относятся к теплоизоляционным. Определяется λ экспериментальным путем и зависит от температуры, плотности, структуры, пористости и влажности материала. Для большинства случаев увеличение плотности, влажности и температуры материала приводит к повышению величины λ . Так, если для сухого кирпича $\lambda = 0,3$, то для влажного $\lambda = 0,9 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

Конвекция – процесс переноса теплоты в жидкой, газообразной или сыпучей средах из области с одной температурой в область с другой. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью.

Его наиболее распространенный случай – *теплоотдача* – конвективный теплообмен между движущейся средой и поверхностью ее раздела с другой средой (твердым телом, жидкостью или газом).

Существует конвекция естественная, которая возникает за счет температурного перепада в пределах среды, и искусственная, вызванная каким-либо внешним возбуждением, например, работой вентилятора.

При движении среды у поверхности твердого тела за счет разности температур возникает *конвективный теплообмен*. Количество теплоты в этом случае определяется *законом Ньютона–Рихмана*

$$Q = \alpha F (t^{\text{ст}} - t^{\text{ж}}), \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$;

$t^{\text{ст}}$ и $t^{\text{ж}}$ – соответственно температуры стенки и жидкости (или газа), $^{\circ}\text{C}$.

Обычно при инженерных расчетах определяется конвективный теплообмен между жидкостью (газом) и твердой стенкой, называемый теплоотдачей. Согласно закону Ньютона–Рихмана тепловой поток Q от стенки к жидкости пропорционален поверхности теплообмена и разности температур между температурой твердой стенки $t^{\text{ст}}$ и температурой жидкости $t^{\text{ж}}$.

Физический смысл α – количество теплоты, которым обмениваются среда и 1 м^2 поверхности твердого тела при разности температур между ними в один градус за единицу времени $\text{Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$.

Главная трудность расчета заключается в определении

коэффициента теплоотдачи α , зависящего от ряда факторов:

- характера конвекции (естественная или вынужденная);
- режима течения жидкости (ламинарное, вихревое, переходное, турбулентное);
- скорости движения теплоносителей;
- направления теплового потока (нагревание или охлаждение);
- физических свойств теплоносителей ($\lambda, c, \rho, \Delta t, \mu$);
- площади поверхности стенки F , омываемой теплоносителем;
- формы стенки, ее размеров и других факторов.

Тепловое излучение (лучистый теплообмен) – перенос теплоты от одних тел к другим электромагнитными волнами за счёт их тепловой энергии. В этом процессе внутренняя энергия тела превращается в энергию электромагнитного поля, поглощаемую другим телом и выделяемую в виде теплоты.

Закон Стефана-Больцмана определяет зависимость мощности излучения абсолютно чёрного тела от его температуры:

$$E = \sigma T^4, \quad (3)$$

где σ – постоянная Больцмана;

T – температура, К.

Из формулы видно, что при повышении температуры светимость тела возрастает в четвертой степени.

Тепловое излучение в основном приходится на инфракрасный участок спектра, т.е. на длины волн от 0,74 до 1000 мкм. Отличительной особенностью лучистого теплообмена является то, что он может осуществляться между телами, находящимися не только в какой-либо среде, но и в вакууме. Конечный результат такого обмена и представляет собой количество теплоты, переданной посредством излучения Q , которое называют эффективным излучением.

Различают радиационно-конвективный и радиационно-кондуктивный переносы теплоты.

Радиационно-конвективный – теплообмен, обусловленный совместным переносом теплоты излучением, теплопроводностью и конвекцией.

Радиационно-кондуктивный теплообмен – передача теплоты теплопроводностью и излучением.

Процессы передачи теплоты в зданиях и их ограждающих

конструкциях связаны со всеми видами теплопередачи, т.е. в реальных условиях происходит сложный теплообмен. При этом в воздушной среде у поверхности ограждений, в воздушных прослойках и пустотах преобладает теплообмен конвекцией и излучением. В твердых материалах строительных конструкций основным видом передачи тепла является теплопроводность.

В тепловых процессах внутри здания присутствуют все три вида теплообмена. В генераторе тепловой энергии (котле) за счет теплопроводности нагревается поверхность змеевика, далее за счёт конвекции теплоноситель теплоту передает отопительному прибору. В отопительном приборе теплота за счет теплопроводности переносится на наружную поверхность, где нагревает воздух вблизи отопительного прибора. За счет возникшей естественной конвекции воздух нагревает стены. Сквозь толщу стены тепло переходит за счет теплопроводности на ее наружную сторону, а от неё конвективным теплообменом – в окружающую атмосферу. Внутри двойной рамы окна теплота также передается конвекцией, и чем больше расстояние между стеклами, тем больше конвективный поток.

Теплотехнические свойства строительных материалов в основном определяются коэффициентом теплопроводности λ , который зависит от плотности материала ограждения, влажности воздуха, от средней температуры, при которой происходит теплопередача. Чем больше этот коэффициент, тем интенсивнее передается теплота. Наиболее характерна его зависимость от плотности (кг/м^3): чем плотнее материал, тем лучше он передает тепло, поэтому пористые материалы – хорошие теплоизоляторы. Увлажнение материала также повышает коэффициент теплопроводности, т.е. ухудшает теплоизолирующие свойства материалов.

2.2 Теплозащитные свойства ограждающих конструкций

К строительным ограждающим конструкциям относится всё то, что ограждает внутренние помещения здания от перепадов температур, влаги, ветра и др. Это – наружные стены; полы по грунту; покрытия, перекрытия над верхними этажами, подвалами, техническими подпольями, проездами; заполнения проемов (окна, витражи, витрины, двери, ворота); внутренние ограждающие конструкции между помещениями (ТКП 1-2.04-43–2006).

Ограждения зданий должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами и быть в достаточной степени воздухо- и влагонепроницаемыми.

Задача обеспечения необходимых теплотехнических качеств наружных ограждающих конструкций решается приданием им требуемых теплоустойчивости и сопротивления теплопередаче. Допустимая проницаемость конструкций ограничивается заданным сопротивлением воздухопроницанию. Нормальное влажностное состояние конструкций достигается уменьшением начального влагосодержания материала и устройством влагоизоляции, а в слоистых конструкциях, кроме того, – рациональным расположением конструктивных слоев, выполненных из материалов с различными свойствами.

Сопротивление теплопередаче должно быть достаточно высоким, с тем, чтобы в наиболее холодный период года обеспечивать гигиенически допустимые температурные условия на поверхности конструкции, обращенной в помещение.

Теплоустойчивость конструкций оценивается их способностью сохранять относительное постоянство температуры в помещениях при периодических колебаниях температуры воздушной среды, граничащей с конструкциями, и проходящего через них теплового потока.

Таким образом, теплозащитные свойства наружных ограждений определяют двумя показателями: величиной сопротивления теплопередаче R и теплоустойчивостью, которую оценивают по величине тепловой инерции ограждения D .

Величина R определяет сопротивление ограждения передаче теплоты в стационарных условиях, а теплоустойчивость D характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий.

При проектировании, реконструкции и ремонте зданий и сооружений различного назначения требуется провести теплотехнический расчет ограждающих конструкций для климатических условий заданного района Беларуси [2].

Наружные ограждающие конструкции с целью повышения их теплозащитных качеств следует конструировать, как правило, многослойными, учитывая прочностные и теплофизические функции каждого слоя. При этом отдельные слои могут частично совмещать указанные

функции.

При расположении слоев в многослойной наружной ограждающей конструкции нужно выполнять следующие требования:

– материалы с *более высокими* коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более низким коэффициентом паропроницаемости целесообразно располагать в конструкции *со стороны помещения*;

– материалы с *более низкими* коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более высоким коэффициентом паропроницаемости – *с наружной стороны*, что обеспечивает более высокую температуру внутренней поверхности, повышает теплоустойчивость ограждающих конструкций и помещений при колебаниях температуры наружного воздуха и теплоотдачи отопительных приборов в системах отопления периодического действия, а также улучшает влажностной режим материалов в конструкции.

При конструировании ограждающих конструкций необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению увлажнения материалов в конструкции от воздействия атмосферной и грунтовой влаги, влаги производственных и хозяйственно-бытовых процессов.

Ограждающие конструкции зданий с нормируемой температурой или температурой и относительной влажностью воздуха должны иметь определенное значение сопротивления теплопередаче, от которого зависят санитарно-гигиенические условия помещений и затраты на эксплуатацию зданий.

2.3 Сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче

Термическое сопротивление R , или тепловое сопротивление, способность тела (его поверхности или какого-либо слоя) препятствовать распространению теплового движения молекул через него.

Термическое сопротивление численно равно температурному напору, необходимому для передачи единичного теплового потока (1 Вт/м^2) к поверхности тела или через слой вещества; выражается в $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Различают:

– *термическое сопротивление слоя*, равное отношению толщины слоя δ к его коэффициенту теплопроводности λ :

$$R = \frac{\delta}{\lambda}; \quad (4)$$

– *поверхностное термическое сопротивление* – величину, обратную коэффициенту теплоотдачи α :

$$R = \frac{1}{\alpha}; \quad (5)$$

– *полное термическое сопротивление* – величину, обратную коэффициенту теплопередачи k (k – величина, которая показывает, сколько теплоты (В или Дж/с) теряется через ограждение площадью 1 м^2 при разнице температур между наружным и внутренним воздухом в 1 градус, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$):

$$R_0 = \frac{1}{k}. \quad (6)$$

Термическое сопротивление многослойной строительной конструкции равно сумме R_T её слоёв:

$$R_T = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (7)$$

Удельный тепловой поток q , $\text{Вт}/\text{м}^2$, проходящей через 1 м^2 поверхности ограждения в единицу времени, зависит от температурного перепада

$$q = k (t_B - t_H) = \frac{1}{R_0} (t_B - t_H). \quad (8)$$

Теплопотери через ограждения помещений, возникающие под воздействием низкой наружной температуры воздуха и ветра, являются сложным физическим процессом *теплопередачи* с участием конвекции, излучения и теплопроводности (рисунок 3).

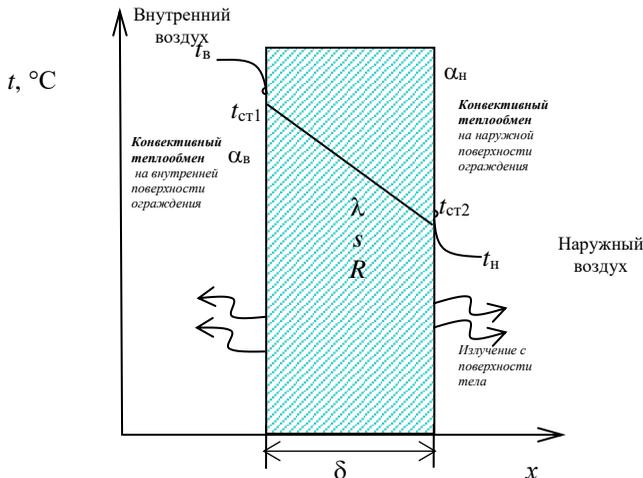


Рисунок 3 – Модель процесса теплопередачи через однослойную ограждающую конструкцию

Важной составляющей, формирующей тепловой режим помещения, является конвективный теплообмен на нагретой внутренней α_B и охлажденной наружной α_H поверхностях ограждения.

Теплообмен на наружной поверхности ограждений в основном определяется направлением и скоростью ветра.

На рисунке 4 представлены схемы процессов теплопередачи через однослойную и многослойную конструкции.

В условиях стационарной передачи теплоты, т.е. когда температура и другие параметры процесса остаются неизменными во времени, тепловой поток q из помещения последовательно преодолевает *сопротивления теплообмену* на внутренней поверхности R_B , *термического материала* толщи ограждения R_T и *теплообмена* на наружной поверхности R_H , поэтому сопротивление теплопередаче однослойного ограждения равно сумме этих сопротивлений (см. рисунок 4, а):

$$R_o = R_B + R + R_H = 1/\alpha_B + \delta/\lambda + 1/\alpha_H. \quad (9)$$

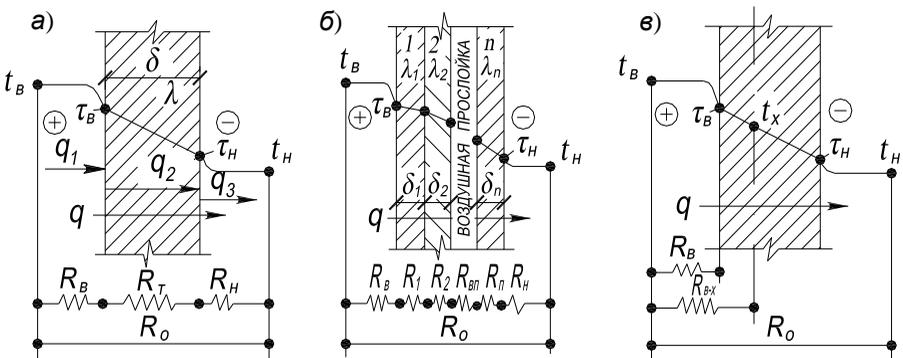


Рисунок 4 – Стационарная теплопередача через однослойное ограждение (а), многослойное с воздушной прослойкой (б) и определение температуры

в произвольном сечении ограждения (в)

Если многослойное ограждение состоит из нескольких слоев материала, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, то общее сопротивление теплопередаче сложной многослойной конструкции

$$R_0 = R_b + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{\text{н}}. \quad (10)$$

Коэффициент теплопередачи ограждения k

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1/\alpha_{\text{в}} + \sum (\delta_i / \lambda_i) + 1/\alpha_{\text{г}}}. \quad (11)$$

Температуру в любом произвольно принятом сечении x (см. рисунок 4, в) можно определить из формулы

$$t_x = t_{\text{г}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{г}}) \frac{R_{\text{в-x}}}{R_0}, \quad (12)$$

где $R_{\text{в-x}}$ – сопротивление теплопередаче от внутреннего воздуха до сечения x .

2.4 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции совместно с системами инженерного оборудования (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха) должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений при оптимальном энергопотреблении.

Для теплотехнического расчета ограждающих конструкций необходимо использовать Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-2.04-43–2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования», который устанавливает обязательные показатели сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, теплоустойчивости помещений, теплоусвоения поверхности полов, сопротивления воздухопроницанию и паропроницанию ограждающих конструкций и порядок их назначения при теплотехнических расчетах.

В настоящее время значительное повышение требований к уровню теплозащиты зданий при проектировании конструкций

наружных ограждений различного назначения обусловило широкое применение эффективных утеплителей, например, из минваты и пенопласта, а использование конструкций из обыкновенного кирпича становится нецелесообразным, так как приводит к чрезмерно большой толщине ограждения, а следовательно, к удорожанию стоимости конструкций.

Целью теплотехнического расчета является определение требуемого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции согласно требованиям ТКП «Строительная теплотехника», а также определение толщины слоя утеплителя.

Теплотехнический расчет проводится для всех наружных ограждений для холодного периода года с учетом района строительства, условий эксплуатации, назначения здания, санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям и помещению. Теплотехнический расчет внутренних ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий) проводится, если разность температур воздуха в помещениях более 3 °С.

Теплофизические характеристики строительных материалов при расчетах строительных конструкций следует принимать с учетом зоны влажности и влажностного режима помещения, так как некоторые стройматериалы тела капиллярно-пористые, интенсивно поглощающие влагу из окружающей среды. Влажностный режим помещений зданий в зимний период следует устанавливать в зависимости от $\varphi_{в}$, % и $t_{в}$, °С [1, таблица 1].

С учетом влажностного режима помещений и зоны влажности выбирают условия эксплуатации (А или Б) для ограждающих конструкций. Исходя из условий эксплуатации А или Б для материалов ограждающих конструкций выбираются значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения по ТКП [11, приложение А.1].

Согласно [1] наружные ограждающие конструкции должны иметь сопротивление теплопередаче $R_{т}$ равное экономически целесообразному $R_{тэк}$, определенному исходя из условия обеспечения наименьших приведенных затрат, но не менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_0^{дд}$ по санитарно-гигиеническим

условиям и не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{т.норм}$ [1].

С учетом изменения № 1 к [1] нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_{т.норм}$, ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, зданий применительно к строительству, реконструкции и модернизации зданий записаны следующие:

- для наружных стен – 3,2;
- совмещенных покрытий, чердачных перекрытий и перекрытий над проездами – 6,0;
- перекрытий над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями – 2,5;
- заполнения световых проемов (окно) – 1,0.

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию не должен превышать 40 кВт·ч/м² (для зданий от 4 до 9 этажей) или 90 кВт·ч/м² в год для зданий малой этажности (1–3 этажа) для энергоэффективных зданий.

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче следует определять на основе выбора толщины теплоизоляционного слоя по формуле

$$R_{0,y\bar{e}} = 0,5R_{0,\delta\delta} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} C_{\text{оы}} Z_{i\delta} (t_{\bar{a}} - t_{i\delta})}{\tilde{N}_1 \lambda R_{\delta,\delta\delta}}, \quad (13)$$

где $R_{т.тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче, ($м^2 \cdot ^\circ C$) / Вт,

$$R_{\delta,\delta\delta} = \frac{n(t_{\bar{a}} - t_{i\delta})}{\alpha_{\bar{a}} \Delta t_{\bar{a}}}. \quad (14)$$

В этих формулах $t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ C$ (таблица 3);

Таблица 3 – Расчетная температура внутреннего воздуха

Помещение	$t_{в}, ^\circ C$
Жилая комната	18
Угловая комната	20
Совмещенный санузел	25
Кухня	18
Лестничная клетка, коридор	16

$t_{н}$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха, $^\circ C$ (см. таблицу 1), принимаемая с учетом тепловой инерции

ограждающих конструкций D (таблица 6);
 n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (таблица 4);

Таблица 4 – Значения коэффициента n

Ограждающие конструкции	n
Наружные стены и покрытия, перекрытия чердачные с кровлей из штучных материалов и перекрытия над подъездами	1
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающиеся с наружным воздухом; перекрытия чердачные с кровлей из рулонных материалов	0,9
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	0,6
Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями	0,4

$\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций;

$\Delta t_{в}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции (таблица 5);

$t_{н от}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °С;

$Z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут;

$C_{тэ}$ – стоимость тепловой энергии, руб./ГДж, принимаемая по действующим ценам;

$C_{м}$ – стоимость материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, руб./м³, принимаемая по действующим ценам;

λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации.

Таблица 5 – Нормативный температурный перепад $\Delta t_{в}$ [1]

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_{в}$, °С		
	наружные стены	покрытия и чердачные перекрытия	перекрытия над подвалами
Жилые и гражданские здания	6	4	2

Тепловую инерцию ограждающей конструкции D следует

определять по формуле

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n, \quad (15)$$

где S_1, S_2, \dots, S_n – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), принимаемые по таблице А.1 [11].

Расчетную зимнюю температуру наружного воздуха t_n в зависимости от тепловой инерции D наружной ограждающей конструкции принимают по таблице 6, а для **чердачных и подвальных перекрытий** расчетная зимняя температура наружного воздуха принимается равной **средней температуре холодной пятидневки $t_{н5}$** с обеспеченностью 0,92 независимо от массивности перекрытия.

Климатические характеристики отопительного периода для областей Беларуси приведены в таблице 1.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_T , (м²·°C)/Вт,

$$R_0 = 1/\alpha_v + R_T + 1/\alpha_n, \quad (17)$$

где α_v, α_n – коэффициенты теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей конструкции для зимних условий, $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·°C), $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·°C);

Коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

Таблица 6 – Выбор наружной температуры воздуха в зависимости от степени инерционности стены

Степень инерционности	D	t_n	
Безынерционная	$\leq 1,5$	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98	$t_{i1}^{0,98}$
Малая	$1,5 < D \leq 4,0$	То же обеспеченностью 0,92	$t_{i1}^{0,92}$
Средняя	$4,0 < D \leq 7,0$	Средняя температура наиболее холодных трех суток; $t_{i3}^{0,92} = (t_{i1}^{0,92} + t_{i5}^{0,92})/2$	$t_{i3}^{0,92}$
Большая	$> 7,0$	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92	$t_{i5}^{0,92}$

В теплотехническом отношении полы подразделяются на утепленные и неутепленные на грунте и лагах. При строительстве жилых и общественных зданий применяются только утепленные полы. Известно, что температурное поле грунта под полом различно: чем ближе к наружной стенке, тем температура грунта ниже. Принято такие полы разграничивать на четыре зоны шириной 2 м, начиная от наружной поверхности стены во внутрь здания с условно постоянной температурой в каждой из зон.

Функциональные характеристики окон в последние годы резко возросли, особенно по параметрам тепло- и звукоизоляции. В современных энергоэффективных домах устанавливаются окна с сопротивлением теплопередаче, равным единице. Этому параметру отвечают окна современной конструкции на основе двойных и тройных стеклопакетов в деревянных, пластмассовых или металлических переплетах.

При проектировании или термореновации зданий в зависимости от его назначения выбирается соответствующий теплоизоляционный материал для наружных стен и производится расчет его толщины.

Утепляющими слоями считаются слои из материалов, имеющих коэффициент теплопроводности $\lambda < 0,2$ Вт/(м·°C). В таблице 7 в качестве примера приведены теплофизические свойства некоторых из наиболее часто используемых теплоизоляционных материалов при строительстве или теплореновации зданий в Беларуси при условиях эксплуатации Б.

Термическое сопротивление теплоизоляционного слоя

$$R_x = R_{\text{норм}} - (R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}). \quad (17)$$

Предварительная толщина слоя утеплителя

$$\delta_x = [R_{\text{норм}} - (1/\alpha_{\text{в}} + R_{\text{к}} + 1/\alpha_{\text{н}})]\lambda_x. \quad (18)$$

Вычисленное значение δ_x должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкций ограждений. Толщина наружных стен из кирпичной кладки может приниматься 0,38; 0,51; 0,64; 0,77 м, а наружных стеновых панелей – 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 м.

После выбора общей толщины конструкции δ_0 , м, и толщины утеплителя δ_x , м, уточняем фактическое общее сопротивление теплопередаче $R_{\text{о.факт}}$ (м²·°C)/Вт. Эффективность системы утепления достигается при условии $R_{\text{расч}} >$ или $= R_{\text{норм}}$.

Таблица 7 – Теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий и сооружений [1]

Наименование; плотность ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)	s , Вт/(м ² ·°C)
Маты минераловатные прошивные; 100	0,048	0,57
Плиты ... минераловатные на синтетическом связующем; 125	0,054	0,67
Плиты пеностирольные; 50	0,052	0,55
Пенополиуретан; 80	0,05	0,70
Пеностекло и газостекло; 200	0,086	1,034

2.5 Воздухопроницаемость конструкций дома

Сквозь толщу строительных конструкций, швы и стыки воздух проникает в том случае, если они воздухопроницаемы, и при условии, что существует разница между внутренним и наружным давлением, которая может быть вызвана действием гравитационных сил или изменением кинетической энергии ветра.

Явление, при котором наружный воздух проникает в здание под действием перепада давления по обе стороны ограждающей конструкции, называется *инфильтрацией* воздуха; в случаях, когда внутренний воздух проникает из здания во внешнюю среду говорят об *эксфильтрации*.

Инфильтрация воздуха в холодный период года через наружные ограждения снижает температуру на внутренней поверхности конструкции. Это можно компенсировать или за счет увеличения толщины конструкции или путем повышения t_v для того, чтобы избежать ухудшения теплового режима помещения. В первом случае увеличиваются капитальные затраты на конструкции, а во втором – тепловые потери и прибавление затрат тепловой энергии на отопление.

Инфильтрация воздуха через уплотнение притворов окон и дверей заметно ухудшает тепловой режим зданий и увеличивает тепловые потери. Количество воздуха, проникающего в здание, тем больше, чем хуже герметичность притворов и больше скорость ветра.

Эксфильтрация воздуха через конструкцию может быть причиной повышенной конденсации водяных паров в ее толще. При эксфильтрации, количество водяных паров, проникающих в конструкцию, будет больше, чем при обычной диффузии пара.

Инфильтрация и эксфильтрация воздуха через строительные

конструкции, швы и стыки нежелательны с теплотехнической точки зрения. Однако с гигиенической точки зрения определенный обмен воздуха в зданиях необходим.

Процесс обмена внутреннего воздуха с наружной средой и соседними помещениями называется *воздушным режимом здания*.

При проектировании отопления расчет воздушного режима упрощают и сводят к вычислению количества инфильтрующегося воздуха. Это количество воздуха зависит от температуры наружного и внутреннего воздуха, направления и скорости ветра, планировки и высоты здания. При расчетах принято исходить из воздухопроницаемости ограждений, условно отнесенной к единице их площади (площади окон, дверей, ворот, фонарей, стен и т. д.).

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха $Q_{и}$, Вт, определяется при расчетной температуре холодного периода года:

$$Q_{и} = 0,28L_n\rho c(t_v - t_n)f, \quad (19)$$

где 0,28 – коэффициент перевода Дж в Вт;

L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч;

ρ – плотность воздуха в помещении, кг/м³;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

f – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 – для стыков панелей стен и окон с тройным переплетом, 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами, 1,0 – для одинарных окон.

В ТКП 45-2.04-43–2006 сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_v должно быть не менее требуемого $R_{v,тр}$, (м²·ч·Па)/кг, которое должно обеспечить нормативную воздухопроницаемость воздуха $G_{норм}$ (для стен – 0,5–1,0; для входных дверей в в квартиры – 1,5, для окон – 8–30 кг/(м³·ч)) при расчетном перепаде давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях наружного ограждения:

$$R_{v,тр} = \Delta p / G_{норм}, \quad (20)$$

где Δp – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па [2].

Нормативное сопротивление воздухопроницаемости заполнения световых проемов зданий и сооружений R_v , (м²·ч·Па)/кг, принимаем

конструктивно по приложению Д [1].

Воздухопроницаемость стыков между панелями наружных стен жилых зданий $G_{\text{норм}}$ должна быть не более 0,5 кг/(м·ч).

Сопrotивление воздухопроницаемости многослойной ограждающей конструкции R_v , (м²·ч·Па)/кг,

$$R_a^{\text{до}} = \Sigma R_{vi}, \quad (21)$$

где R_{vi} – сопротивление воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции.

Для стены по принятому значению R_v делается проверка на отсутствие конденсации влаги на ее поверхности.

Конденсация влаги из внутреннего воздуха на внутренней поверхности наружного ограждения, особенно при понижении температуры, является основной причиной увлажнения наружных ограждений.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции t_v , если не допускается выпадения конденсата, должна быть больше температуры точки росы внутреннего воздуха t_p при расчетной зимней температуре наружного воздуха. Относительную влажность внутреннего воздуха для определения точки росы для жилых зданий следует принимать 55 %:

$$t_v = t_{в-} - (t_{в-} - t_{н-}) / (R_o \alpha_v); \quad (22)$$

$$t_p = 20,1 - (5,75 - 0,002 e_v)^2, \quad (23)$$

где e_v – упругость водяных паров в воздухе помещения [1], Па,

$$e_v = (\varphi / 100)[477 + 133,3(1 + 0,14 t_v)^2], \quad (24)$$

φ – относительная влажность воздуха в помещении, %.

2.6 Учет влажности материалов при расчете теплопередачи

Особенности строения строительных материалов определяют большую изменчивость теплофизических характеристик в конструкциях ограждений в зависимости от их влажностного состояния. Влажность материалов в ограждении зависит от его конструкции, внешних и внутренних условий, времени года.

Влажностное состояние ограждений условно может быть разделено на эксплуатационное, соответствующее основному периоду продолжительной и регулярной эксплуатации, и начальное,

соответствующее первым годам эксплуатации здания. Начальное состояние связано с внесением в конструкцию «строительной влаги», эксплуатационное наступает после того, как влагосодержание материалов приблизится к некоторому стабильному состоянию, равновесному относительно воздействующих на ограждение внутренней и наружной сред.

Влагосодержание материалов периодически изменяется в течение года, возрастая в апреле – мае и уменьшаясь к концу лета.

Зимой (в декабре – январе) влагосодержание близко к среднему значению за год.

Эксплуатационное влажностное состояние материалов в ограждении определяется категориями **А** и **Б**.

Категория **А** относится к сухому режиму эксплуатации помещений здания с φ от 40 до 50 %, категория **Б** – к нормальному режиму эксплуатации помещений здания с φ от 50 до 60 % [1].

Зная влажностную зону района строительства и влажностной режим помещения (таблица 4.2 [1]), находят категорию эксплуатационной влажности и, пользуясь ею, по таблице норм (таблица А.1 [1]) устанавливают расчетные значения теплофизических характеристик материалов в ограждении.

2.7 Теплоустойчивость ограждений

Теплоустойчивость наружных ограждений не должна допускать больших изменений температуры на внутренней поверхности: зимой – при разовых понижениях температуры, летом – при суточных колебаниях температуры и интенсивности солнечной радиации.

Как известно, температура наружного воздуха, скорость и направление ветра, интенсивность солнечной радиации, а также температура воздуха и теплопоступления в помещении изменяются, поэтому в наружных ограждениях происходят процессы нестационарной теплопередачи, которые применительно к задаче теплового режима помещений можно разделить на две основные группы [28, 29]:

1 – *переходные тепловые процессы*. При изменении подачи теплоты в помещение, вызывающем процесс одностороннего нагрева или охлаждения, необходимо определить допустимое изменение во времени температуры поверхности (во избежание перегрева, образования конденсата и т.д.) и в любом сечении x ;

2 – *периодические тепловые процессы*. При периодически изменяющихся внешних и внутренних тепловых воздействиях в

ограждения помещения происходят тепловые процессы, определяемые их теплоустойчивостью.

Теплоустойчивость выражает свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности при колебаниях внешних тепловых воздействий и обеспечивать комфортные условия в помещении. Проявляется относительно колебаний внутренних тепловых воздействий и изменений наружной температуры.

Теплоустойчивость помещения – это его свойство поддерживать относительное постоянство температуры при периодически изменяющемся теплопоступлении. Амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток A_v не должна превышать ± 3 °С от расчетного значения.

Теплоустойчивость пола при контактном теплообмене можно характеризовать показателем теплоусвоения поверхности пола, который должен быть не более нормативной величины $Y_{ai}^i = 12 \dots 14$ Вт/(м²·°С).

Наиболее рационально первый внутренний слой конструкции пола должен иметь минимальное значение теплоусвоения S и максимальное значение термического сопротивления R [11].

3 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

3.1 Общие сведения об отоплении

В помещениях с длительным пребыванием человека, в том числе производственных, где по условиям технологии требуется поддержание положительных температур в холодное время года, необходимо устройство отопительных систем [22, 23, 26, 27].

Система отопления (СО) – это совокупность технических элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи во все обогреваемые помещения количества теплоты, необходимого для поддержания температуры внутреннего воздуха на заданном уровне.

Системы отопления должны отвечать основным общим требованиям, которые условно делятся на **пять групп**, относящиеся как к периоду проектирования и строительства, так и эксплуатации здания:

- *санитарно-гигиенические* – системы отопления должны поддерживать заданную температуру внутреннего воздуха и внутренних поверхностей ограждений помещения во времени, в плане и по высоте при допустимой подвижности воздуха, при ограничении температуры на поверхности отопительных приборов, отвечающие СНБ 4.02.01–03 [4];

- *экономические* – приведенные затраты на отопление зданий должны быть минимальными, а при эксплуатации должно соблюдаться условие экономного расхода тепловой энергии;

- *архитектурно-строительные* – системы отопления должны соответствовать интерьеру помещений, быть компактными и увязываться со строительными конструкциями и сроком строительства здания;

- *монтажные* – должны обеспечивать качественный монтаж систем отопления промышленными методами с максимальным использованием унифицированных узлов заводского изготовления

при минимальном количестве типоразмеров;

– эксплуатационные – системы отопления должны быть просты, удобны в управлении и ремонте, бесшумны и безопасны.

Отопительная установка должна отдавать помещениям столько теплоты, сколько нужно для компенсации теплопотерь, обладая при этом необходимой теплоустойчивостью в соответствии с изменяющимися внешними и внутренними факторами.

Передача теплоты в системах отопления осуществляется при помощи жидкой или газообразной среды, называемой *теплоносителем*.

Виды теплоносителей: вода, воздух, пар (водяной), минеральные масла, дымовые газы, антифриз (водный раствор этиленпропиленгликоля), вода с добавками. Основные характеристики теплоносителей представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Достоинства и недостатки теплоносителей

Теплоноситель	Достоинства	Недостатки
Вода	Высокая теплоёмкость (в 4 раза больше, чем у воздуха при такой же температуре), хорошие гигиенические качества	Возможность замерзания, высокое давление в системе отопления, возможность гидроударов, высокая плотность (большое гидростатическое давление), тепловая инерционность СО
Воздух	Малая плотность, малая инерционность СО, отсутствие отопительных приборов, совмещение СО с вентиляцией	Низкая теплоёмкость, большие сечения воздухопроводов, большой расход металла СО
Пар	Малая плотность, малая инерционность, интенсивная теплоотдача при конденсации, малое гидростатическое давление	Шум при движении пара (щелчки, стуки, удары), слишком высокая температура поверхности отопительных приборов, плохая регулируемость СО
Антифриз	Незамерзающий	Высокая стоимость, теплоёмкость на 15–20 % ниже воды, высокая токсичность, высокая текучесть
Дымовые газы	Энергосбережение за счёт использования выбрасываемых в атмосферу газов	Однократное использование, низкая экологичность

Теплоносители разделяются на *первичные* – циркулирующие в наружной тепловой сети, *вторичные* – циркулирующие в системе отопления здания.

Теплоносители отопительных систем должны обладать большой способностью аккумулировать теплоту, при которой расход энергии на перемещение теплоносителя по теплопроводам был бы незначительным; не ухудшать санитарно-гигиенических и экологических условий отапливаемых помещений (не выделять вредные газы, не загрязнять воздух помещения); быть достаточно дешевыми. В настоящее время чаще всего используются *вода и воздух*, реже – остальные.

3.2 Общие сведения о теплообменных аппаратах

Теплопередача – теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твёрдую стенку или через поверхность раздела между ними. Теплопередача включает в себя теплоотдачу от более горячей жидкости или газа к стенке, теплопроводность – в стенке, теплоотдачу – от стенки к более холодной подвижной среде. Интенсивность передачи теплоты при теплопередаче характеризуется коэффициентом теплопередачи k , численно равным количеству теплоты, которое передаётся через единицу площади поверхности стенки в единицу времени при разности температур между теплоносителями в 1 градус. Коэффициент k зависит от температурного напора Δt и теплового потока Q через элемент поверхности раздела F :

$$k = \frac{Q}{F \Delta t}. \quad (25)$$

Для передачи тепловой энергии используют *теплоноситель* (движущаяся среда) – жидкое (вода, масло и т.п.) или газообразное вещество (пар и др.). Теплоносители используются в любых приборах и инженерных системах, служащих для передачи/распределения теплоты, например: системы отопления зданий, холодильник, кондиционер, масляный обогреватель, тепловой пункт, котельная, солнечный коллектор, солнечный водонагреватель и др.

Многие процессы переноса теплоты сопровождаются переносом вещества. Совместный молекулярный и конвективный перенос

массы называют конвективным массообменом, тепломассообменом.

Теплообменный аппарат – устройство для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. В теплообменных аппаратах могут происходить процессы нагрева, испарения, кипения, конденсации и т.д. В зависимости от технологического назначения теплообменники могут называться подогревателями, испарителями, конденсаторами, паропреобразователями и т.д.

Для теплообменников первостепенное значение имеет конвективный теплообмен или теплоотдача, которая осуществляется при совокупном и одновременном действии теплопроводности и конвекции. Процессы теплообмена существуют в теплообменных аппаратах разных типов и конструкций.

По конструктивным признакам теплообменники делятся на 2 группы: *поверхностного типа* и *смесительные*.

Поверхностные теплообменники делятся на *рекуперативные* и *регенеративные*.

Рекуперативные аппараты – аппараты непрерывного действия, и в них передача теплоты осуществляется от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку, как правило, металлическую. Тепловой поток направлен от горячего теплоносителя к холодному.

Регенеративные аппараты – аппараты периодического действия и работают циклами, в которых одна и та же поверхность омывается то горячим, то холодным теплоносителями.

Смесительные теплообменные аппараты – аппараты, в которых происходит непосредственное смешение горячего и холодного теплоносителей.

Различают два вида расчета теплообменных аппаратов поверхностного типа:

1 – *проектный (конструктивный)*. Цель: определить поверхность теплообмена и конструктивные размеры аппарата.

$$F = Q / (k \cdot \Delta t_{cp}).$$

При этом заданы теплопроизводительность аппарата, вид теплоносителей, начальные и конечные параметры теплоносителя;

2 – *проверочный*. Цель: определить теплопроизводительность агрегата и конечные параметры (температуры) теплоносителей. При этом заданы поверхность теплообмена и конструктивные размеры аппарата, вид теплоносителей и их начальные параметры.

Тепловой расчет любого теплообменника сводится к совместному

решению уравнений теплового баланса и теплопередачи.

Уравнение теплового баланса, Вт,

$$Q = m_1 c_1 (t_1 - t_1'') \eta = m_2 c_2 (t_2'' - t_2') \eta,$$

где m_1, m_2 – расход теплоносителей, кг/с;

c_1, c_2 – их средние, массовые теплоемкости, Дж/(кг·К);

η – КПД теплообменника;

индексы 1, 2, (' , '') соотносят с горячим и холодным теплоносителями и их температурами на входе и выходе.

При конструктивном расчете из-за более высокой средней разности температур необходимая поверхность теплопередачи для противотока получается меньше, то есть противоточные теплообменники компактнее и требуют меньшего расхода материалов на их изготовление. При поперечном расчете переданная теплота для противотока выше, то есть противоточные теплообменники эффективнее.

Кроме теплового расчета теплообменников выполняется их гидродинамический расчет, в результате которого определяются гидравлические сопротивления движению теплоносителей и мощность насоса или вентилятора, необходимая для прокачки жидкости или газа через теплообменный аппарат [32, 36].

3.3 Общая классификация систем отопления

Системы отопления состоят из трех основных элементов (рисунок 5):

- генератора (теплообменника) для получения теплоты 1;
- теплопроводов для транспорта теплоносителя от места выработки к отапливаемому помещению 2 и обратно к теплогенератору 3;
- отопительных приборов 4 – элементов для передачи теплоты в помещения.

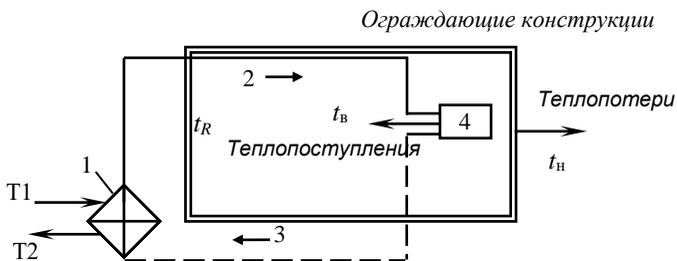


Рисунок 5 – Принципиальная схема системы отопления

Общую классификацию систем отопления можно провести по следующим признакам.

В зависимости от источника теплоснабжения системы отопления подразделяются на *местные и центральные*.

К *местным системам* относят электрическое, газовое (с автономными отопительными установками) и печное отопление. Радиус действия местных систем отопления ограничен одним-двумя помещениями. К местным относятся и поквартирные системы, у которых котел устанавливается на одну квартиру (рисунок 6).

а)



б)



в)



Рисунок 6 – Котлы для местных систем отопления:

а – твердотопливный; б – газовый настенный; в – электрический напольный

Центральными называют системы, предназначенные для отопления многих зданий, предприятий, микрорайонов из одного теплового центра (теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), котельная). Тепловой центр может обслуживать одно обогреваемое сооружение или группу сооружений (в этом случае систему отопления именуют районной)

а)



б)



(рисунок 7).

Рисунок 7 – Генераторы центральных систем отопления:

а – модульная блочная котельная; *б* – ТЭЦ

В зависимости от вида первичного теплоносителя системы бывают *водоводяные, водовоздушные, пароводяные, паровоздушные, газовоздушные* и др. В этом случае первичный высокотемпературный теплоноситель перемещается от ТЭЦ или станции по городским распределительным теплопроводам к центральному тепловому пункту (ЦТП) и обратно. Вторичный теплоноситель после нагревания в теплообменниках (или смешения с первичным) поступает по наружным (внутриквартальным) и внутренним теплопроводам к отопительным приборам, устанавливаемым в каждом обогреваемом помещении.

К *комбинированным системам* относят водовоздушные, паровоздушные, электровоздушные, водоводяные и газовоздушные, т.е. такие, в которых основной теплоноситель (горячая вода или воздух) подогревается с помощью другого теплоносителя (пара, перегретой воды, электроэнергии, газа).

В зависимости от вида основного (вторичного) теплоносителя системы отопления подразделяются на *водяные, паровые, воздушные и газовые*.

Водяные системы гигиеничнее паровых (меньшая и достаточно постоянная температура на поверхности нагревательных приборов), поэтому они и получили наибольшее распространение в помещениях с длительным пребыванием людей (жилые, больничные, общественные здания). *Паровые и воздушные* системы в основном применяются в промышленных сооружениях. *Воздушное* отопление устраивают в помещениях значительного объема, в том числе в зданиях общественного назначения.

По способу перемещения теплоносителя системы центрального отопления подразделяются на системы:

– с *естественным побуждением* (гравитационные), действующие за счет разности давлений столбов охладившейся и горячей воды или охладившегося и нагретого воздуха;

– *искусственной циркуляцией* (насосные), в которых движение воды достигается с помощью насоса или водоструйного элеватора, а движение воздуха в системах воздушного отопления – с помощью

вентилятора.

По способу передачи теплоты системы отопления классифицируют на три группы: *конвекционные, лучистые и конвекционно-лучистые*. Примером *конвекционной* системы может служить система отопления с конвекторами. К *лучистым* системам отопления относят системы, при работе которых средневзвешенная температура поверхностей ограждающих конструкций выше температуры воздуха помещения. Такие условия достигаются развитой, умеренно нагретой поверхностью (потолка, стены, пола) и подвесными нагретыми панелями.

Печное отопление и системы с радиаторами относят к *конвекционно-лучистой* группе.

3.4 Основные принципы выбора и проектирования систем отопления

Система отопления всегда являлась одной из основных составляющих строительства любого сооружения с постоянным пребыванием людей. Поэтому важным является правильное проектирование систем отопления с использованием передовых технологий, инженерных достижений и индивидуального подхода в зависимости от функционального их назначения [51]. Целесообразная расстановка источников теплоты, правильный выбор типа и схемы системы отопления, определение теплотерь в помещении и т.д. – основа расчета на стадии проектирования. При этом необходимо учитывать предъявляемые нормы и требования по проектированию СО, а также особенности современного отопительного оборудования. Вся проектная документация должна согласовываться и основываться на действующих ТНПА и ГОСТах, предусмотренных Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

Начальной стадией при проектировании является сбор данных об объекте:

– определение функций помещений (для поддержания определенной температуры);

– тип и назначение объекта (жилой, промышленный и др.);

– ознакомление с планировкой объекта, отапливаемой площадью;

– учет климатологических условий местности;

– изменение температурного режима;

– толщина стен и перекрытий, тип и материал фундамента,

площадь остекления, ориентация по сторонам света и объемный коэффициент здания;

- необходимое количество теплоты для каждого помещения;
- составление технического задания на проектирование;
- выбор схемы систем отопления;
- составление предварительной ориентировочной сметы;
- концепция-эскиз проекта системы отопления.

Все тепловые расчеты должны соответствовать требованиям ТКП 45-2.04-43–2006 «Строительная теплотехника», СНБ 4.02.01–03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», ТКП 45-4.01-52–2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий» и основываться на методике расчета потерь тепловой энергии в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации.

При составлении пояснительной записки к проекту учитывается соответствие ГОСТ 19431–84 «Энергетика и электрификация. Термины и определения» и ГОСТ 26691–85 «Теплоэнергетика. Термины и определения».

Тепловой режим. Тепловой расчет систем отопления определяет потребность объекта в тепловой энергии, годовое и суточное потребление топливно-энергетических ресурсов и включает расчеты: основных теплопотерь, потерь на нагревание инфильтрующего (неорганизованный воздухообмен, возникающий под действием ветровых и гравитационных сил (окна, щели, двери т.д.) воздуха, добавочные теплопотери в каждом помещении, трансмиссионные потери (теплообмен через ограждающие конструкции), определение тепловых нагрузок. Полученные при расчете данные используются для выбора оптимальной системы отопления, из которых выделим четыре схемы: *водяная, паровая, воздушная и инфракрасная.*

Водяная система отопления состоит из трубопроводов, радиаторов, котла и насоса. По принципу движения теплоносителя разделяют на систему с принудительной и естественной циркуляцией. Тепловым генератором водяной системы служит котел (газовый, электрический или др.). Газовый котел работает на природном газе, являясь более экономичным и независимым (электроэнергия). В электрическом котле теплоноситель (вода) получает энергию от термоэлектрического нагревателя. Основное достоинство таких котлов – простота монтажа и эксплуатации. Важную роль при проектировании систем водяного отопления играет

выбор отопительных приборов, различающихся по материалу, конструкции, цене и теплоотдаче.

Паровое отопление. При разработке парового отопления следует учитывать, что согласно строительным нормам и правилам оно **запрещено** к эксплуатации в жилых и общественных зданиях (СНиП 2.04.05–91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»). Теплоносителем в паровой системе отопления является водяной пар, а источник теплоты – отопительный паровой котел. Преимущества разработки такой схемы отопления: быстрый прогрев помещений. Недостаток схемы – высокая температура на поверхности отопительных приборов.

Воздушное отопление. Теплоносителем в такой схеме является воздух начальных расчетных параметров, который нагревается в специальной печи (газовой или дизельной) и при помощи вентилятора подается в помещения. Подача тёплого воздуха в воздушной системе осуществляется по воздуховодам, которые выполняют и рециркуляционную функцию, возвращая остывший воздух обратно в печь. Очистка воздуха осуществляется в фильтрах. Преимуществами воздушного отопления являются высокий КПД, простота монтажа и экономичность в эксплуатации.

Инфракрасное отопление. Обогрев помещения по данной схеме производится благодаря излучающим тепловым потокам, которые нагревают предметы, а не окружающий воздух. Путем теплообмена нагретые предметы аккумулируют и передают теплоту окружающему воздуху. Проектирование инфракрасных излучателей чаще всего используют для обогрева рабочих зон помещений. Преимуществом такой схемы является простота монтажа (кронштейны) и высокий КПД (~90 %).

Гидравлический расчет систем отопления выполняется после выбора схемы конструкции системы и расчета тепловых нагрузок. Гидравлический расчет определяет гидравлические потери, оптимальный диаметр труб для циркуляции теплоносителя на каждом участке объекта.

Учитывая все произведенные расчеты, проектирование переходит к следующему этапу – конструированию системы. Этот этап включает размещение согласованных с расчетами отопительных приборов, расположение запорно-регулирующей арматуры, место узла управления.

Завершающий этап при разработке – согласование проекта в соответствующих органах Беларуси. При согласовании проекта соответствующая служба регламентирует использование тех или иных инженерно-технических решений, применение качественных и сертифицированных оборудования и материалов.

3.5 Область применения парового отопления

Свойства водяного пара как теплоносителя для отопления зданий и сооружений весьма эффективны. Добавим, что водяной пар в системе отопления состоит из смеси сухого насыщенного пара и капелек воды во взвешенном состоянии, т. е. находится во влажном состоянии. Влажное состояние изменяется при движении пара по трубам. По пути движения происходит попутная конденсация части пара вследствие его охлаждения через стенки труб в окружающую среду, поэтому по паропроводам перемещается пароконденсатная смесь.

Плотность влажного пара вычисляется по плотности сухого насыщенного пара с учетом его доли в смеси (степени сухости пара) при данном содержании влаги. Основное преимущество парового отопления по сравнению с водяным – возможность быстро нагревать помещения при подаче пара в отопительные приборы. Понятно, что столь же быстро прекращается их отопление при выключении подачи пара. При своей малой тепловой инерции паровое отопление более пригодно, чем водяное, для прерывистого отопления помещений. При устройстве парового отопления сокращаются по сравнению с водяным капитальные вложения: уменьшается расход металла на теплопроводы и отопительные приборы.

Пар как среда малой плотности может подаваться на значительную высоту для отопления, например, верхней части высотных зданий. Однако эксплуатационные недостатки парового отопления настолько существенны, что значительно ограничивают область его применения. К недостаткам парового отопления относятся:

- невозможность регулирования теплоотдачи отопительных приборов путем изменения температуры теплоносителя, т. е. невозможность качественного регулирования;
- постоянно высокая температура (более 100 °С) поверхности теплопроводов и отопительных приборов, что вынуждает устраивать

перерывы в подаче пара, которые вызывают колебание температуры воздуха в помещениях, т. е. приводят к понижению уровня теплового комфорта;

- увеличение бесполезных теплопотерь теплопроводами, когда они проложены в необогреваемых помещениях;

- шум при действии систем, особенно при возобновлении работы после перерыва;

- сокращение срока службы теплопроводов.

Вследствие этих недостатков паровое отопление не допускается в жилых, общественных и административно-бытовых зданиях, а также в производственных помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха.

Паровое отопление может применяться в производственных помещениях без выделения пыли или с выделением негорючей и неядовитой пыли, негорючих и не поддерживающих горение газов и паров, со значительными влаговыведениями, а также для обогрева лестничных клеток и высоких и сверхвысоких зданий.

Во всех случаях паровое отопление допускается применять при обосновании (например, при избытке пара, используемого в технологическом процессе производства). Отметим, что в настоящее время в Республике Беларусь при реконструкции предприятий имеющиеся системы парового отопления заменяются водяными.

Так как паровые системы не нашли широкого применения в коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе нашей страны, то в данном учебнике паровые системы не рассматриваются.

3.6 Воздушное отопление

Область применения систем воздушного отопления весьма широка. Они незаменимы в цехах, на складах готовой продукции, в актовом зале, столовых, больших офисах, торговых галереях и других помещениях, нуждающихся в притоке значительных объемов воздуха.

В системах воздушного отопления атмосферный воздух используется в качестве теплоносителя для обогрева помещений. Воздух нагревается за счет первичного теплоносителя – пара, горячей воды или газов в теплогенераторе до заданной температуры и подается в помещение (рисунок 8). Подаваемый воздух с температурой t_n , превышающей температуру воздуха помещения, отдает теплоту,

необходимую для компенсации тепловых потерь. Таким образом, система воздушного отопления фактически становится комбинированной – водовоздушной, паровоздушной, газовоздушной, электровоздушной и т.д.

В системе воздушного рециркуляционного отопления теплый воздух отдает избыток теплоты и, охладившись, возвращается для повторного нагревания. Этот процесс может осуществляться двумя способами:

- 1) нагретый воздух, попадая в помещение, смешивается с окружающим воздухом и охлаждается до температуры этого воздуха;
- 2) нагретый воздух не попадает в обогреваемое помещение, а перемещается в окружающих помещении каналах.

В настоящее время распространен *первый способ*, который мы и рассмотрим в данном разделе. *Второй способ* после натурной проверки в жилых зданиях в начале второй половины XX века не получил широкого распространения из-за больших потерь при воздухораспределении по каналам.

Преимуществом воздушного отопления является снижение первоначальных затрат за счет сокращения расходов на нагревательные приборы и повышенные санитарно-гигиенические показатели (высокая равномерность распределения температур по помещению, возможность создания благоприятной подвижности воздуха, возможность подачи очищенного и увлажненного воздуха). Достоинством системы является также меньшая металлоемкость и малая инерционность, дающая возможность получения быстрого отопительного эффекта при внезапных охлаждениях помещений. При распределении теплого воздуха по каналам и в помещениях, внесении холодных массивных изделий в помещения воздушное отопление возможно совместить с системами вентиляции и кондиционирования воздуха, что обеспечит их применение в различного типа зданиях.

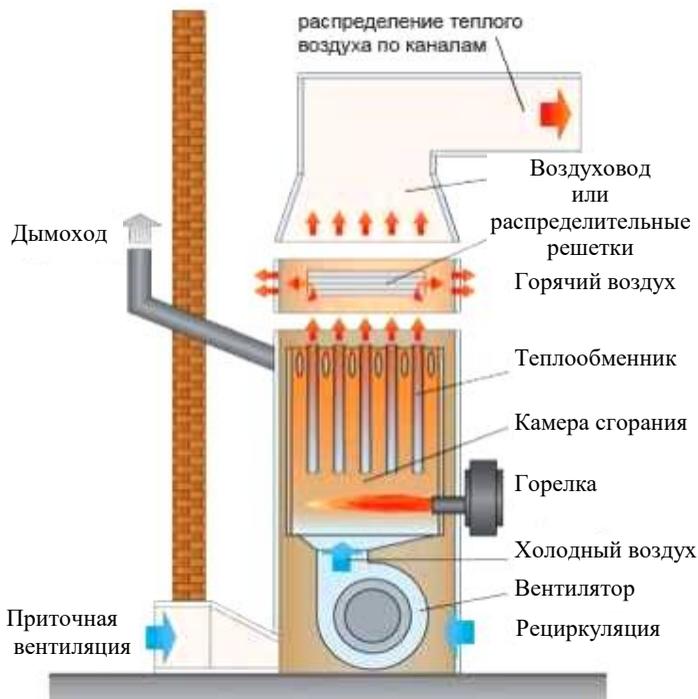


Рисунок 8 – Общая схема газового теплогенератора для центральной системы воздушного отопления (<http://www.conditionery.ru/catalog/0/164/descr/>)

К недостаткам систем воздушного отопления, ограничивающих их распространение, следует отнести: необходимость увеличения сечений воздуховодов и каналов для транспортирования с помощью воздуха больших количеств теплоты вследствие малой плотности и малой теплоемкости воздуха; значительные потери тепла при транспортировании нагретого воздуха по каналам большого сечения; эксплуатационные расходы в связи с дополнительной потребностью в электроэнергии для привода вентиляторов. Существенным недостатком систем воздушного отопления для жилых зданий является и наличие холодных токов воздуха от поверхностей, особенно окон и наружных стен из-за отсутствия радиаторов.

3.6.1 Основные схемы

Системы воздушного отопления классифицируются по нескольким признакам. В зависимости от расположения центра нагрева воздуха все системы воздушного отопления можно разделить на два основных вида: **центральная и местная системы**.

Центральная система воздушного отопления – канальная. Воздух нагревается до необходимой температуры в воздухонагревателях расположенных в тепловом центре здания или снаружи (при наружном исполнении агрегатов), и подается в помещения по воздуховодам через воздухораспределители (рисунок 9).

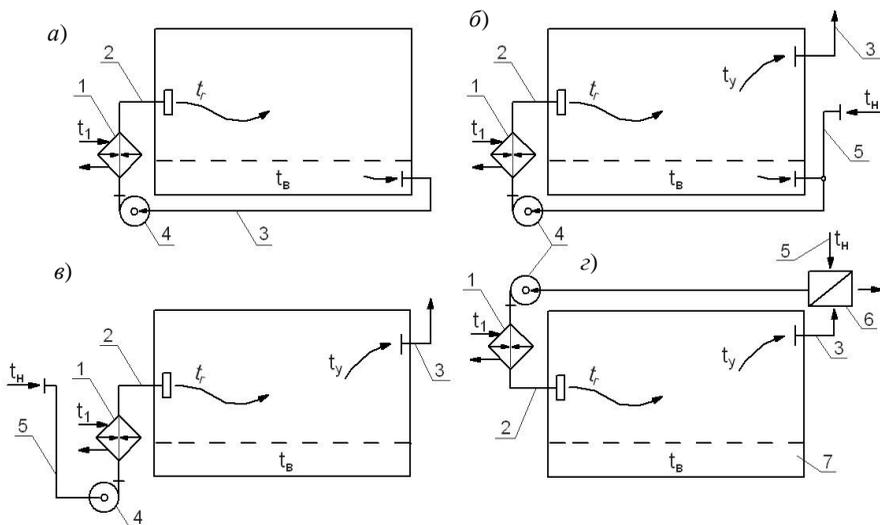


Рисунок 9 – Принципиальные схемы центральной системы воздушного отопления:

а – полностью рециркуляционная; *б* – частично рециркуляционная; *в* – прямоточная; *г* – рекуперативная; 1 – теплообменник-калорифер; 2 – канал нагретого воздуха с воздухораспределителем на конце; 3 – канал внутреннего воздуха; 4 – вентилятор; 5 – канал наружного воздуха; 6 – рекуператор (теплообменник); 7 – рабочая зона

Одно из достоинств применяемой центральной системы воздушного отопления – отсутствие отопительных приборов в обогреваемых помещениях. При данной системе есть возможности установки оборудования как внутри помещения, так и снаружи (применяется наружное исполнение агрегатов).

Однако если радиус действия системы воздушного отопления сужается до одного помещения, то воздухонагреватель может устанавливаться непосредственно в этом помещении, и тогда система

становится *местной*.

Обычно местную систему воздушного отопления устанавливают в том случае, если в помещении отсутствует центральная система приточной вентиляции, а также при незначительном объеме приточного воздуха, подаваемого в течение 1 ч (менее половины объема помещения).

По способу использования наружного воздуха системы подразделяются на *рециркуляционные, приточные и комбинированные* (см. ри-сунок 9).

Правилами гигиены устанавливается верхний предел температуры **воздуха** – ≤ 60 °С для систем воздушного отопления помещений с постоянным или длительным (более 2 ч) пребыванием людей.

В *рециркуляционных системах* воздух, забираемый из помещений, после нагревания в теплогенераторе (калорифере) вновь возвращается в них для отопления (рисунок 9, а).

Система воздушного отопления с *частичной рециркуляцией* (рисунок 9, б) применяется с механическим побуждением движения воздуха и является наиболее управляемой. Она может действовать в различных режимах; в помещениях, помимо частичной, могут осуществляться полная замена, а также полная рециркуляция воздуха. При этих трех режимах система работает как отопительно-вентиляционная, чисто вентиляционная и чисто отопительная. Все зависит от того, забирается ли и в каком количестве воздух снаружи и до какой температуры нагревается воздух в воздухонагревателе.

В *приточных системах* (рисунок 9, в) происходит нагрев только свежего наружного воздуха. Они характерны для помещений с высокими требованиями к вентиляции. При организации таких систем необходимо также предусмотреть мощную систему вытяжной вентиляции.

Систему, построенную по принципу рециркуляции внутреннего воздуха, не всегда возможно использовать в связи с требованием санитарных норм, строительных нормативов и правил. В любом случае при проектировании системы важно учитывать тепловые потери не только от ограждающих конструкций здания, но и связанные с организацией активной вентиляции здания, а также динамические переохлаждения, вызываемые, например, открытием

въездных ворот.

Комбинированные системы воздушного отопления применяются, когда имеется значительная разница в необходимости подачи тепла и подогрева приточного воздуха в течение дня: со значительным воздухообменом в рабочее время, при односменном режиме работы либо при прерывистом рабочем цикле.

Вне зависимости от способа и типа организации системы воздушного отопления обогрев помещения происходит по принципу подачи перегретого воздуха в помещение. И здесь важным фактором является высота помещения и кратность воздухообмена в нем.

В традиционных системах воздушного отопления воздух после нагрева в теплогенераторе попадает в помещение с более высокой температурой, по сравнению со средней в рабочей обогреваемой зоне. Попадая в помещение, более теплый и легкий воздух за счет гравитации устремляется вверх. При этом всем известно, что перегрев потолочной зоны вызывает повышенные тепловые потери в зоне кровли и верхней части стен, и происходит нерациональное расходование теплоты. Именно поэтому горячий воздух следует подавать через специальные воздухораспределители струйного или равномерного распределения в нижнюю или среднюю область помещения, в противном случае горячий воздух будет скапливаться в потолочной зоне, и прогрев помещения будет неравномерным.

3.6.2 Расчет количества и температуры воздуха

Количество воздуха G , кг/ч, необходимого для системы воздушного отопления,

$$G = \frac{0,28Q}{c(t_{г\delta} - t_{а})}, \quad (27)$$

где 0,28 – коэффициент перевода кДж в Вт.

Q – тепловая нагрузка системы отопления, Вт;

c – теплоемкость воздуха, $c = 1$ кДж/(кг·°C);

$t_{г\delta}$ – температура приточного воздуха, подаваемого в помещение, °C.

Величина G определяет сечение воздуховодов и расход электроэнергии на отопительно-вентиляционную установку. Для уменьшения расхода воздуха необходимо, чтобы $t_{г\delta}$ была по возможности высокой.

При подаче воздуха в пределах рабочей зоны допускается $t_{г\delta}$ до

+45 °С, но не ниже +25 °С. При подаче воздуха на любой высоте $t_{\text{пр}}$ определяется расчетом с условием, что в рабочей зоне обеспечивается заданная температура воздуха.

Объем подаваемого воздуха $L_{\text{от}}$, м³/ч, при температуре нагретого воздуха t_r

$$L_{\text{от}} = G_{\text{н}} / \rho_r. \quad (28)$$

Воздухообмен в помещении $L_{\text{пр}}$, м³/ч, несколько отличается от $L_{\text{от}}$, так как определяется при температуре внутреннего воздуха, t_v :

$$L_{\text{пр}} = G_{\text{от}} / \rho_v, \quad (29)$$

где ρ_r и ρ_v – плотность воздуха, кг/м³, при его температуре t_r и t_v .

Если пренебречь влиянием барометрического давления и влажности, то плотность воздуха при температуре t

$$\rho = 353 / (273 + t). \quad (30)$$

Температура воздуха t_r должна быть возможно более высокой для уменьшения количества подаваемого воздуха. В связи с этим, соответственно, сокращаются размеры каналов, а также снижается расход электроэнергии при механическом побуждении движения воздуха.

Согласно [4] установлен определенный верхний предел температуры: для завес у внешних ворот и технологических проемов $t_{\text{пр}} \leq 70$ °С; для завес у наружных входных дверей – $t_{\text{пр}} \leq 50$ °С.

Конкретные значения температуры подаваемого воздуха при воздушном отоплении зависят от схемы воздухораспределения.

Когда система воздушного отопления совмещена с приточной вентиляцией, то количество подаваемого в помещение воздуха устанавливают следующим образом:

– если $G_{\text{от}} \geq G_{\text{вент}}$ (количество воздуха для отопления оказывается равным количеству воздуха, необходимому для вентиляции, или превышает его), то за расчётное принимают количество воздуха, определённое по формуле (27), а систему устраивают прямооточной (при $G_{\text{от}} = G_{\text{вент}}$) или с частичной рециркуляцией (при $G_{\text{от}} > G_{\text{вент}}$);

– если $G_{\text{вент}} > G_{\text{от}}$ (количество вентиляционного воздуха превышает количество воздуха, которое необходимо для отопления), то принимают в качестве расчётного количество воздуха, необходимое для вентиляции, систему устраивают прямооточной, а

температуру подаваемого воздуха вычисляют по формуле

$$t_{\Gamma} = t_{\text{в}} + Q_{\text{п}} / (cG_{\text{вент}}). \quad (31)$$

Количество воздуха для отопления помещения или его температуру определяют с учётом постоянных тепловыделений.

При центральной отопительно-вентиляционной системе температура нагретого воздуха может оказаться для каждого помещения различной. Однако проще подавать во все помещения воздух при одинаковой температуре. Для этого общую температуру воздуха принимают равной низшей из расчетных для отдельных помещений, а количество подаваемого воздуха пересчитывают по формуле (28).

После уточнения воздухообмена определяют теплотраты на нагревание воздуха по формулам:

– для *рециркуляционной системы воздушного отопления*

$$Q_{\text{п}} = 0,28 G_{\text{от}} c (t_{\text{п}} - t_{\text{в}}); \quad (32)$$

– для *частично рециркуляционной отопительно-вентиляционной системы*

$$Q_{\text{п}} = 0,28 [G_{\text{от}} c (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) + G_{\text{вент}} c (t_{\text{п}} - t_{\text{в}})]; \quad (33)$$

– для *прямоточной отопительно-вентиляционной системы*

$$Q_{\text{п}} = 0,28 G_{\text{вент}} c (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}), \quad (34)$$

где $G_{\text{от}}$ и $G_{\text{вент}}$ – расход воздуха для целей отопления и вентиляции соответственно, кг/ч.

Воздушное отопление успешно применяется для обогрева помещений, где предусматривается прерывистый характер работ. Малая инерционность данного вида отопления обуславливает эффективность его применения в качестве догрева. В нерабочее время происходит быстрое снижение температуры воздуха в помещении, что снижает теплотери здания и обеспечивает экономию энергоресурсов. К началу рабочего дня воздушное отопление обеспечит быстрый прогрев охлажденных помещений.

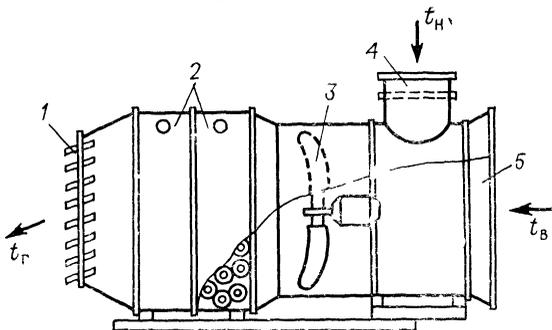
Применение рециркуляции снижает расход теплоты на подогрев воздуха в теплогенераторах (калориферах), поэтому *наиболее экономична работа систем по рециркуляционной схеме, а наименее экономична – по прямоточной схеме.*

3.6.3 Отопительные агрегаты

Отопительным агрегатом называется комплекс стандартных элементов, собираемых воедино на заводе, имеющий определенную воздушную, тепловую и электрическую мощность. Агрегаты изготавливают для установки непосредственно в отапливаемых помещениях. Они представляют собой компактное, мощное оборудование. Недостатком агрегатов является шум при действии вентилятора, чем ограничивается возможность их применения в рабочее время.

Отопительные агрегаты подразделяются на подвесные и напольные. Отопительные и отопительно-вентиляционные агрегаты состоят из стандартных элементов: калорифера, вентилятора, направляющих и регулирующих лопаток (рисунок 10).

Рисунок 10 –
Принципиальная схема
отопительного агрегата:
1 – направляющая решетка;
2 – калорифер; 3 – осевой
вентилятор; 4 – забор
наружного воздуха; 5 – забор
внутреннего воздуха



Воздух от воздушно-отопительных агрегатов местных систем поступает в помещение без каналов – сосредоточенно. В центральных системах подача воздуха может осуществляться как сосредоточенно, так и распределяться по помещениям с помощью каналов-воздуховодов.

Отопление с сосредоточенной подачей воздуха получило широкое применение в больших производственных помещениях. При таком способе возможно достижение равномерного распределения температур в помещении, а отсутствие каналов делает систему экономически выгодной.

Агрегаты воздушного отопления являются компактными местными устройствами, позволяющими поддерживать заданную температуру внутреннего воздуха в холодный и переходный периоды года.

Диапазон производительности агрегатов воздушного отопления варьируется от 2,5 до 10,75 тыс. м³/ч и от 10 до 30 тыс. м³/ч, тепловая

мощность – от 10 до 166 кВт и от 25 до 350 кВт.

В таблице 9 в качестве примера приведены отдельные типоразмеры воздушно-отопительных агрегатов, предназначенных для рециркуляционного обогрева промышленных, складских, гаражных и других подобных им помещений высотой до 6 м.

Таблица 9 – Технические характеристики воздушно-отопительных агрегатов

Показатель	Марка воздушно-отопительного агрегата			
	2–4	2–6	2–10	2–10
Производительность по воздуху, м ³ /ч	4000	6300	10000	20000
Теплопроизводительность, кВт	46	80	116	230
Ориентировочный обогреваемый объем помещения при нормальных условиях, м ³	1200	1850	2900	5750
Мощность электродвигателя, кВт	0,37	0,75	1,1	3,0
Масса, кг	95	108	210	350

Рециркуляционный воздушнонагреватель с естественным движением воздуха – это отопительный прибор типа высокого конвектора, обогреваемый теплоносителем – водой. Основной элемент систем воздушного отопления – *калорифер*. Это теплообменный аппарат, в котором происходит передача теплоты от горячего теплоносителя воздуху через разделяющую их металлическую стенку. Классифицировать их можно по нескольким признакам.

По виду теплоносителя различают калориферы водяные, паровые, электрические. Водяные калориферы в настоящее время получили преимущественное распространение. Нагревание воздуха происходит в них в основном за счет конвективной теплопередачи при обтекании воздухом теплопередающей поверхности.

По ходу движения воздуха трубки в калорифере могут располагаться в коридорном или шахматном порядке. В последнем случае обеспечиваются лучшие условия, вместе с этим возрастает и сопротивление движению воздуха.

3.7 Панельно-лучистое отопление

Под **системой панельно-лучистого отопления (СПЛО)** следует понимать систему, при которой средневзвешенная температура поверхностей t_R выше температуры воздуха t_b .

Для получения лучистого отопления применяют греющие панели – отопительные приборы со сплошной гладкой нагревательной поверхностью. Греющие панели совместно с теплопроводами образуют систему панельно-лучистого отопления. При

использовании такой системы в помещениях создается температурная обстановка, характерная для лучистого способа отопления. Благодаря лучистому теплообмену повышается температура внутренней поверхности ограждений по сравнению с температурой при конвективном отоплении и в большинстве случаев она превышает температуру воздуха помещения.

Классифицировать панели СПЛО можно следующим образом.

По месту размещения панели бывают стеновые, напольные и потолочные.

В зависимости от материала в СПЛО применяют **металлические** панели с отражательными экранами и **бетонные** панели.

По конструктивному исполнению лучистые системы отопления подразделяются:

- на панельные, по трубкам которых проходит перегретая вода;
- газовоздушные;
- радиационные подвесные или настенные.

Достоинства СПЛО:

- обеспечение повышенных санитарно-гигиенических требований;
- совмещение нагревательных элементов со строительными конструкциями;
- снижение расхода металла и трудовых затрат на монтаж;
- улучшение интерьера помещения.

Недостатки СПЛО:

- непосредственное облучение мебели и других предметов;
- большая тепловая инерция систем, осложняющая регулирование теплоотдачи отопительных панелей.

Лучистое отопление может быть устроено при низкой (до 70 °С), средней (от 70 до 250 °С) и высокой (до 900 °С) температуре излучающей поверхности. Система отопления делается при этом местной или центральной.

К местной системе относят отопление помещений панелями и отражательными экранами, если энергоносителями для них являются электрический ток и горючий газ, а также твердое топливо при сжигании его в каминах. В настоящее время предусмотрено применение излучателей при температуре их поверхности не выше 250 °С.

В центральной системе панельно-лучистого отопления применяют низко- и среднетемпературные панели и отражательные экраны с централизованным теплоснабжением при помощи нагретых воды и

воздуха, очень редко – пара высокого и низкого давления.

В системах панельно-лучистого отопления в качестве нагревательной поверхности используют искусственно обогреваемые потолок, стены, пол или специально изготовленные панели приставного или подвесного типа. Соответственно СПЛО называют потолочной, стеновой или напольной.

Месторасположение панелей и отражательных экранов выбирают на основании технологических, гигиенических и технико-экономических соображений.

В помещении лучистый теплообмен всегда сопровождается конвективным. Вследствие различия температуры поверхностей возникает движение воздуха в помещении, которое усиливается благодаря развитию нисходящих потоков воздуха у охлаждающих поверхностей.

Размещение отопительной панели в потолке затрудняет конвективный теплоперенос, и в теплопередаче панели теплообмен излучением составляет 70–75 %. Греться панель в полу активизирует теплоперенос конвекцией, и на долю теплообмена излучением приходится всего 30–40 %. Вертикальная панель в стене в зависимости от высоты передает излучением 30–60 % всей теплоты, причем доля теплообмена излучением возрастает с увеличением высоты панели.

Потолочное панельное отопление передает в помещение теплоту излучением более 50 %, поэтому оно названо лучистым. При напольном отоплении, а также почти всегда при стеновом в общей теплопередаче панелей преобладает конвективный теплоперенос. Однако способ отопления – лучистое оно или конвективное – характеризуется не доминирующим способом теплопередачи, а температурной обстановкой в помещении [22].

В отличие от конвективного способа отопления, при котором радиационная температура t_R ниже температуры воздуха в помещении t_B , при лучистом отоплении $t_R > t_B$, так как температура нагретых поверхностей в помещении выше температуры воздуха. При таком соотношении t_R и t_B доля отдачи теплоты человеком за счет лучеиспускания уменьшается, и, следовательно, комфортные условия могут быть достигнуты при более низкой температуре воздуха помещения.

При наличии нагретых панелей может возникнуть опасность повышенного теплового облучения, поэтому санитарными правилами ограничиваются значения температур поверхностей

потолочных и стеновых панелей [4].

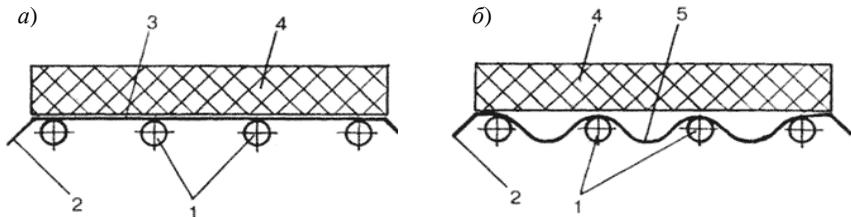
Температура обогреваемых поверхностей при различном положении панелей не должна превышать следующих значений:

- для *напольных* панелей 26 °С;
- для *потолочных* при высоте помещения 2,5–2,9 м – 28 °С; 2,9–3,0 – 30 °С; 3,1–3,4 м – 33 °С;
- для *перегородок и стен* на высоте 1 м от пола 35 °С, выше 1 м – 45 °С.

Видно, что температура стеновых панелей допускается более высокой, чем потолочных, вследствие чего поверхность нагрева стеновых панелей меньше потолочных.

3.7.1 Потолочные и стеновые панели

Металлические панели (рисунок 11) предназначены для отопления широких производственных помещений, перекрытых фермами, не нуждающихся в усиленной вентиляции (механические, инструментальные цехи, ангары и пр.). Излучающие панели, подвешиваемые в верхней зоне таких помещений, состоят из металлического отражательного экрана с козырьками, к нижней поверхности которого прикреплены греющие трубы, а верхняя



поверхность покрыта слоем тепловой изоляции.

Рисунок 11 – Подвесная металлическая отопительная панель [24]:

а – с плоским экраном; *б* – с экраном волнообразной формы;

1 – греющие трубы; *2* – козырек; *3* – плоский экран; *4* – тепловая изоляция;
5 – волнообразный экран

Металлические отопительные панели обогреваются высокотемпературным теплоносителем – паром или водой с параметрами 150–170 °С. При теплоносителе воде и средней разности температуры 95 °С поверхностная плотность общей теплоотдачи металлических панелей составляет 800 Вт/м².

Приборами системы панельно-лучистого отопления служат

бетонные панели с замоноличенными в них стальными регистрами и стояками, по которым циркулирует теплоноситель. Однако в настоящее время в Республике Беларусь такие плиты применяют очень ограниченно.

В индустриальном домостроении для размещения элементов систем панельно-лучистого отопления могут служить панели наружных и внутренних стен или перекрытий. В теплотехническом отношении наиболее целесообразно размещение приборов панельного отопления в подоконной зоне наружных стен. В этом случае тепловое излучение прибора нейтрализует влияние токов холодного воздуха, нисходящих от оконных проемов. Однако такое размещение отопительного прибора может привести к излишним теплопотерям вследствие излучения части тепла наружу. Поэтому *непосредственно за отопительным прибором следует располагать слой эффективного теплоизолирующего материала.*

Потолочные отопительные панели могут быть совмещенными и подвесными. Также для усиления теплопередачи вниз в верхней части перекрытия помещают теплоизоляционный слой.

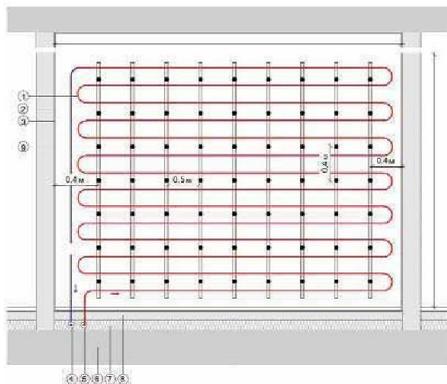
Совмещенные потолочные отопительные панели применяют при условии, что температура теплоносителя поддерживается на невысоком уровне (до 55–60 °С). При температуре теплоносителя выше 60 °С (60–90 °С) отопительные панели описанных конструкций размещают в помещениях длительного пребывания людей не по всей площади, а только по периметру потолка или по контуру здания, вдоль его наружных стен.

Стеновые отопительные панели бывают двух типов: плинтусные и подоконные. Применяются панели совмещенного вида: перегородочные панели, частично заменяющие внутренние стены, и стеновые панели, встроены в наружные стены зданий.

Однако в настоящее время стеновые бетонные панели с замоноличенными стальными регистрами в Республике Беларусь не применяют.

На рисунке 12 изображена одна из возможных укладок труб во внутренней стене. Укладка труб идет методом змеевика или двойного змеевика. Оптимальное удаление воздуха обеспечивается в том случае, если средний шаг укладки 10 см достигается чередованием шага укладки в 5 или 15 см.

Проектирование и монтаж систем настенного отопления RENAU с использованием «сухого» и «мокрого» способов монтажа следует проводить, руководствуясь требованиями строительных норм.



- 1 – металлополимерная труба $\varnothing 14 \times 1,5$ мм;
- 2 – фиксирующая шина;
- 3 – отстенная теплоизоляция;
- 4 – подключение обратной магистрали;
- 5 – подключение подающей магистрали;
- 6 – бетонная плита перекрытия;
- 7 – шагозвуконизолация;
- 8 – стяжка + покрытие пола;
- 9 – крепежный дюбель

Рисунок 12 – Схематичное изображение системы настенного отопления RENAU с укладкой труб змеевиком при «мокрым» способе монтажа

Подсоединение систем настенного отопления может происходить коллекторно по следующим схемам: независимо, последовательно или попутно.

Подоконные бетонные отопительные панели устанавливают в тех местах под окнами помещений, где принято размещать металлические отопительные приборы. Такие панели бывают с односторонней и двухсторонней теплоотдачей с их поверхности. Соединяются они с трубами системы отопления как обычные отопительные приборы.

При использовании подоконных панелей сокращается площадь охлажденной поверхности наружных стен; уменьшаются радиационное охлаждение людей и зона распространения холодного воздуха от окон; не затрудняется, как при перегородочных панелях, расстановка предметов в помещениях.

В Беларуси такие системы целесообразно использовать для обогрева больших складских помещений, взрывопожароопасных участков и цехов, имеющих категорию «А».

3.7.2 Напольное отопление

Многочисленные исследования отопительных систем показали, что система теплоизлучающих панелей правильно подобранных размеров с использованием передовых технологий обеспечивает в помещении

более высокий уровень комфорта по сравнению с обычными отопительными системами: постоянная температура, равномерно распределяющаяся по высоте, отсутствие конвективного движения воздуха, уравнивание влажности, устранение конденсации влаги на стенах.

Система теплого пола легко интегрируется с такими источниками энергии, как солнечные панели, конденсационные котлы, тепловые насосы, энергоотдача которых способствует снижению температуры воды. Благодаря повышенной прочности панелей и трубопровода срок эксплуатации излучающей системы теплого пола достаточно большой.

В настоящий момент времени преимущество получила система напольного водяного отопления с низкой температурой теплоносителя (30–50 °С). В основе данной системы теплого пола нагревательные трубки, по которым циркулирует теплоноситель (теплая вода). Трубки укладываются под поверхностью пола.

Кроме трубок, в комплект системы напольного отопления входят коллекторы и стояки, к которым подключаются трубки подогревателей, запорная и регулирующая аппаратура и шкаф автоматического управления, позволяющий автоматически поддерживать заданные температурные параметры.

Система водяного отопления включает в себя термостатические регуляторы температуры, которые встраиваются в систему теплого пола и дают возможность задавать различные режимы работы системы: комфортный режим (включается при присутствии людей в доме), режим пониженной положительной температуры (при длительном отсутствии людей в помещении).

3.8 Местное отопление

3.8.1 Печное отопление

Печное отопление применяется на протяжении многих столетий и получило широкое распространение в различных странах мира.

Печное отопление – вид местной системы отопления, в которой генератор теплоты, теплопроводы и теплоотдающие поверхности размещены в одном устройстве – в печи, расположенной в отапливаемом помещении. Печи, благодаря периодической топке и колебаниям теплоотдачи, обеспечивают нестационарный тепловой режим в помещении [43].

Печное отопление имеет распространение и в настоящее время. В нашей стране почти треть жилого фонда (в основном за счет старых домов в сельской местности) оборудована печами (рисунок 13). При новом капитальном строительстве печное отопление применяется ограниченно.

Основные элементы отопительной печи (рисунок 14 (<http://www.lider-ing.ru/ingener/otoplenie.html>)) – *топливник* (для сжигания топлива), *газоходы* (каналы), по которым проходят поступающие из топливника горячие газы, *дымовая труба*, для выхода из топливника продуктов сгорания.

Теплота генерируется при сгорании топлива в топливнике печи. Горячие дымовые газы нагревают внутреннюю поверхность каналов-дымооборотов, теплота через стенки каналов передается в отапливаемое помещение. Охладившиеся дымовые газы с температурой 130–150 °С удаляются через дымовую трубу в атмосферу.



Рисунок 13 – Общий вид печи

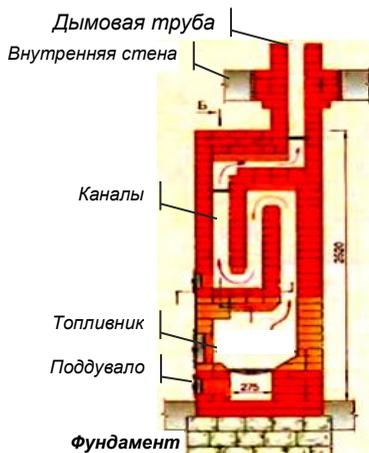


Рисунок 14 – Схема отопительной печи

Наибольшая теплоотдача печи приходится на конец топки, когда температура ее стенок достигает максимума; наименьшая теплоотдача относится ко времени перед началом очередной топки.

Коэффициент неравномерности теплоотдачи зависит от числа топок в сутки и определяется для каждой конструкции печи экспериментально. Колебания теплоподачи вызывают изменение

температуры воздуха и радиационной температуры помещения.

По действующим нормам (п. 6.60, СНБ 4.02.01–03) не допускается применение печей для отопления производственных помещений категорий А, Б и В. Устройство печного отопления в городах и населенных пунктах городского типа должно специально обосновываться и допускается при отсутствии тепловых сетей в населенном пункте [4].

Печное отопление допускается в жилых домах, зданиях сельских советов и управлений при числе этажей не более двух (не считая цокольного этажа), небольших общественных зданиях (например, в общеобразовательных школах при числе мест не более 80), производственных помещениях категорий Г и Д площадью не более 500 м². Печное отопление часто устраивается в дачных домиках и банях.

Д о с т о и н с т в а печного отопления: невысокие затраты на изготовление; нет необходимости в трудоемком обслуживании; работа печи не зависит от поставляемых энергоносителей, газа, электричества и т.д.; наличие дополнительных функций, а именно: приготовление пищи, сушка.

Н е д о с т а т к и печного отопления: пониженный уровень теплового комфорта по сравнению с водяным отоплением (нестационарный тепловой режим, а также переохлаждение нижней зоны помещения); затруднения при эксплуатации (заботы о топливе, уход за печью, загрязнение помещения); повышенная пожарная опасность; возможность отравления окисью углерода при неправильном уходе за печью; потеря (до 5 %) рабочей площади помещения.

Существуют различные **в и д ы п е ч е й**.

Печи-калориферы – печи, служащие для обогрева помещения. Горячий воздух поступает в комнаты по коротким воздуховодам, идущим от печи.

Печи-каменки периодического действия – печи, которые имеют массивную кирпичную кладку и значительный объем камней, что защищает наружные стены от перегрева и сохраняет долгое время тепло. Каменная засыпка нагревается открытым огнем в нижней части до 1000 °С, а в верхней – до 500 °С. При таких температурах сажа полностью сгорает. Если камни отделены от дымовых газов плитой, то она может использоваться в режиме как постоянного

действия, так и периодического.

Печи-каменки постоянного (длительного) действия – печи, имеющие минимальную толщину стенок и минимальный объем каменной засыпки. Температура камней достигает 300–350 °С. При использовании газообразного или жидкого топлива она регулируется количеством поступаемого топлива, а при применении электричества – за счет изменения силы тока. Такие печи обязательно должны быть оснащены автоматикой, отключающей или уменьшающей питание при повышении температуры выше нормы. Преимущество этих печей в том, что камни отделены от дымовых газов железной плитой.

Печи отопительные – печи, которые служат только для отопления помещения.

Печи отопительно-варочные – печи, используемые как для отопления помещений, так и для приготовления пищи, выпечки хлеба, т.е. печи комбинированного действия.

Печи специального назначения – печи, предназначенные для выполнения специальных функций: банные печи-каменки, сушилки для одежды и обуви, печи для подогрева строительных материалов, отопления гаражей, теплиц и т.д.

К л а с с и ф и к а ц и я о т о п и т е л ь н ы х п е ч е й

Конструктивное исполнение печей чрезвычайно разнообразно. На конструкцию оказывают влияние вид используемого топлива и технология возведения печей. Отличаются основные материалы массива, толщина его стенок, форма печей в плане и их высота; схемы движения дымовых газов внутри печей и способы их отвода в атмосферу.

Отопительные печи рассчитаны на различную периодичность топок в течение суток, которая зависит от **теплоемкости** печи. Бывают *нетеплоемкие* печи (срок остывания 1–2 часа) и *теплоемкие* печи, требующие от 1–2 до 3 и более топок в сутки.

Нетеплоемкие печи применяют, как правило, для временных зданий и сооружений, а также зданий с кратковременным пребыванием людей. Теплоемкие печи используют для отопления жилых и общественных зданий, тепловая аккумуляция таких печей должна компенсировать теплотери помещения в срок остывания печи.

Таким образом, печи большой теплоемкости потребуются

протапливать при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления 2 раза в сутки, печи средней теплоемкости – 3 раза, печи малой теплоемкости – топить с незначительными перерывами.

По *температуре теплоотдающей* поверхности в соответствии с предъявляемыми требованиями различают:

- печи умеренного прогрева (толстостенные печи с толщиной стенок 120 мм и более, нагревающиеся в отдельных местах до температуры 90 °С);

- повышенного прогрева (тонкостенные печи с толщиной стенок газохода до 70 мм, температура поверхности которых в отдельных точках достигает до 110–120 °С);

- высокого прогрева (печи, температура поверхности которых не ограничена).

По *схеме движения дымовых газов*:

- с движением газов по каналам, соединенным *последовательно*;

- движением газов по каналам, соединенным *параллельно*;

- со свободным движением газов – *бесканальные* (колпаковые);

- движением газов по *комбинированной* системе каналов с нижним прогревом (с подпочным дымооборотом);

- движением газов по каналам, соединенным последовательно вокруг *тепловоздушных камер*.

По *материалу массива и отделке внешней поверхности* печи бывают (в порядке убывания теплоемкости):

- кирпичные изразцовые;

- кирпичные оштукатуренные;

- бетонные из жаростойких блоков;

- кирпичные в металлических футлярах;

- стальные с внутренней футеровкой из огнеупорного кирпича;

- чугунные без футеровки.

По *форме в плане* печи выполняют прямоугольными, квадратными, круглыми, угловыми (треугольными).

По *способу отвода дымовых газов* различают печи с удалением газов через внутрстенные каналы, через насадные и коренные дымовые трубы. Внутрстенные домовые каналы устраивают в кирпичной кладке стен зданий. Печи соединяют с каналами горизонтальными металлическими патрубками длиной не более 400

мм. Насадные трубы возводят непосредственно над печами. Коренные трубы сооружают относительно редко на самостоятельных фундаментах.

При устройстве печного отопления не допускается отвод дымовых газов в вентиляционные каналы, а также установка вентиляционных решеток на дымовых каналах.

В Беларуси и России большое распространение, особенно в сельских районах, получила так называемая русская печь. Она проста по конструкции и используется для отопления помещений, приготовления пищи, выпечки хлеба и др. При массовом строительстве обычно используют типовые печи, заранее разработанные для сжигания определенного вида топлива, причем печи могут быть рассчитаны на периодическую топку, на непрерывное или затяжное горение. Конструкции таких печей имеют теплотехнические характеристики, полученные на основе лабораторных испытаний.

На быстроту нагрева в первую очередь влияет количество сжигаемых дров, т.е. величина топки. Вторым условием является минимальная толщина стенок печи.

Теплоемкость зависит от толщины стенок или массивности печи, а также материала печи. Так, например, финские печи “Туликиви”, сделанные из уникального камня талькокарбоната, накапливают примерно в 2,5 раза больше теплоты, чем кирпичные, а для увеличения теплоемкости кирпичных печей используют изразцы.

Минимальные габариты. Теплоотдача в первую очередь зависит от площади зеркала печи. Усредненно 1 м² печи нагревает 15 м³ воздуха. Для увеличения нагреваемой поверхности возможно использование внутренних конвекционных каналов. Металлические вставки увеличивают теплоотдачу в период топки.

Надежность. Разрушение кладки происходит в основном в местах соприкосновения материалов с разными коэффициентами расширения, например, места соприкосновения металла с кирпичной кладкой являются напряженными и снижают надежность печи. Во избежание подобных проблем при кладке печи важно следить за температурными зазорами (1 м металла расширяется относительно кирпича на 2 см, 1 м шамотного кирпича

– около 0,5 см). Не менее важно грамотно перевязывать кирпичи в кладке.

Колпаковые печи – наиболее современная система. Внутри колпака для равномерного нагрева стенок устанавливают насадку – выложенные на ребро кирпичи крест на крест.

Экономичность печи зависит от полноты сгорания топлива. Если коротко, то для полного сгорания топлива необходимо выдержать высоту топки (0,5–1 м) или увеличить ее длину. Современные топки оборудуются системой вторичного воздуха, который подается в верхнюю зону факела и позволяет дожигать трудногорючие фракции топлива.

Противопожарные мероприятия. Основное требование пожарной профилактики: чтобы нагреваемые поверхности печей и дымооборотов не соприкасались со сгораемыми частями здания, а деревянные или другие легковозгораемые части зданий должны находиться на достаточном расстоянии от горячих частей печи и дымооборотов или быть хорошо изолированными.

Соблюдение правил строительства печей, каминов и бань, а также правил пожарной безопасности способствует созданию благоприятных условий для жизни людей, обеспечивает безопасность очагов открытого огня в любой сезон, позволяет использовать их с полной нагрузкой в соответствии с назначением того или иного сооружения.

3.8.2 Инфракрасное отопление

При инфракрасном отоплении обогрев помещения происходит, главным образом, за счет лучистого теплообмена между источниками тепла – лучистыми обогревателями и поверхностями строительных конструкций, различных объектов, находящихся в обслуживаемой зоне. Попадая на поверхность ограждений и предметов, излучение частично поглощается и частично отражается ими. При отражении имеет место так называемое вторичное излучение.

В настоящее время выпускаются различные приборы инфракрасного отопления, которые обеспечивают рациональный и экономный обогрев помещений в самых различных условиях [23, **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**].

Инфракрасные (ИК) обогреватели – это отопительные приборы в

виде греющих ламп или панелей, формирующих пучок тепловых инфракрасных лучей, практически не взаимодействующих с воздухом. Качество обогрева помещения зависит от температуры нагревателя и качества дефлектора излучателя.

Все ИК обогреватели можно разделить на 2 основных вида: электрические и инфракрасные газовые обогреватели, используемые в нежилых помещениях.

В свою очередь, электрические ИК обогреватели, также делятся на несколько видов по типу нагревательного элемента: керамические, тэновые, карбоновые.

Газовые обогреватели подразделяются на темные (или иначе, трубчатые) и светлые ИК обогреватели.

При нагревании посредством инфракрасного излучения источником энергии служит инфракрасный излучатель, в конструкцию которого входит сам излучатель (нагретое тело) и рефлектор-отражатель.

Роль излучателя может играть специальная инфракрасная лампа (кварцевая вакуумная лампа трубчатой формы с нагревателем из углерода и металлическим корпусом), тепловой электрический нагреватель (ТЭН), газовая инжекционная горелка с трубкой внутри или отопительная фольга.

В зависимости от температуры нагрева излучателя ИК обогреватели делятся на коротковолновые – 0,77–15 мкм, средневолновые – 15–100 мкм, длинноволновые – 100–340 мкм.

Они же светлые (с температурой излучения выше 700 °С) и темные (с температурой излучения ниже 600 °С). Отличительным признаком светлых и темных систем является наличие открытого пламени на выходе. Если таковое присутствует, системы лучистого обогрева называются светлыми, а в противном случае – темными.

По функциональной направленности инфракрасные обогреватели можно разделить на потолочные обогреватели для офисных и жилых помещений (температура 100–120 °С) и обогреватели для комнат с высотой потолка более 3,5 метров (температура нагрева более 200 °С).

Автоматика, которой оснащены нагреватели, позволяет с высокой точностью регулировать и поддерживать заданную температуру нагрева помещения.

Каждый обогреватель защищен от перегрева специальным термовыключателем. Гарантию пожаробезопасности нагревателя обеспечивает высококачественный изолятор, вмонтированный между нагревательным модулем и корпусом. ИК обогреватели в напольной и настенной модификациях оснащены всеми преимуществами излучающих отопителей, одновременно выполняя функцию электроконвектора.

Среди основных характеристик электрических ИК обогревателей выделяют напряжение питания, потребляемую мощность, массу и габариты.

Современные системы инфракрасного газового отопления – это обогреватели высокой эффективности, КПД которых составляет 85–92 %. В состав газового ИК обогревателя входит одна или несколько горелок, разогревающие специальную поверхность до температуры в 300–700 °С.

Нагретая поверхность создает направленный тепловой поток. Стоит отметить, что газовые отопители более экономичны по сравнению с электрическими. Однако при их работе сжигается кислород и меняется влажность воздуха в помещении, а продукты сгорания вредны для человека и требуют дополнительного отвода.

Основная сфера применения инфракрасного (лучистого) отопления – это помещения большой высоты (с высокими потолками), открытые и полуоткрытые площадки различного назначения, которые трудно (а иногда и невозможно) качественно обогреть традиционным конвективным способом:

- заводские и фабричные цеха, складские помещения, мастерские, СТО, гаражи, ангары авиа- и автомобильной техники, спортивные объекты, торговые павильоны, торговые центры, пожарные и спасательные части;

- судоверфи, строительные и погрузочно-разгрузочные площадки, строительные объекты (для быстрого размораживания строительных смесей, ведения внутренних работ внутри возведенной коробки здания при отсутствии отопления: создает тепловой комфорт, ускоряет высыхание обработанных поверхностей при штукатурно-малярных работах), открытые и полуоткрытые площадки кафе;



Рисунок 15 – Система газового лучистого отопления с инфракрасным обогревателем (<http://www.adrian-russia.ru>)

– помещения с животными (животноводческие фермы, лаборатории, зоопарки), теплицы.

Газовые ИК обогреватели наиболее эффективны при расположении на высоте от 8 до 20 м. Возможно их использование и при высоте потолков до 50 м (рисунок 15).

Они создают поток лучистой энергии в диапазоне длин волн, слабо поглощаемых воздухом, направленный сверху вниз на людей и оборудование.

Теплопередача от нагревателей к людям осуществляется непосредственно с помощью инфракрасных лучей (длина волн 4 мкм – 1 мм электромагнитного спектра). Энергия инфракрасных лучей аккумулируется холодными поверхностями пола и других

предметов, находящихся под ними, которые, в свою очередь, отдают накопленное ими тепло воздуху в помещении (конвективный обогрев).

Формирующийся при этом микроклимат в рабочей зоне в большинстве случаев благоприятен для человека, так как теплота, поступающая излучением от трубчатых инфракрасных нагревателей, подобна природному солнечному воздействию.

Многочисленными исследованиями установлено, что воздействие инфракрасного облучения в определенном режиме благоприятно сказывается на здоровье человека. У трубчатых инфракрасных нагревателей при температуре излучающей поверхности 550–180 °С длина волны составляет 6–12 микрон. Эти лучи проникают в организм, вызывая его максимальный прогрев и являются наиболее оптимальными. Установлено, что продолжительное интенсивное облучение человека инфракрасными лучами может ухудшить его самочувствие (головные боли, нарушение сна, понижение работоспособности), а также снизить его иммунобиологическую реактивность. Поэтому для случаев использования инфракрасного

отопления производственных помещений интенсивность облучения в отечественной и зарубежной практике нормируется.

Инфракрасные системы обогрева способны обеспечить нормируемые температурные условия только на действующих производственных участках независимо от общей температурной обстановки в цехе, поэтому их применение дает ощутимую экономию энергии. При необходимости можно обогревать отдельные участки помещения.

Это достигается за счёт:

- возможности зонального обогрева;
- отсутствия трубной разводки для жидкостного контура;
- управления температурным режимом в зависимости от температуры наружного воздуха;
- снижения температуры в помещениях в нерабочее время.

Системы лучистого газового отопления ограничено применяются в ряде химических производств, взрывоопасных производствах, при технологических процессах с высоким содержанием пыли и иных взвешенных частиц в воздухе.

Электрические инфракрасные обогреватели бывают различных видов и конструкций (рисунок 16).

Принцип работы электрических инфракрасных обогревателей: при подаче электропитания разогреваются электроды горелки; запускаются топливный насос и вентилятор, формирующий топливовоздушную смесь; поступившая к горелке смесь паров топлива и воздуха воспламеняется, излучая ИК лучи.

Среди основных характеристик электрических ИК обогревателей выделяют потребляемую мощность (от 0,7 до 4 кВт), напряжение питания (220 и 380 В), массу (от 4 до 25 кг) и габариты (от 990×164×40 до 1711×410×70 мм).

3.8.3 Электрическое отопление

При **электрическом отоплении (ЭО)** получение теплоты связано с преобразованием электрической энергии в тепловую. На современном этапе развития отопительной техники и технологий ЭО стало пожаробезопасным, не сжигает кислород, не изменяет влажность в помещении, имеет соответствующий класс защиты от поражения током, работает бесшумно и не выделяет никаких вредных веществ. Электромагнитные поля от этого оборудования

находятся на фоновом уровне и значительно меньше многих бытовых электроприборов.

Системы ЭО подразделяются на местные, когда электроэнергия преобразуется в тепловую в обогреваемых помещениях или в непосредственной близости от них, и центральные с электродкотлами.

По степени использования электроэнергии для отопления различают системы с полным покрытием отопительной нагрузки и частичным ее покрытием (комбинированное отопление) в качестве как фоновой (базисной), так и догревающей частей системы [20]. Системы ЭО могут работать по свободному и вынужденному графикам.

Достоинства системы ЭО: высокие гигиенические показатели; малый расход металла; простой монтаж при небольших капитальных вложениях; быстрая управляемость и автоматизация.



Рисунок 16 – Примеры электрических ИК обогревателей (http://www.remstroi.biz/text/text226_iko_bogrevatel.html)

Недостатки: высокая температура греющих элементов; повышенная пожароопасность; ограниченный уровень выработки электроэнергии; высокая отпускная стоимость электроэнергии.

Целесообразность применения электрического отопления в конкретном случае определяется путем сравнения технико-экономических показателей различных вариантов отопления здания.

Электрические отопительные приборы с прямым преобразованием электрической энергии в тепловую подразделяют на радиационные (инфракрасные), конвективные и радиационно-конвективные. При температуре греющей поверхности ниже 70 °С их относят к низкотемпературным, выше 100 °С – к высокотемпературным.

Электроотопительные приборы могут быть:

– стационарными и переносными (напольными, настольными, настенными, потолочными);

- безынерционными и с аккумуляцией теплоты;
- нерегулируемыми и со ступенчатым, бесступенчатым и автоматическим регулированием;
- в зависимости от конструкции – электрокалориферы, электроконвекторы, электротеплоventильаторы, электрические печи, подвесные панели (рисунок 17), греющие обои, панели или полы с греющим кабелем.

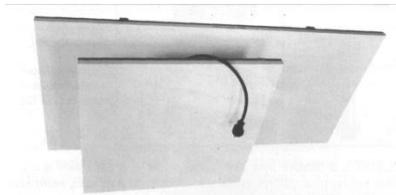


Рисунок 17 – Электрические подвесные панели лучистого отопления

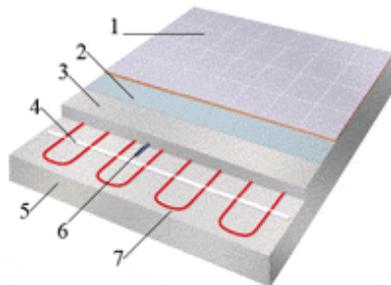


Рисунок 18 – Конструкция системы напольного ЭО:

Система «теплый пол» (рисунок 18) состоит из нагревательного кабеля, уложенного в бетонную стяжку пола, и электронного термостата, подключающего кабель к питающей электросети в соответствии с заданной программой работы, поддерживая тем самым необходимый температурный режим в помещении.

- 1 – напольное покрытие (плитка);
- 2 – плиточный клей; 3 – слой бетона 30–40 мм; 4 – монтажная лента;
- 5 – старый пол; 6 – датчик температуры в гофрированной трубке;
- 7 – нагревательный кабель

Переход к электроотоплению позволяет отказаться от сложных и дорогих теплотрасс, исключаются протечки, замерзания, периодические ремонтно-профилактические работы.

4 ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

4.1 Тепловой баланс помещения

Тепловой режим помещения здания в зависимости от его назначения может быть переменным или постоянным. Постоянный тепловой режим должен поддерживаться круглосуточно в течение всего отопительного периода для жилых, производственных, административных учреждений с непрерывным режимом работы, в детских и лечебных учреждениях, гостиницах, санаториях и т.д.

Отопительная нагрузка определяется исходя из теплового баланса, составленного отдельно для каждого помещения, и должна компенсировать **потери теплоты ($-Q$)** через ограждающие конструкции на нагревание инфильтрационного воздуха затратами тепла для обеспечения вентиляции помещения, а также на нагрев материалов, транспортных средств, изделий и др., которые холодными попадают с улицы в помещение.

В установившемся режиме теплотопотери равны тепlopоступлениям.

Поступление теплоты ($+Q$) в помещение учитывается от источников искусственного освещения, нагретых материалов и изделий в результате прямого попадания через оконные проемы солнечных лучей, от людей, технологического оборудования. В помещении могут быть технологические процессы, связанные с выделением тепла (конденсация влаги, химические реакции и пр.).

Отопление следует проектировать для обеспечения в помещениях расчетной температуры воздуха $t_{в}$.

Учет всех источников поступления и потерь теплоты необходим при сведении тепловых балансов помещений здания. Потребность в отоплении появляется в момент времени, когда тепловой баланс помещения становится отрицательным, $\Delta Q_{п} \leq 0$, т.е. когда теплотопотери помещений преобладают над тепlopоступлениями в

них.

Дефицит теплоты $\Delta Q_{\text{п}}$ указывает на необходимость устройств в помещении отопления, а избыток теплоты обычно устраняется вентиляцией.

Для определения *тепловой мощности системы* отопления составляют баланс часовых расходов теплоты для расчетного зимнего периода:

$$Q_{\text{от}} = \Delta Q_{\text{п}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{вент}} \pm Q_{\text{т-б}}, \quad (35)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – потери теплоты через наружные ограждения;

$Q_{\text{вент}}$ – расход теплоты на нагрев воздуха, поступающего в помещение;

$Q_{\text{т-б}}$ – технологические и бытовые выделения или расходы теплоты.

Тепловой баланс составляется для стационарных условий, когда возникает дефицит теплоты при заданном коэффициенте обеспеченности.

4.2 Определение площади ограждений

Как при ручном, так и при компьютерном расчете теплопотерь при заполнении исходных данных (таблица 11) важно правильно определить площади ограждений (наружные стены, полы, потолки, окна, двери). Расчетная площадь ограждающих конструкций F определяется по правилам обмера. При этом необходимо предварительно вычертить планы и разрез здания в масштабе 1:100. Толщина наружных ограждений должна быть вычерчена в масштабе в соответствии с теплотехническим расчетом.

Принимают следующие линейные размеры ограждений:

- площадь световых проемов и дверей – по заданию;
- площадь потолков и полов – по размерам между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружных стен;
- высоту стен первого этажа по размеру от уровня чистого пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа;
- высоту стен промежуточного этажа – по размеру между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей;
- высоту стен верхнего этажа – от уровня пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия;
- длину наружных стен: *угловых помещений* – по внешнему периметру от линии пересечения наружных стен до осей внутренних

стен, *неугловых помещений* – между осями внутренних стен;
длину внутренних стен – между осями. Для лестничных клеток теплопотери вычисляются по всей высоте без деления на этажи.

Линейные размеры ограждающих конструкций следует определять с точностью до 0,01 м, а площадь – с точностью до 0,1 м².

После конструирования ограждений при условии $R_o \geq R_{тр}$ производят расчет теплопотерь всех помещений здания.

4.3 Потери теплоты через ограждающие конструкции помещений

Для определения теплопотерь отдельными помещениями и зданием в целом необходимо иметь следующие исходные данные: планы этажей и характерные разрезы по зданию со всеми строительными размерами; выкопировку из генерального плана с обозначением стран света и розы ветров; назначение каждого помещения; место постройки здания (название населенного пункта); конструкции всех наружных ограждений, обоснованные теплотехническим расчетом.

Все отапливаемые помещения здания на планах следует обозначать порядковыми номерами (начиная с № 01 и далее – помещения подвала; с № 101 и далее – помещения первого этажа; с № 201 и далее – второго этажа и т. д.). Помещения нумеруют слева направо, причем лестничные клетки обозначают отдельно буквами или римскими цифрами и независимо от этажности здания рассматривают как одно помещение.

Расчетные основные и добавочные потери теплоты помещения определяются суммой потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции Q , Вт, с округлением до 10 Вт для помещений:

$$Q = \frac{F(t_a - t_i)n}{R_i}(1 + \Sigma\beta), \quad (36)$$

где F – поверхность ограждения, м²;

t_b, t_n – расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С;

n – коэффициент учета положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (таблица 10) [11];

R_o – общее сопротивление теплопередачи конструкции ограждения;

β – добавочные теплопотери.

Значения расчетных *внутренних температур* $t_{в}$ для отдельных помещений жилых, общественных и производственных зданий приведены в таблице 11 [1, 2].

Таблица 10 – Расчетная температура внутреннего воздуха

Помещение	$t_{в}, ^\circ\text{C}$
Жилая комната, кухня	18
Угловая комната	20
Совмещенный санузел	25
Лестничная клетка, коридор	16

Добавочные теплопотери β через ограждающие конструкции следует принимать в долях от основных потерь:

β_1 – ориентацию наружных ограждений по сторонам света (рисунок 19): на север, восток, северо-восток, северо-запад – 0,1; на запад и юго-восток – 0,05; на юг и юго-запад – 0;

β_2 – в угловых помещениях дополнительно по 0,05 на каждую стену и окно;

β_3 – проникание в помещение холодного воздуха при открывании наружных дверей при высоте здания h . Для учета затраты теплоты на его нагревание вводят надбавки к теплопотерям наружных дверей: при одинарных дверях – $0,22h$, при двойных дверях без тамбура – $0,34h$, при двойных дверях с тамбуром между ними – $0,27h$.

Добавочные потери теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха $Q_{и}$ учитываются добавками к основным потерям или определяются специальным расчетом [3, приложение К].

Для систематизации расчеты теплопотерь ведут на бланке (таблица 12). Наименования помещений и ограждений сокращают: кухня – К; жилая комната – ЖК; лестничная клетка – ЛК и т.д.; наружная стена – НС, пол – Пл, потолок – Пт, окно – О; наружная дверь – ДН и т.д.

Теплопотери лестничной клетки определяют как одного помещения по всей ее высоте.

Для упрощения вычислений удобнее из площади стен площадь окон и дверей не вычитать, но коэффициенты теплопередачи k_o и k_d

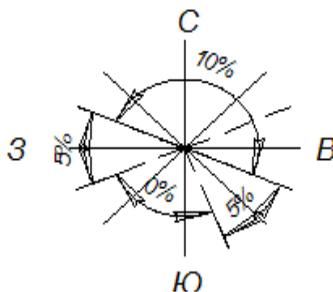


Рисунок 19 – Поправка на ориентацию ограждений в отношении стран света

принимать уменьшенными на величину $k_{н.с}$ для стен.

В сводной таблице 11 приводятся суммарные теплопотери ограждениями по помещениям и общие теплопотери по всему зданию.

Таблица 11 – Ведомость расчета теплопотерь помещений здания

Исходные данные								Расчетные данные						
Номер помещения и назначение	Наименование ограждения	Размеры	Площадь, м ²	Ориентация ограждения	Сопротивление теплопередач R , (м ² ·С)/Вт	Внутренняя температура $t_{в}$, °С	Разность температур $(t_{в} - t_{н})$, °С	Коэффициент n	Основные теплопотери Q , Вт	Добавочные теплопотери в долях β			Расчетные теплопотери ограждений, Вт	Расчетные теплопотери помещения, Вт
										β_1	β_n	$\Sigma\beta$		

В результате получают потери тепла по каждому помещению, суммирование которых дает общие потери Q всего здания, которые и определяют тепловую мощность системы отопления.

4.4 Удельная тепловая характеристика здания

Расчёт тепловых нагрузок на системы отопления по укрупнённым показателям используют только для ориентировочных подсчётов и при определении потребности в теплоте района, города, т. е. при проектировании централизованного теплоснабжения.

Удельной тепловой характеристикой q удобно пользоваться для теплотехнической оценки здания [4].

Величина q определяет средние теплопотери 1 м³ здания, отнесённые к разности температуры 1 °С. Ею удобно пользоваться для теплотехнической оценки возможных конструктивно-планировочных решений здания. Величину q обычно приводят в

перечне основных характеристик проекта его отопления.

По укрупненным показателям можно определить теплопотери для здания в целом, а также ориентировочную мощность котельной или центрального теплового пункта (ЦТП) на группу зданий, что удобно на ранних стадиях проектирования, например при получении технических условий. Для выполнения рабочих чертежей отопления зданий пользоваться укрупненными показателя некорректно.

Значение $q_{зд}$ зависит в основном от отношения площади наружных ограждения к объему здания и теплозащиты ограждений, а также от назначения, этажности, формы, степени остекления здания и района постройки.

Согласно приложению В [4] удельную тепловую характеристику здания $q_{зд}$, Вт/(м²·°С), определяют по формуле

$$q = \frac{1}{F_{\text{в}}} \left(\frac{F_{\text{нб}}}{R_{\text{нб}}} + \frac{F_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} + n_1 \frac{F_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} + n_2 \frac{F_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} + \frac{F_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} + \frac{F_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} \right), \quad (37)$$

где $F_{\text{от}}$ – отапливаемая площадь здания (суммарная площадь пола этажей здания), м²;

$F_{\text{ст}}$, $F_{\text{ок}}$, $F_{\text{пок}}$, $F_{\text{пол}}$, $F_{\text{пол}}$ – площадь наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений здания: соответственно стен, заполнений световых проемов, покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа, пола над проездами, м²;

$R_{\text{ст}}$, R , $R_{\text{пок}}$, $R_{\text{пол}}$, $R_{\text{пол}}$ – сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений здания: соответственно стен, заполнений световых проемов, покрытия (чердачного и подвального перекрытий);

n_1 , n_2 – коэффициенты, учитывающие положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху: соответственно покрытия (чердачного перекрытия), пола первого этажа [11].

Рекомендуемые значения удельной тепловой характеристики для жилых зданий приведены в таблице В.1, например, для здания средней этажности (3–5 этажей) с наружными стенами из мелкоштучных материалов $q_{зд} = 0,57$ Вт/(м²·°С).

Если фактическое значение $q_{зд}$ отличается от нормативного не более чем на 10–15 %, то здание отвечает теплотехническим требованиям. В случае большего превышения сравниваемых значений необходимо объяснить возможную причину и наметить меры повышения тепловой характеристики здания.

4.5 Удельные расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий

Энергоемкость зданий и сооружений складывается из единовременных расходов топливно-энергетических ресурсов (затраты на производство и транспорт материалов и конструкций, на выполнение строительного-монтажных работ) и эксплуатационных расходов (затраты на отопление, вентиляцию, освещение и др.).

Поэтому ориентиром в энергосбережении для зданий современного строительства могут служить удельные показатели расчетного расхода тепловой энергии на отопление q_A , Вт·ч/(м²·°С·сут), и вентиляцию зданий q_V , Вт·ч/(м³·°С·сут) [1]:

$$q_A = \frac{Q_s}{A_{bu}D} \cdot 10^3; \quad (38)$$

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{bu}D} \cdot 10^3, \quad (39)$$

где Q_s – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, кВт·ч;

A_{bu} – отапливаемая площадь здания, м², определяемая по внутреннему периметру наружных вертикальных ограждающих конструкций;

V_{bu} – отапливаемый объем здания, м³;

D – количество градусо-суток отопительного периода, °С·сут;

$$D = (t_{п} - t_{н.от.п})Z_{от},$$

$t_{п}$ – средневзвешенная по объему здания расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях, °С;

$t_{н.от.п}$ – средняя температура наружного воздуха (см. таблицу 1);

$Z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут (см. таблицу 1).

При проектировании теплозащитные свойства зданий и

сооружений, от которых будут в дальнейшем зависеть эксплуатационные расходы, должны определяться по нормативным значениям удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию на единицу общей площади (приложение В).

5 ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

5.1 Требования, предъявляемые к отопительным приборам

Отопительные приборы (ОП) являются основным элементом системы отопления и предназначены для передачи теплоты помещению от теплоносителя. Ко всем отопительным приборам независимо от вида, мощности и месторасположения предъявляют следующие требования:

1) *санитарно-гигиенические:*

- ограничение по максимальной температуре наружной поверхности (корпуса);
- наименьшая площадь горизонтальной поверхности;
- доступность отопительного прибора и ограждающих поверхностей вокруг него для очистки от пыли;

2) *экономические:*

- оптимальная стоимость прибора и работ по его монтажу и эксплуатации;
- наименьший расход металла;

3) *архитектурно-строительные:*

- эстетичный внешний вид;
- оптимальные габаритные размеры;

4) *производственно-монтажные*:

– наименьшие трудозатраты при монтаже, регулировке, наладке, отчасти обусловленные максимальной механизацией работ;

– достаточная механическая прочность отопительных приборов;

5) *эксплуатационные*:

– теплоустойчивость отопительного прибора;

– наличие возможности регулировать его теплоотдачу;

– полная водонепроницаемость в заданных пределах гидростатического давления;

б) *теплотехнические*:

– отопительные приборы должны обеспечивать наибольшую плотность удельного теплового потока, приходящегося на единицу площади;

– коэффициент теплопередачи ОП должен быть не менее 9–16 Вт/(м²·К);

7) *экологические*:

– минимальный уровень выбросов вредных веществ при производстве, эксплуатации, а также установке отопительных приборов.

5.2 Классификация отопительных приборов

В отопительных приборах присутствуют все три вида переноса теплоты, но в зависимости от конструктивного исполнения доля (вклад) того или иного способа в общую теплоотдачу очень отличается.

Все отопительные приборы по преобладающему способу теплоотдачи делятся на **т р и г р у п п ы**:

– *радиационные*, передающие излучением не менее 50 % общего теплового потока: потолочные отопительные панели и излучатели;

– *конвективно-радиационные*, передающие конвекцией от 50 до 75 % общего теплового потока: радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы, напольные отопительные панели;

– *конвективные*, передающие конвекцией не менее 75 % общего теплового потока: конвекторы и ребристые трубы.

В эти три группы входят отопительные приборы **пяти основных видов**: радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы (эти три вида приборов имеют гладкую внешнюю поверхность), конвекторы, ребристые трубы (имеют ребристую поверхность). К

приборам с ребристой внешней поверхностью относятся также калориферы, применяемые для нагревания воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

ОП, применяемые в системах центрального отопления, подразделяются:

– по материалу – на приборы *металлические* (чугунные, стальные, алюминиевые, биметаллические), *малометаллические* (комбинированные) и *неметаллические* (керамические, бетонные и др.); в *комбинированных* приборах используют теплопроводный материал (бетон, керамику), в который заделывают стальные или чугунные греющие элементы (панельные радиаторы). Оребрѐнные металлические трубы помещают в неметаллический кожух (конвекторы); к *неметаллическим* приборам относят бетонные панельные радиаторы, потолочные и напольные панели с заделанными металлическими или пластмассовыми греющими трубами или с пустотами без труб, а также керамические, пластмассовые и другие радиаторы;

– в *внешней поверхности* – на *гладкие* (радиаторы и панели), *ребристые* (конвекторы, ребристые трубы);

– в *высоте* – на *высокие* (высотой более 650 мм), *средние* (400–650 мм), *низкие* (200–400 мм) и *плинтусные* (до 200 мм вкл.);

– в *глубине* (толщине) – *малой* (до 120 мм вкл.), *средней* (более 120 до 200 мм) и *большой* глубины (более 200 мм);

– в *величине тепловой инерции* – *малой и большой инерции*.

К приборам *малой тепловой инерции* относят приборы, имеющие небольшую массу материала и вмещаемой воды. Такие приборы с греющими трубами малого диаметра (например, конвекторы) быстро изменяют теплоотдачу при регулировании количества подаваемого теплоносителя. Приборами, обладающими *большой тепловой инерцией*, считают массивные приборы, вмещающие значительное количество воды (например, чугунные радиаторы). Такие приборы изменяют теплоотдачу сравнительно медленно.

Независимо от типа ОП при его выборе необходимо обращать внимание на два параметра: *тепловая мощность ОП и давление в системе отопления*, которое он может выдержать.

Для предварительной оценки тепловой мощности ОП можно

принять, что для обогрева 10 м² площади хорошо утепленного помещения при высоте потолков до 3 м достаточно 1 кВт [44]. Это без учета остекления, толщины ограждающих конструкций и других факторов. Поэтому для окончательного выбора необходимо провести теплотехнические расчеты ОП.

Рабочее давление ОП говорит о том, на какое давление в системе он рассчитан. Этот параметр особенно важен при установке в многоэтажных городских домах с централизованным теплоснабжением, так как в этом случае давление в системе отопления зависит от давления в тепловых сетях и значительно выше, чем в домах с индивидуальным отоплением.

5.3 Характеристика отопительных приборов

Рассмотрим основные виды ОП, широко используемых при строительстве и реконструкции систем отопления в современных жилых, общественных и промышленных зданиях Беларуси, а также их отличительные особенности, достоинства и недостатки.

Радиатором принято называть конвективно-радиационный ОП, состоящий либо из отдельных колончатых элементов – секций с каналами круглой или эллипсообразной формы, либо из плоских блоков с каналами колончатой или змеевиковой формы.

Радиаторы по своей конструкции имеют относительно большой объем и с постоянным количеством горячего теплоносителя. За счет этого они отдают теплоту преимущественно в виде излучения (каминный эффект), а также конвективным способом (за счет циркуляции нагретого воздуха). *Секции* радиаторов изготавливаются из серого чугуна, стали или алюминия и могут компоноваться в приборы различной площади путём их соединения на резьбовых ниппелях. Несколько секций в сборе называют **секционным радиатором**.

Чугунные радиаторы (рисунок 20) имеют более чем 100-летнюю историю. Чугунные секционные отопительные радиаторы предназначены для систем отопления жилых, общественных и производственных зданий повышенной этажности с температурой теплоносителя до 130 °С (в том числе и в паровых системах отопления) и рабочим избыточным давлением до 0,9 МПа (9 кгс/см²).

Секции радиатора изготовлены из серого чугуна СЧ10 с пластинчатым графитом, ниппели – из ковкого чугуна ферритного класса КЧ30-6Ф. Радиаторы выпускаются малой (300 мм) и средней

(500 мм) высоты, могут компоноваться сантехническими службами в приборы различной площади и с необходимым количеством секций.

Радиатор состоит из отдельных чугунных секций, собранных на ниппелях с помощью каучуковых прокладок из термостойкой высококачественной резины, что повысило надежность и долговечность радиаторов в отношении герметичности.

Радиатор комплектуется четырьмя пробками: двумя глухими с левой резьбой и двумя проходными с правой резьбой и резьбовыми отверстиями в них.

Эти приборы обладают большим внутренним объемом, значительной тепловой инерцией, стойкостью против коррозии и долговечностью, компоновочными преимуществами при неплохих теплотехнических показателях и компактностью.

Минский завод отопительного оборудования выпускает следующие типы чугунных радиаторов: МС-140М и БЗ-140-300 – традиционные двухканальные и трехканальные радиаторы малой и средней высоты; 2К60П – двухканальные секционные радиаторы современного дизайна; 1К60П – новые одноканальные радиаторы и другие типоразмеры, которые имеет улучшенный внешний вид. Особенностью радиаторов этого типа является их высокая инерционность, т.е. они долго нагреваются, но и долго остывают.

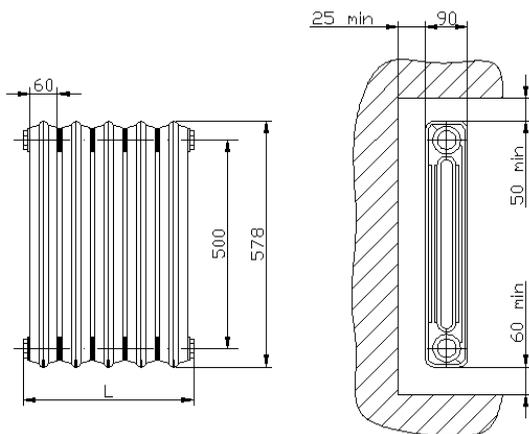


Рисунок 20 – Чугунный нагревательный прибор 2КП-90×500:
500 – монтажная высота; 578 – полная высота;
60 – длина секции; 90 – строительная глубина

Преимущества чугунных радиаторов: длительная эксплуатация радиаторов (до 30 лет), обеспеченная долговечностью и высокой коррозионной стойкостью чугуна; набором определенного количества секций можно приспособить радиатор к конкретным условиям и достичь, таким образом, оптимальной тепловой мощности радиатора; увеличенное сечение водных каналов обеспечивает более длительную эксплуатацию при отложении накипи; простой монтаж: радиаторы могут быть подвешены на стене с помощью кронштейнов или на стойках, прикрепленных к полу; простой и дешевый ремонт: возможность замены вышедшей из строя секции вместо целого радиатора (<http://www.radiator.by/radiators.html>).

Стальные панельные радиаторы (рисунок 21) состоят из двух отштампованных листов, образующих горизонтальные коллекторы, соединенные вертикальными колонками. Змеевик можно выполнить из стальной трубы и приварить к одному профилированному стальному листу; такой прибор называют листотрубным.

Радиаторы стальные панельные различными производителями могут выпускаться с боковым подключением либо с универсальным подключением (нижнее и боковое). В том случае, если речь идет о системах с универсальным подключением следует отметить, что они снабжаются встроенным термоклапаном ручного управления, при этом существует возможность установки автоматического контроля (автоматической термоголовки).

Большое разнообразие длин (от 400 до 3000 мм), высот (300, 500, 600, 700 мм) и типов (10, 11, 20, 21, 22, 30, 33) позволяет проектировать рациональные и эстетичные отопительные системы с учетом разнообразия современных архитектурных и строительных решений зданий.

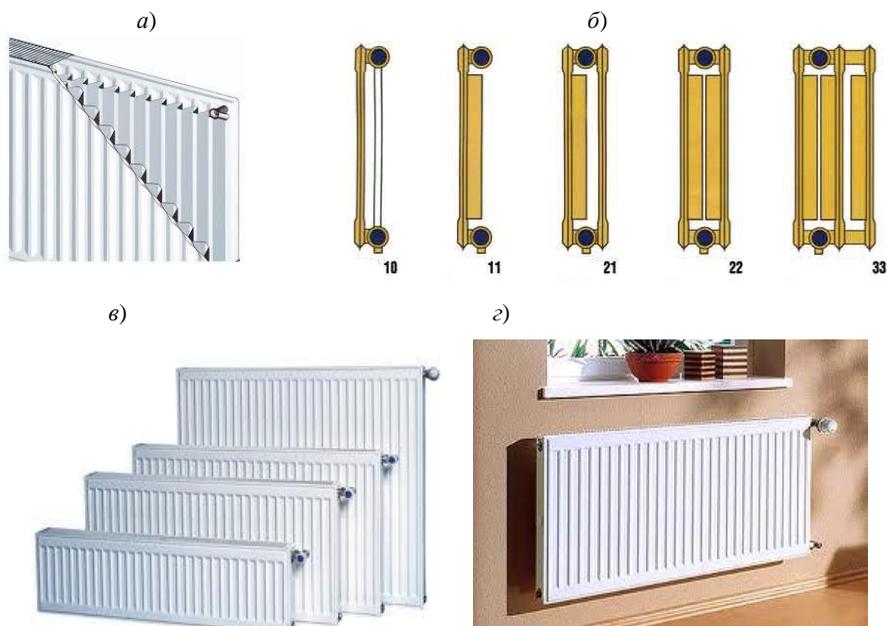


Рисунок 21 – Стальной панельный радиатор:
a – разрез; *б* – типоразмеры; *в*, *з* – примеры
<http://lidea.by/radiators/category/5>

Стальные панельные радиаторы отличаются от чугунных секционных меньшей массой и тепловой инерцией. Описываемые радиаторы имеют повышенный коэффициент теплопередачи, легко очищаются от пыли. Их внешний вид удовлетворяет архитектурно-строительным требованиям, особенно в зданиях из крупных строительных элементов. Конструкция приборов позволяет механизировать их производство с автоматизацией процессов, сократить затраты труда при монтаже.

В настоящее время в Беларуси организовано производство стальных панельных радиаторов «Лидея». Их изготавливают из двух штампованных зеркально симметричных листов из высококачественной холоднокатаной стали толщиной 1,2 мм в соответствии с EN10131. По периметру листы свариваются роликовым швом, а между вертикальными водоканалами – точечной сваркой. Шаг вертикальных водоканалов составляет 33,3 мм. Конвектора из стального листа толщиной 0,4 мм в соответствии с

EN10131 привариваются к панелям с тыльной стороны непосредственно к наружным стенкам вертикальных водоканалов точечной сваркой.

Стальные панельные радиаторы предназначены для применения в автономных системах водяного отопления жилых, административных и общественных зданий. Для повышения эксплуатационной надежности стальные панельные радиаторы рекомендуется использовать в системах отопления только с независимой схемой подсоединения, оборудованных, в частности, закрытыми расширительными сосудами.

Данный тип радиаторов применяется в однотрубных и двухтрубных системах отопления с горизонтальным и вертикальным размещением трубопроводов, объединяющих отопительные приборы. Радиаторы могут применяться как в насосных или элеваторных, так и в гравитационных системах отопления.

В процессе эксплуатации прибора рекомендуется регулярно очищать поверхность панелей и внутреннюю часть конвектора от пыли и других загрязнений. Допускается применение радиаторов в системах отопления, заполненных низкотемпературным теплоносителем.

Алюминиевые радиаторы отопления (рисунок 22) предназначены как для однотрубных, так и для двухтрубных водяных систем отопления помещений. Эти радиаторы отличаются высокой отдачей тепла и экономичностью в эксплуатации. Отличаются современным дизайном.

Алюминиевые радиаторы изготавливаются методом литья под давлением, благодаря чему можно получать радиаторы отопления разной формы.

Длина алюминиевого радиатора и его мощность «набираются» из отдельных секций, что позволяет достаточно точно подобрать требуемые параметры для отопления конкретного помещения. Рабочее давление алюминиевых радиаторов различных производителей существенно отличается. Можно выделить два типа



Рисунок 22 – Алюминиевый радиатор

алюминиевых секционных радиаторов: стандартный «европейский» тип, рассчитанный на рабочее давление примерно 0,6 МПа (6 атм.), для применения в коттеджах и других автономных системах отопления. И «усиленный» радиатор с рабочим давлением не менее 1,2 МПа.

Наиболее проблемным местом алюминиевых радиаторов является выделение водорода при контакте алюминия с водой. В случае неисправности автоматического воздухоотводчика это может привести к разрушению радиатора. При использовании таких радиаторов надо обратить внимание на химический состав теплоносителя в системе отопления: рН-фактор теплоносителя должен находиться в пределах 7–8 единиц. Коррозия, разрушающая алюминиевые радиаторы, усиливается при наличии в системе отопления гальванических пар алюминия с другими металлами. Поэтому при проектировании и монтаже системы отопления необходимо учитывать требования и рекомендации по установке и эксплуатации этих радиаторов.

Плоские блоки радиаторов делают также из тяжелого бетона (**бетонные отопительные панели**), применяя нагревательные элементы из металлических или пластмассовых труб. Бетонные панели располагают в наружных ограждающих конструкциях помещений (совмещённые панели) или приставляют к ним (приставные панели). Бетонные панели, особенно совмещённого типа, отвечают санитарно-гигиеническим и архитектурно-строительным требованиям. К недостаткам совмещённых панелей относятся трудность ремонта, большая тепловая инерция, усложняющая регулирование теплоотдачи, увеличение теплопотерь через дополнительно прогреваемые наружные конструкции зданий. Поэтому в настоящее время они применяются ограниченно.

Конвекторы (от лат. convectio) – образование восходящего потока воздуха вблизи нагретой поверхности. Когда в конвектор поступает теплоноситель, находящийся непосредственно под прибором, воздух нагревается и устремляется вверх, к потолку. Затем он движется к противоположной стене и, постепенно охлаждаясь, опускается. Таким образом, конвектор создает циркуляцию, обеспечивающую интенсивное перемешивание воздушных слоев и

прогрев всех без исключения участков помещения (рисунок 23).

С точки зрения теплофизики конвекторы – оптимальный вариант для помещений с большими окнами: приборы эффективно противостоят потокам холодного воздуха, которые опускаются с поверхности стекол к полу.

В настоящее время выпускают следующие типы конвекторов в зависимости от источников тепла: электрические, газовые, водяные. Используемых при производстве агрегатов, выделяют конвекторы отопления стальные, алюминиевые, медные, чугунные.

Традиционные модели конвекторов состоят из двух элементов – ребристого нагревателя (одной или нескольких металлических труб, на которых с интервалом в пять-десять миллиметров закреплены десятки тонких прямоугольных пластин) и кожуха. Последний декорирует нагреватель и повышает его теплоотдачу. Конструктивно кожух (высота от 7 до 150 см) представляет собой прямоугольный короб или панель с боковыми стенками. Снизу он полностью открыт, а сверху проделаны отверстия для выхода воздуха или установлена декоративная решетка (рисунок 24).

Конвекторы бывают проходными (подключаются к системе отопления с двух сторон) и концевыми (оба питающих трубопровода расположены справа или слева от прибора), кроме того, существуют модели с нижней (скрытой) подводкой теплоносителя.

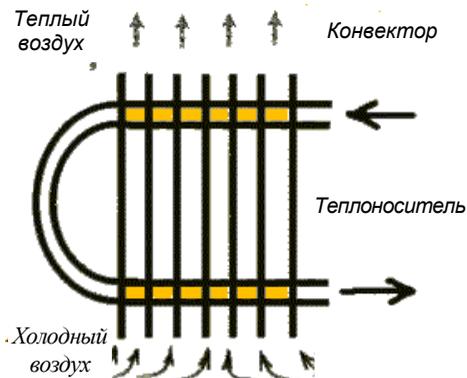


Рисунок 23 – Схема работы конвектора

По способу монтажа конвекторы подразделяют на напольные, настенные и внутрительные (рисунок 25), а по высоте кожуха – на приборы в низком и высоком кожухе.

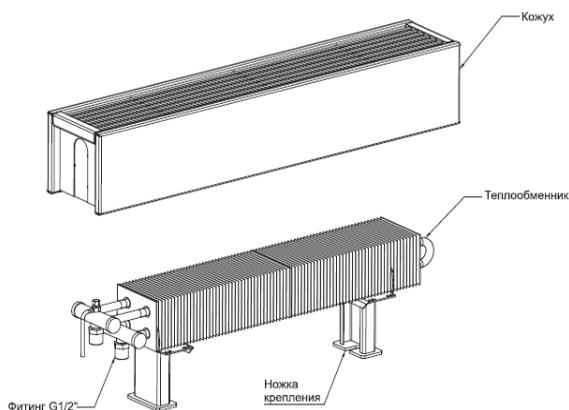


Рисунок 24 – Внешний вид конвектора

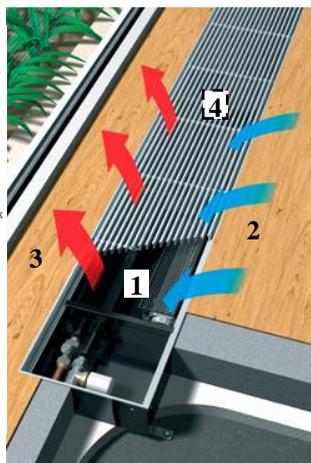


Рисунок 25 – Внутрительный конвектор

Конвекторы различных производителей имеют следующие основные технические характеристики: количество рядов теплообменника

4–6 шт.; содержание воды (л) – 0,74–1,87; расход воды (л/ч) – 92–171; мощность нагрева (кВт) – 1,08–1,99; вес (кг) – 14–21. Они достаточно компактны и имеют очень низкую инерционность и малый внутренний объем.

Внутрительный конвектор 1 (см. рисунок 25) устанавливается в конструкцию пола 2. Сфера применения этих приборов не ограничивается размещением в жилых помещениях под окнами 3, которые могут достигать уровня пола. Также они успешно размещаются в холлах и фойе, концертных залах, у витрин магазина, в офисах и т.п., оставаясь невидимыми для находящихся рядом людей. На поверхности пола остается только декоративная защитная решетка 4.

В соответствии с требованиями дизайна и условий эксплуатации для таких конвекторов имеется возможность выбора материала

(алюминий, сталь, ценные породы дерева) и цвета декоративной решетки. При необходимости использования внутриспольных конвекторов повышенной мощности изготавливают модели со встроенными аксиальными, радиальными или тангенциальными (диаметральными) вентиляторами. Для регулирования тепловой мощности таких радиаторов возможно применение регуляторов числа оборотов двигателей вентиляторов.

Биметаллические радиаторы (рисунок 26) представляют собой радиатор, состоящий от 3 до 15 секций. Каждая секция изготовлена из стального регистра, на который нанесено тонкостенное оребрение из высококачественного алюминиевого сплава. Стальной регистр исключает контакт теплоносителя с алюминием и не приводит к электрохимической коррозии алюминиевого оребрения.



Рисунок 26 – Биметаллический радиатор: общий вид и разрез

(<http://www.heatforhome.ru/index.php?ht=60>. Тепло для дома. Радиаторы отопления российского производства)

Радиаторы могут комплектоваться терморегуляторами для автоматического поддержания в помещении заданной температуры. При этом в однотрубных системах отопления необходимо устанавливать замыкающие участки между подающими и обратными трубами.

Общие технические характеристики биметаллических радиаторов находятся в следующих пределах: рабочее избыточное давление –

2 МПа; максимальная температура теплоносителя – плюс 110 °С; номинальный тепловой поток одной секции – 0,19 кВт, водородный показатель теплоносителя рН – 6,5–9.

Это позволяет сохранить все плюсы алюминиевого радиатора при значительном уменьшении чувствительности к качеству теплоносителя и, как следствие, добиться заметного увеличения срока службы радиаторов.

Ребристые трубы представляют собой фланцевую чугунную трубу, наружная поверхность которой покрыта совместно отлитыми тонкими ребрами длиной 1; 1,5 и 2 м с поверхностью нагрева 2,3 и 4 м². Их устанавливают горизонтально в несколько ярусов и соединяют по змеевиковой схеме на болтах с помощью «калачей» – фланцевых чугунных двойных отводов и контрфланцев.

Ребристые трубы в помещениях с продолжительным пребыванием людей не устанавливают.

Гладкотрубным называют прибор, состоящий из нескольких соединенных стальных труб большого (32–100 мм) диаметра. Гладкотрубные приборы обладают высокой теплопередающей способностью. Вместе с тем эти толстостенные приборы тяжелы и громоздки, занимают много места. Их применяют в тех случаях, когда не могут быть использованы отопительные приборы других видов (например, для обогрева производственных помещений и гаражей).

Полотенцесушители (рисунок 27), или радиаторы для ванных комнат, делятся на водяные, электрические и комбинированные. Импортные полотенцесушители предназначены только для систем отопления и устанавливать их в системах горячего водоснабжения не рекомендуется.

Отечественные полотенцесушители изготавливают из стальных бесшовных труб толщиной 2 мм. Полотенцесушители желательно укомплектовать запорной арматурой, термостатом и воздуховыпускным клапаном.

В соответствии с п.9.1.9 ТКП 4-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий» в зданиях и помещениях лечебно-профилактических организаций, домов отдыха, учреждений социального обеспечения,



Рисунок 27 –
Полотенцесушитель

общеобразовательных школ и учреждений по воспитанию детей (спальные корпуса), а также в жилых зданиях и помещениях гостиничного хозяйства в ваннных комнатах и душевых следует предусматривать установку полотенцесушителей, присоединяемых к системам горячего водоснабжения, как правило, по схеме, обеспечивающей постоянный обогрев их горячей водой.

При подаче горячей воды системами централизованного внутреннего горячего водоснабжения, присоединенными к тепловым сетям с непосредственным водоразбором, допускается присоединять полотенцесушители к самостоятельным системам отопления ваннных комнат и душевых круглогодичного действия.

В последнее время промышленность начала выпускать **дизайн-радиаторы**, которые отличаются различной формой в соответствии с требованиями дизайна.

Подведём итог **достоинств и недостатков отопительных приборов** в зависимости от материала исполнения:

– *алюминий* – плюсы: высокая теплоотдача, легкий вес, современный дизайн; минусы: жесткие требования к качеству теплоносителя и соблюдению режимов эксплуатации;

– *биметалл (сталь + алюминий)* – плюсы: адаптирован для работы в центральных системах отопления, высокая теплоотдача, легкий вес, современный дизайн; минусы: зауженные каналы прохождения теплоносителя;

– *сталь (панельные и трубчатые радиаторы)* – плюсы: современный дизайн, возможность выбора цвета и формы для стальных трубчатых радиаторов; минусы: жесткие требования к качеству теплоносителя и соблюдению режимов эксплуатации;

– *чугун* – плюсы: максимальный срок службы – не зависит от качества теплоносителя; минусы: чувствителен к гидроударам, вес.

5.4 Выбор и размещение отопительных приборов

Выбор отопительных приборов для конкретной системы отопления – достаточно сложная инженерная задача, направленная на решение соответствующих технических требований, таких как рабочее и опрессовочное давление, теплоотдача, режим эксплуатации. После этого подбирается размер, форма и учитываются дополнительные параметры.

До конца прошлого века у потребителя не было выбора отопительных приборов, так как повсеместно в жилых зданиях устанавливались чугунные радиаторы, которые удовлетворяли техническим требованиям характеристик централизованных систем отопления и обеспечивали срок службы отопительного прибора, соизмеримого с периодом эксплуатации здания.

В последнее десятилетие произошел большой технологический скачок в развитии отопительной техники и на рынке стали массово появляться качественные отопительные приборы из различных материалов с широким рядом типоразмеров белорусского, российского и зарубежного производства, которые соответствуют требованиям и области применения: для автономных и/или централизованных систем отопления жилых, административных и общественных зданий.

При выборе отопительных приборов следует учитывать прежде всего качество теплоносителя, а также состав воздушной среды помещений (стальные приборы без защитного покрытия нельзя применять при наличии в воздухе помещений веществ, агрессивных по отношению к металлу) (таблица 13).

Таблица 13 – Характеристики современных отопительных радиаторов

Вид радиатора	Давление: рабочее / опрессовочное / разрушения	Ограничения по pH	Коррозийное воздействие			Мощность секции при $h = 500$ мм, $\Delta t = 70$ °С, Вт	1 секция обогрева, м ²
			кислорода	блуждающих токов	электролитически пар		
Стальной, трубчатый	6–12 / 9–18 / 27	6,5–9,0	Да	Да	Слабое	85	0,85
Чугунный	6–9 / 12–15 / 20–25	6,5–9,0	Нет	Нет	Нет	110	1,10
Алюминиевый	10–20 / 15–30 / 30–50	7–8	Нет	Да	Да	175–199	1,75 – 1,99
Биметаллический	35 / 57 / 75	6,5–9,0	Да	Да	Слабое	199	1,99
Анодированный	15–40 / 25–75 / 215	6,5–9,0	Нет	Нет	Нет	216,3	2,16

Принимают также во внимание назначение и архитектурно-технологическую планировку здания, особенности теплового режима помещений, места и длительность пребывания на них людей.

При повышенных санитарно-гигиенических, а также противопожарных и противозрывных требованиях выбирают приборы с гладкой поверхностью – радиаторы панельные бетонные или стальные и гладкотрубные приборы (при обосновании).

При длительном пребывании людей в обычных условиях применяют приборы конвективно-радиационного и конвективного вида (не более двух видов приборов для всего здания или сооружения).

В производственных зданиях чаще используют приборы, обеспечивающие повышенную тепловую плотность по длине (радиаторы секционные, несколько ребристых труб и др.); в административно-бытовых зданиях – конвекторы без кожуха; в гражданских – радиаторы и конвекторы с кожухом. В помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей, предпочтение отдается приборам с высокими технико-экономическими показателями.

Отопительные приборы должны обеспечивать равномерное обогревание помещений.

При проектировании, установке, эксплуатации и обслуживании отопительных приборов следует придерживаться существующих норм и правил (ТКП 45-1.03-85–2007 и ТКП 45-1.04-14–2005) [9, 10].

Отопительные приборы следует размещать, как правило, на стене под окном для создания «тепловой завесы». Длина ОП должна составлять не менее 75 % длины светового проема.

Расстояние от прибора до стены зависит от его типа и способа установки радиатора, а также от того, является ли прокладка труб открытой или скрытой.

Отопительные приборы устанавливаются так, чтобы их ребра располагались строго вертикально; в каждом данном помещении необходимо располагать все ОП на одном уровне: не менее 60 мм – от пола, 50 мм – от нижней поверхности подоконных досок, 25 мм – от поверхности штукатурки стен.

При монтаже следует избегать неправильной установки радиаторов:

- слишком малое расстояние между полом и низом радиатора уменьшает эффективность теплообмена;

- слишком высокая установка с зазором между полом и низом радиатора (большим 150 мм) увеличивает градиент температур воздуха по высоте помещения, особенно в нижней его части;

- слишком малый зазор между верхом радиатора и низом подоконника приводит к уменьшению теплового потока радиатора;
- установка радиатора вплотную к стене или с зазором меньше 25 мм увеличивает теплопотери и ухудшает теплоотдачу прибора.

Установка перед радиатором декоративных экранов также приводит к ухудшению теплоотдачи и искажает работу термостата (рисунок 28). При установке отопительного прибора под окном его край со стороны стояка, как правило, не должен выходить за пределы оконного проема. При этом совмещение вертикальных осей симметрии отопительных приборов и оконных проемов не обязательно. ОП следует устанавливать на одиночных или двойных (на планке) кронштейнах.

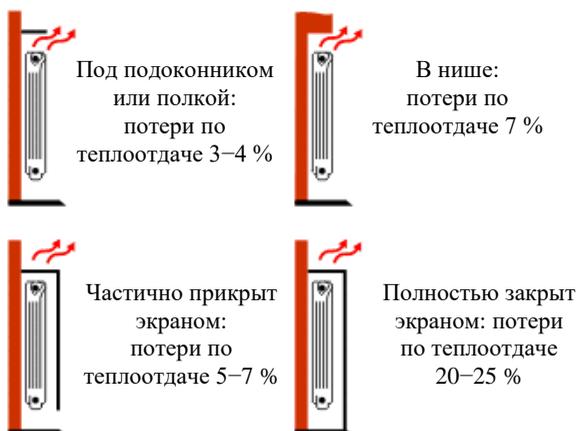


Рисунок 28 – Величина теплоотдачи ОП в зависимости от места и способа его установки

(<http://santeh-montazh.ru/ustrad.php>. Радиаторы отопления.

Правила установки алюминиевых радиаторов)

В помещениях высотой более 6 м со световыми проемами наверху часть приборов располагают в верхней зоне.

Особое размещение отопительных приборов требуется *на лестничных клетках* – вертикальных шахтах снизу доверху здания. Естественное движение теплого воздуха в лестничных клетках в зимний период, усиливающееся с увеличением высоты, способствует теплопереносу в верхнюю их часть и вместе с тем вызывает

переохлаждение нижней части. Поэтому ОП не следует размещать в отсеках тамбуров, имеющих наружные двери во избежание замерзания воды в нём или в отводной трубе в том случае, если наружная дверь длительное время остаётся открытой.

Отопительные приборы лестничных клеток следует присоединять к отдельным стоякам по однотрубной проточной схеме.

В многоэтажных зданиях в настоящее время для отопления лестничных клеток применяют высокие конвекторы и рециркуляционные воздухонагреватели. В малоэтажных зданиях обычно используют приборы, выбранные для отопления основных помещений. Их размещают на первом этаже при входе за тамбуром и, в крайнем случае, переносят часть приборов (до 20 % от их общей площади в двухэтажных, до 30 % – в трехэтажных зданиях) на промежуточную лестничную площадку между первым и вторым этажами.

Отопительные приборы размещают так, чтобы были обеспечены их осмотр, очистка и ремонт. Если применяется ограждение или декорирование приборов (кроме конвекторов с кожухом по техническим требованиям), то уменьшение номинального теплового потока укрытых приборов допустимо не более чем на 10 %.

5.5 Определение площади поверхности отопительных приборов

Определив вид отопительного прибора, место его установки в помещении, способ присоединения к теплопроводам, производят его теплотехнический расчет. *Задача расчета* заключается в определении площади (размера) внешней нагревательной поверхности прибора, обеспечивающей в расчетных условиях необходимый тепловой поток от теплоносителя в помещение.

Нагретая поверхность прибора должна при этом иметь максимальную среднюю температуру воды в приборе, связанную с ее расходом.

По первому варианту рекомендуется такая последовательность выполнения расчетов:

1 Рассчитывается суммарное понижение температуры $\Sigma\Delta t_m$ на участках подающей магистрали от теплового пункта до

рассматриваемого стояка, ветви. Определяется температура подающей воды на входе в рассматриваемый стояк:

$$t_{\Gamma} = t_{11} - \Delta t_{\text{м}}, \quad (40)$$

где t_{11} – температура теплоносителя, поступающего в систему отопления по магистралям из теплового пункта.

2 Для однетрубного стояка вычисляются расчетные температуры t_x на стояке между узлами отопительных приборов, являющиеся в дальнейшем расчете температурами входа воды в отопительный прибор $t_{\text{вх}}$. Вычисления производят по принципу пропорциональности потери температуры на узле отопительного прибора его тепловой нагрузке $Q_{\text{пр}}$, рассчитывая «по ходу движения воды» от t_{Γ}

$$t_x = t_{\Gamma} - \frac{(t_{\Gamma} - t_o)(Q_{\text{пр.1}} + Q_{\text{пр.2}} + \dots + Q_{\text{пр.л}})}{\Sigma Q_{\text{ст}}}, \quad (41)$$

где $Q_{\text{пр.1}} + Q_{\text{пр.2}} + \dots + Q_{\text{пр.л}}$ – тепловая нагрузка ОП, расположенных выше точки x , в которой определяется температура воды, Вт;

$\Sigma Q_{\text{ст}}$ – тепловая нагрузка всех ОП, присоединенных к данному стояку, Вт.

Следует помнить, что значения тепловой нагрузки отопительного прибора (или сумма тепловых нагрузок отопительных приборов помещения) соответствуют расчетной тепловой нагрузке данного помещения $Q_{\text{пом}}$.

3 Определяется средняя температура отопительного прибора. В *двухтрубных системах* водяного отопления средняя температура теплоносителя одинаковая во всех приборах:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\Gamma} + t_o). \quad (42)$$

В *однетрубных системах* средняя температура в нагревательных приборах будет **разной** и определяется расчетным путем:

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{вх}} - 0,5\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - 0,43Q_{\text{пр}} / \alpha G_{\text{пр}}, \quad (43)$$

где α – коэффициент затекания воды в отопительный прибор, равный отношению расхода воды в приборе к расходу воды в стояке, $\alpha = G_{\text{пр}} / G_{\text{ст}}$;

$G_{\text{пр}}$ – фактический расход воды в приборе, кг/ч,

$$G_{\text{пр}} = \frac{0,86 Q_{i \delta}}{t_{\bar{a}} - t_{\bar{t}}}. \quad (44)$$

4 Для отопительного прибора рассчитывается средняя расчетная разность температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}, \quad (45)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в отапливаемом помещении, °С.

5 Вычисляется тепловой поток $Q_{\text{тр}}$ от трубопроводов, открыто проложенных в рассматриваемом помещении,

$$Q_{\text{тр}} = \Sigma(q_{\text{в}} l_{\text{в}}) + \Sigma(q_{\text{г}} l_{\text{г}}), \quad (46)$$

где $q_{\text{в}}$, $q_{\text{г}}$ – теплоотдача 1 м соответственно вертикального и горизонтального неизолированных теплопроводов, Вт/м;

$l_{\text{в}}$, $l_{\text{г}}$ – длина соответственно вертикального и горизонтального неизолированных теплопроводов, м.

(Количество теплоты, выделяемого подводящим трубопроводом длиной 1 м в зависимости от диаметра трубы (d) при расчетной нагрузке отопления, следующее: при $d = 38$ мм – 125 Вт, $d = 32$ мм – 110 Вт, $d = 25$ мм – 88 Вт. Соответственно теплопотери отводящих трубопроводов длиной 1 м: при $d = 25$ мм – 80 Вт, $d = 32$ мм – 84 Вт, $d = 38$ мм – 86 Вт.)

6 Расчетный требуемый тепловой поток отопительного прибора

$$Q_{\text{пр.1}} = (Q_{\text{пом}} - 0,9 Q_{\text{тр}}) \quad (47)$$

7 Номинальный требуемый тепловой поток, Вт, отопительного прибора

$$Q_{\text{пр.ном}} = Q_{\text{пр.1}} \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p, \quad (48)$$

где 70 – температурный напор при стандартных условиях;

n, p – экспериментальные показатели (согласно таблице 14);

360 – расход воды в приборе (стандартный), кг/ч.

Таблица 14 – Значения эмпирических показателей

Тип прибора	Схема присоединения прибора	Расход теплоносителя, кг/ч	n	p
Чугунные и алюминиевые	Сверху–вниз	До 50 Более 50	0,3	0,02 0,00

радиаторы	Снизу–вниз	До 100	0,15	0,08 0,00
Стальной панельный радиатор		Более 100		
Конвектор настенный с кожухом	Снизу–вверх	До 60	0,25	0,12 0,04
Конвектор настенный без кожуха		Более 60		
Труба отопительная чугунная	Любая	До 90	0,3	0,18 0,07
Приборы из гладких труб	Любая	Более 90	0,2	0,3
	–	–	0,25	0,07
			0,25	0,00

8 По требуемой величине $Q_{\text{пр.ном}}$ подбирается по каталогам производителей отопительный прибор, номинальный тепловой поток которого $Q_{\text{ном}}$ может быть меньше требуемого не более чем на 5 % или на 60 Вт.

Для секционных отопительных приборов требуемое минимальное число секций

$$N = Q_{\text{пр.ном}} / Q_{\text{ном}}, \quad (49)$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальный тепловой поток одной секции радиатора, принимаемый по каталогу производителя, Вт/секц.

По второму варианту подбор отопительных приборов (их число и тип) производят на основе подсчета теплопотерь помещений. Поскольку площадь теплоотдающей поверхности зависит от принятого вида прибора, его расположения в помещении и схемы присоединения к трубам (т.е. ряда дополнительных факторов), то определять требуемую площадь следует по формуле

$$F_{\text{т.д}} = \frac{Q_{\text{д.т.д}}}{k(t_{\text{н.д}} - t_{\text{а}})} \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4, \quad (50)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – потери тепла помещениями при расчетной максимальной нагрузке, Вт;

k – коэффициент теплопередачи от прибора к окружающему воздуху, Вт/(м²·°С);

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно: β_1 – охлаждение воды в подводящих стояках, β_2 – способ установки прибора (β_3 от 0,9 до 1,3), способ

подводки воды (β_3 от 0,5 до 1,8) и число секций в приборе (β_4 от 1,035 до 0,96).

После определения расчётной площади поверхности прибора проектировщики обычно по каталогу подбирают ближайший торговый его размер (число секций или марка панельного радиатора, длина конвектора, ребристой или гладкой трубы).

Расчетное число секций редко получается целым, поэтому его необходимо округлять в большую сторону до целого. В группировке прибора принимают к установке ближайшее большее число секций. Расчет отопительных приборов сводится в таблицу (таблица 15).

Таблица 15 – Расчет нагревательных приборов

Номер помещения	Наименование помещения	Теплопотери	Средняя температура теплоносителя	Температура помещения	Тип нагревательного прибора	Коэффициент теплопередачи	Поверхность нагрева	Количество секций	Группировка секций в ОП

С точки зрения потребителя радиатор водяного отопления имеет две важные характеристики – тепловую мощность и рабочее давление теплоносителя в сети. Для определения нужной мощности следует умножить площадь помещения (в м^2) на 100 Вт. Если окна оборудованы хорошими стеклопакетами, полученную величину умножьте на 0,8, если комната угловая, используйте коэффициент 1,3. Рабочее давление в тепловой сети узнают в котельной или у сантехнического персонала, обслуживающего наружные сети.

По третьему варианту подбор приборов отопления проводится по эмпирическим данным. Но он может быть рекомендован только для ориентировочных расчетов. При проектировании зданий массовой застройки не применяется.

Для климата, характерного для Беларуси, излучаемая мощность отопительного прибора данной конструкции берется из расчета 1 кВт на 10 м^2 общей площади помещения (при условии, что

высота потолка в квартире не превышает трех метров). Данная мощность позволяет нагревать жилье до +18–20 °С при максимально низкой температуре за окном. Кроме того, расчет отопительных приборов учитывает, что радиаторы устанавливаются непосредственно под окнами и сразу нагревают «стекающий» вниз холодный воздух.

На алюминиевые радиаторы отопления расчет мощности берется из условия, что мощность одной секции радиатора составляет в среднем от 150 до 200 Вт (при высоте секции 0,6 м). Значит, для полного обогрева комнаты площадью 20 м² потребуется: $(20 : 10) \cdot 1 \text{ кВт} = 2 \text{ кВт}$ отопительной мощности.

Расчет количества секций радиатора отопления производится посредством простого деления. При минимальной нагрузке на радиатор число секций $2000 \text{ ватт} : 150 \text{ Вт} / 1 \text{ секцию} = 13,4 \text{ секции}$ (1 кВт = 1000 Вт). Принимаем к установке 14 секций.

При максимальной нагрузке: $2000 \text{ Вт} : 200 \text{ Вт} / 1 \text{ секцию} = 10 \text{ секций}$.

Следовательно, алюминиевый радиатор высотой 600 мм в данном помещении должен быть оборудован 14 секциями, которые обеспечат комфортные условия проживания при отрицательных температурах наружного воздуха.

В угловом помещении расчет приборов отопления должен учитывать потерю теплоты на дополнительное выхолаживание воздуха от контакта с переохлажденными стенами, поэтому число секций радиатора при этих условиях следует увеличить на 1-2 штуки.

Данный пример расчета количества секций отопительных приборов точен при наличии в квартире деревянных окон, не оборудованных стеклопакетами. Если учесть, что наличие стеклопакета почти на четверть снижает потери теплоты через оконные неплотности и охлажденные стекла, поэтому и количество секций можно уменьшить пропорционально.

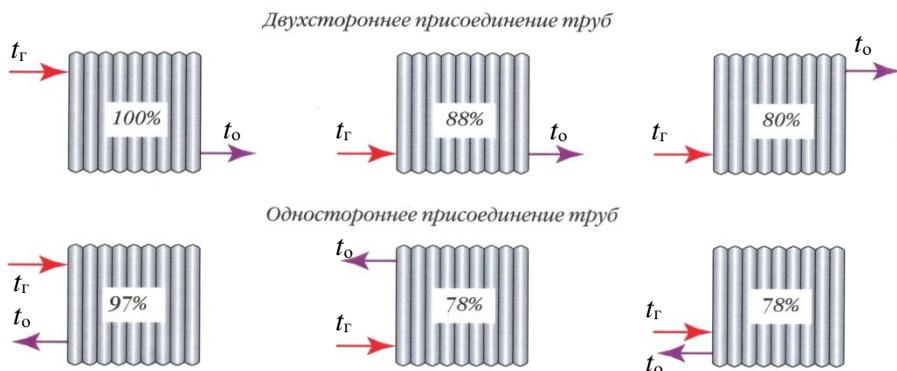
5.6 Основные типы приборных узлов и способы их подключения

Присоединение труб к отопительным приборам может быть с противоположных сторон (разностороннее) и с одной стороны

(одностороннее) (рисунок 28*).

В зависимости от способа присоединения отопительного прибора к стоякам может изменяться их мощность теплоотдачи.

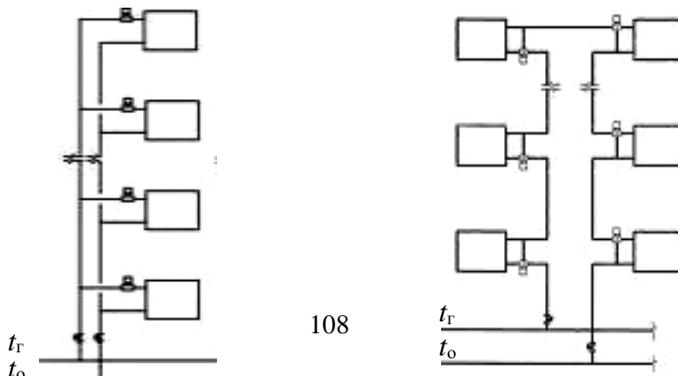
Тепловой поток вертикальных приборов зависит от расположения мест подачи и отвода из них теплоносителя воды. Теплопередача возрастает при подаче теплоносителя воды в верхнюю часть и отводе воды из нижней части прибора (направление движения сверху – вниз) и понижается при направлении движения снизу – вверх. При установке отопительных приборов в несколько ярусов по высоте (радиаторов, конвекторов, гладких труб или ребристых труб) рекомендуется обеспечивать последовательное движение



теплоносителя сверху – вниз (из верхнего яруса в нижние).

Рисунок 28* – Изменение мощности теплоотдачи отопительных приборов в зависимости от способа присоединения к ним труб

После того как выбраны класс, вид и модель отопительных приборов, необходимо определить их схему присоединения к стоякам системы отопления, которые делятся на двухтрубные и однотрубные (рисунок 29).



В двухтрубной системе теплоноситель подаётся по одной трубе (подающий стояк), а отводится по другой (обратный стояк). Отопительные приборы подключаются к стоякам параллельно и работают в одинаковых условиях. Поэтому температура теплоносителя t_t , входящего в приборы на всех этажах здания, одинакова. Такая схема отопления существует в малоэтажных зданиях старой постройки, в коттеджах и в современных домах, а также широко используется за рубежом.

В однотрубных системах отопления отопительные приборы присоединяются к одной трубе (стояку) так, что горячая вода подается последовательно в отопительные приборы, установленные на этажах, и отводится от них по той же трубе. Отопительные приборы подключаются к стояку последовательно. Поэтому температура теплоносителя, входящего в каждый следующий прибор, снижается. Такая схема часто применяется в Беларуси и России и реже – за рубежом.

На рисунке 30 изображены основные приборные узлы трех типов с односторонним присоединением теплопроводов к приборам, применяемые в вертикальных однотрубных системах водяного отопления, и приборный узел, используемый в двухтрубных системах водяного и парового отопления.

В приборном узле первого типа отсутствует кран для регулирования теплоносителя, поэтому он называется **проточным**. Следовательно, стояк с таким присоединением нагревательных приборов также будет называться проточным. Проточные приборные узлы характеризуются тем, что расход теплоносителя в каждом приборе стояка равен его расходу в стояке в целом.

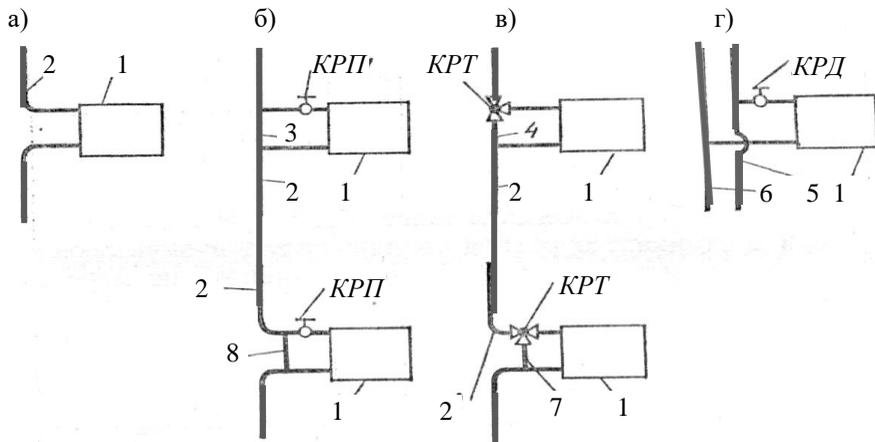


Рисунок 30 – Типы приборных узлов с односторонним присоединением:

a – проточный; *б* – с замыкающими участками (осевые и смещенные); *в* – проточно-регулируемые; *г* – двухтрубные;

1 – отопительные приборы; *2* – однотрубные стояки; *3* – осевой замыкающий участок;

4 – осевой обходной участок; *5* и *6* – подающий и обратный теплопроводы;

7 – смещенный обходной участок; *8* – смещенный замыкающий участок

В приборах второго типа на подводках со стороны теплоносителя помещаются проходные регулирующие краны КРП. В этом случае на стояке около прибора делают замыкающие участки, располагаемые по оси стояка, тогда это узел с **осевым замыкающим участком**. Либо участок смещен по отношению оси стояка и называется **со смещенным замыкающим участком**.

Для приборных узлов с замыкающим участками характерно, что расход теплоносителя в приборах всегда меньше общего расхода теплоносителя в стояках, а расход теплоносителя в замыкающих участках может возрасти до максимального по мере закрывания (регулирования) крана КРП.

Приборные узлы третьего типа с трехходовыми регулировочными кранами КРТ и обходными участками (осевыми или смещенными)

носят название проточно-регулируемых. Их особенностью является обеспечение полного протекания теплоносителя из стояка в каждый отопительный прибор как в проточном стояке. Вместе с тем, в процессе эксплуатации можно уменьшить расход теплоносителя в каждом отдельном отопительном приборе, как в узлах с замыкающими участками, перепуская теплоноситель через обходной участок при помощи крана КРТ, или полностью отключить прибор.

В приборных узлах двухтрубных стояках водяного отопления каждый отопительный прибор присоединяют отдельно к подающей и обратной трубам. По подающему теплопроводу подводится горячий теплоноситель, по обратному – отводится охлажденный. Для регулировки количества теплоносителя используют краны КРД.

Одностороннее присоединение, чаще используемое на практике, обеспечивает по сравнению с разносторонним меньший расход труб и большие возможности для унификации приборных узлов. Однако при этом снижается КПД, увеличивается площадь отопительных приборов и, как следствие, металлоёмкость.

Регулирующую арматуру на подводках к приборам **не устанавливают** в местах, опасных в отношении замерзания воды в трубах и приборах. Ее **не применяют** во вспомогательных и лестничных помещениях зданий, близ ворот и загрузочных проемов, люков и пр.

5.7 Регулирование теплоотдачи отопительных приборов

Теплопотребности помещений определяют площадь отопительных приборов, которая является постоянной характеристикой для каждого установленного прибора. Однако в течение отопительного сезона изменяется температура наружного воздуха, на ограждающие конструкции воздействует ветер и солнечная радиация, тепловыделения в помещениях неравномерны. Поэтому для поддержания теплового режима помещений на заданном уровне необходимо в процессе эксплуатации регулировать теплопередачу отопительных приборов.

Эксплуатационное регулирование теплового потока отопительных приборов может быть **качественным** и **количественным**.

Качественное регулирование достигается изменением

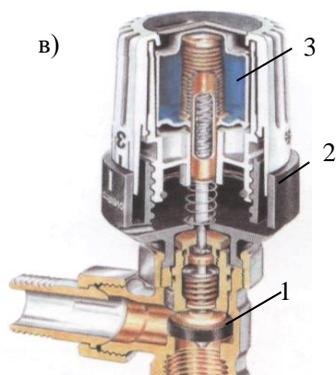
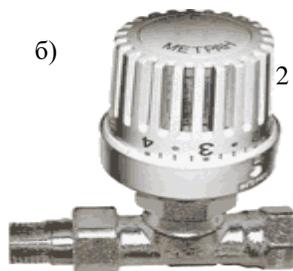
температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления. Такое регулирование по месту осуществления может быть **центральным**, проводимым на тепловой станции, и **местным**, выполняемым в тепловом пункте здания. В жилищном строительстве проводят также **групповое** регулирование в ЦТП.

Количественное регулирование теплопередачи отопительных приборов осуществляется изменением количества теплоносителя, подаваемого в систему или прибор. По месту проведения оно может быть не только центральным и местным, но и **индивидуальным**, т. е. выполняемым у каждого прибора.

Эксплуатационное регулирование теплопередачи приборов может быть автоматизировано. Местное автоматическое регулирование в тепловом пункте здания обычно проводят, ориентируясь на изменение температуры наружного воздуха (этот способ регулирования называют «**по возмущению**»). Индивидуальное автоматическое регулирование теплопередачи прибора происходит при отклонении температуры воздуха в помещении от заданного уровня (регулирование «**по отклонению**»).

В последние годы для регулирования расхода горячей воды (теплоносителя), проходящей через прибор отопления, применяются индивидуальные **термоклапаны** или **терморегуляторы (термостаты)** – устройства, обеспечивающие автоматическое изменение расхода теплоносителя через прибор [41]. Функция терморегулятора состоит в том, чтобы согласовать теплоотдачу отопительного прибора в соответствии с теплотребностью помещения. В целях энергосбережения важно правильно распределить теплоту для достаточного нагрева помещения.

Конструктивно термостат (рисунок 31) а) состоит из двух частей: терморегулирующего вентиля (он же клапан) 1 и термостатической головки 2. Термостатический вентиль является пропорциональным регулятором, работающим без дополнительной энергии. Он призван компенсировать воздействие внешнего теплового потока, дросселируя расход на отопительном приборе. По своей конструкции он не является регулирующим вентилем, который может отрегулировать слишком высокую подающую температуру или слишком большой расход, однако выступает в роли ограничителя максимальной нагрузки, предотвращая нежелательный перегрев помещения.



Первоначально (как правило, на подающий трубопровод к прибору) устанавливают клапан терморегулятора с термостатической головкой, в состав которой входит специальный газонаполненный сильфон 3. Газ в сильфоне принимает давление, пропорциональное температуре окружающего воздуха. При повышении температуры воздуха давление газа увеличивается, гофры сильфона разжимаются и способствуют закрытию проходного сечения для прохода горячей воды в корпусе клапана. При снижении температуры воздуха в помещении ниже настроенного значения давление газа в сильфоне снижается, гофры его сжимаются, что ведёт к открытию проходного сечения в клапане. По данным производителей, применение терморегуляторов в системах

Рисунок 31 – Установка термостата на радиатор (а), общий вид (б) и конструкция термостата (в)

отопления благодаря автоматическому регулированию позволяет сокращать расход теплоты до 20 %.

Для предотвращения воздействия на работу терморегулятора восходящей от трубопровода тепловой энергии рекомендуется монтировать клапан таким образом, чтобы термостатическая головка находилась в горизонтальной плоскости.

Термоклапаны выпускаются с пониженным (для однетрубных систем отопления) и повышенным (для двухтрубных систем) гидравлическим сопротивлением.

Терморегуляторы выпускаются трех видов:

- с ручной настройкой расхода теплоносителя через вентиль;
- термостатической головкой, управляемой сильфоном;
- термоголовкой, управляемой выносным термодатчиком.

У всех трех видов терморегуляторов нижняя часть – терморегулирующий вентиль может быть одинаковым, разница заключена в управляющем элементе – термоголовке.

Для ручного регулирования теплопередачи приборов служат **краны и вентили**. Конструкцию регулирующего крана выбирают в зависимости от вида системы водяного отопления. В двухтрубных системах применяют краны индивидуального регулирования, отвечающие двум требованиям: они имеют повышенное гидравлическое сопротивление и допускают проведение монтажно-наладочного (первичного) и эксплуатационного (вторичного) количественного регулирования. Эти краны называют кранами «двойной регулировки».

В однетрубных системах используют краны индивидуального регулирования, обладающие незначительным сопротивлением. Эти краны не имеют приспособлений для осуществления первичного регулирования и являются кранами только эксплуатационного (вторичного) регулирования.

Для индивидуального ручного регулирования теплопередачи приборов применяют также воздушные клапаны в кожухе конвекторов. Клапаном регулируется количество воздуха, циркулирующего через нагреватель конвектора. Достоинством этого способа регулирования, так называемого регулирования "по воздуху", является сохранение постоянного расхода теплоносителя в отопительных приборах.

Ручное регулирование эффективно в том случае, когда доля

отключаемой нагревательной поверхности составляет не менее 0,5.

Рассмотрим стандартные краны, предназначенные для ручного регулирования теплоотдачи нагревательных приборов в системах водяного отопления зданий при температуре теплоносителя 95 °С и рабочем давлении до 1,0 МПа (10 кгс/см²) (таблица 16) [20].

Краны всех типов в зависимости от конструктивного решения регулирующего устройства могут быть шиберными (Ш), вентильными (В), пробковыми (П) и дроссельными (Д).

Таблица 16 – Основные типы регулирующих кранов

Обозначение типа	Наименование крана регулирующего	Рекомендуемая область применения	Назначение крана
КРТ	Трехходовой	Для однострубных систем отопления	Потребительское регулирование
КРП	Проходной	То же	То же
 КРД (http://zwetlit-erodno.narod.ru/kran_Reg2RegRus.htm)	Двойной регулировки (КРДШ-15 и КРДШ-20)	Для двухтрубных систем отопления	Монтажное и потребительское регулирование

Краны типов КРП и КРД в зависимости от монтажного положения изготавливаются в универсальном исполнении – пригодными для установки на правой и левой подводках.

Краны типа КРТ могут изготавливаться как в универсальном, так и в одностороннем исполнении – для установки только на правой (п) или только на левой (л) подводке.

Краны должны изготавливаться в соответствии с техническими требованиями, при этом конструкция регулирующего устройства крана должна обеспечивать плавное изменение теплоотдачи нагревательного прибора; на рукоятках кранов всех типов

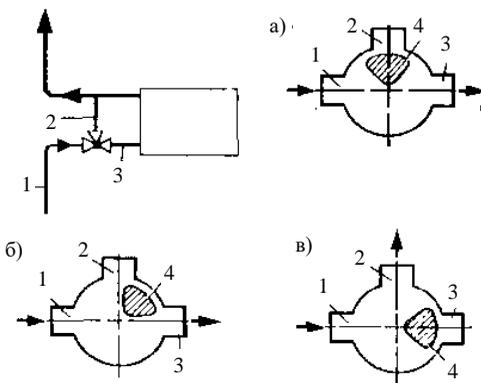


Рисунок 32 – Установка трехходового крана на подводке к ОП при однострубном стояке: а – вода полностью протекает в прибор через подводку (заслонка в кране закрывает обходной участок); б – вода частично затекает в прибор; в – вода обходит прибор (заслонка закрывает подводку), протекает полностью в обходной участок и далее в стояк: 1 – однострубный стояк; 2 – обходной участок; 3 – подводка;

должны быть нанесены необходимые указатели для потребительского регулирования; краны должны иметь ограничители крайних положений регулирующего устройства и др.

6 СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

6.1 Теплопроводы системы отопления: размещение и прокладка в здании

Теплопроводы – это трубы систем водяного отопления, предназначенные для подачи в приборы и отвода из них необходимого количества теплоносителя. Теплопроводы вертикальных систем отопления подразделяют на **магистралы, стояки и подводки**.

Размещение **магистралы** – соединительной трубы между местным тепловым пунктом и стояками – зависит от назначения и ширины здания, вида принятой системы отопления.

В гражданских зданиях шириной до 9 м магистралы можно прокладывать вдоль их продольной оси, что не вызывает перерасхода труб при соединении ее с каждым стояком.

В гражданских зданиях шириной более 9 м рационально использовать две разводящие магистралы – вдоль каждой фасадной стены. При этом сокращается не только протяженность труб, но и становится возможным эксплуатационное регулирование теплоотдачи отдельно для каждой стороны здания – пофасадное регулирование.

При размещении магистралей требуется обеспечивать свободный доступ к ним для осмотра, ремонта и замены в процессе эксплуатации систем отопления, а также компенсации температурных удлинений.

Магистралы систем отопления гражданских зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий размещают, как правило, на чердачных и в технических помещениях [22, 29].

В зависимости от места прокладки магистралей различают системы с *верхней разводкой*, когда подающая магистраль Т1 расположена выше отопительных приборов; с *нижней разводкой*,

когда подающая T1 и обратная T2 магистрали расположены ниже приборов (рисунок 33). При водяном отоплении бывают еще системы с «опрокинутой» циркуляцией воды, когда подающая магистраль T1 находится ниже, а обратная T2 выше приборов.

Движение теплоносителя в подающих (разводящих) и обратных (сборных) магистралях может совпадать по направлению или быть встречным. В зависимости от этого системы отопления называются с тупиковым (встречным) и попутным движением воды в магистралях.

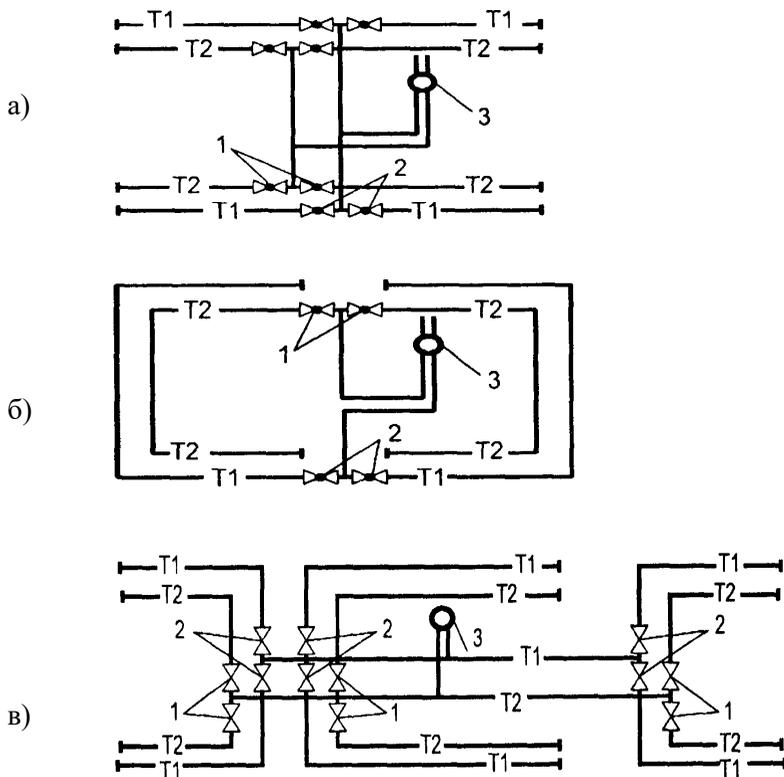


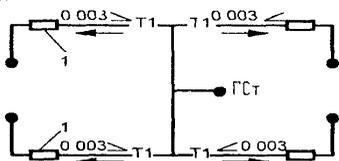
Рисунок 33 – Размещение магистралей при нижней разводке:
 а – тупиковой; б – с попутным движением теплоносителей;
 в – посекционной тупиковой; 1, 2 – задвижка (кран, вентиль)
 на обратной и подающей магистралях; 3 – тепловой пункт

На чердачных помещениях магистрали прокладывают на расстоянии 1–1,5 м от наружных стен для удобства монтажа и ремонта, а также для обеспечения при изгибе стояков естественной компенсации их удлинения.

В подвальных помещениях, технических этажах и подпольях, а также рабочих помещениях магистрали для экономии места укрепляют на стенах или на специальных скобах под потолками.

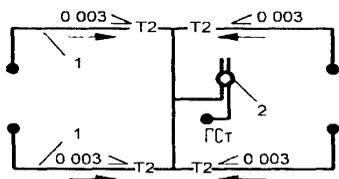
В системах водяного отопления уклон магистральных теплопроводов необходим для отвода в процессе эксплуатации скоплений воздуха (в верхней части систем), а также для самотечного спуска воды из труб (в нижней их части). Уклоны предусматривают *по ходу движения* теплоносителя при верхней разводке и *против хода* в системах с нижней разводкой магистралей.

Нижние магистрали всегда прокладывают с уклоном в сторону теплового пункта здания. При этом если магистралей две (подающая и обратная), то рационально для удобства крепления при монтаже придавать им уклон в одном и том же направлении.

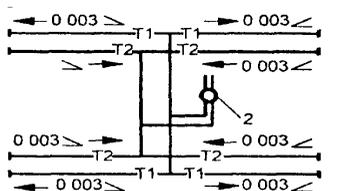


Тупиковая схема движения теплоносителей в системе водяного отопления

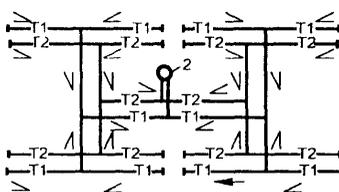
а) подающая магистраль при верхней разводке (на чердаке)



б) обратная магистраль при верхней разводке (в подвале)



в) нижняя разводка с расположением магистралей в подвале



г) нижняя разводка посекционная и с расположением магистралей в подвале

Рисунок 34 – Направление движения теплоносителя и уклон магистралей в системах водяного отопления

Рекомендуемый нормальный уклон водяных магистралей в

насосных системах 0,003 (отклонение от горизонтали на 3 мм на 1 м длины труб), хотя в необходимом случае уклон может быть уменьшен до 0,002. В системе водяного отопления с естественной циркуляцией уклон увеличивают до 0,005–0,01.

Размещение **стояков** – соединительных труб между магистралями и подводками – зависит от положения магистралей и размещения подводок к отопительным приборам. Обязательным является обособление стояков для отопления лестничных клеток, а также расположение стояков в наружных углах помещений.

Конструкция стояков должна способствовать унификации деталей для индустриализации процесса заготовки и уменьшения трудоемкости монтажа системы отопления.

Теплопроводы горизонтальных систем, кроме того, имеют еще и горизонтальные ветви.

Прокладка труб в помещениях может быть *открытой* и *скрытой*. В основном применяют *открытую* прокладку как более простую и дешевую. Теплоотдачу труб принимают в расчет при определении площади отопительных приборов.

По технологическим, гигиеническим или архитектурно-планировочным требованиям прокладка труб может быть *скрытой*: магистрали переносят в технические помещения (подвальные, чердачные и др.), стояки и подводки к отопительным приборам размещают в специально предусмотренных шахтах и бороздах (штробах) в строительных конструкциях или встраивают (замоноличивают).

При прокладке теплопроводов учитывают предстоящее изменение длины труб в процессе эксплуатации системы отопления. Эксплуатация проходит при изменяющейся температуре теплоносителя (выше 35 °С), и трубы удлиняются по сравнению с монтажной их длиной в большей или меньшей степени.

Температурное удлинение нагреваемой трубы – приращение ее длины Δl , м, – определяется по формуле

$$\Delta l = \alpha (t_r - t_n) l, \quad (51)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала трубы, °С⁻¹;

t_r – температура теплопровода, близкая к температуре теплоносителя, °С;

t_n – температура окружающего воздуха в период производства монтажных работ, °С;

l – длина теплопровода, м.

Таким образом, при размещении теплопроводов, особенно при перемещении по ним высокотемпературного теплоносителя, необходимо предусматривать компенсацию усилий, возникающих при удлинении подводок, стояков и магистралей за счет, например, П-образных компенсаторов, специальных изгибов подводок к приборам.

Размещение **подводки** – соединительной трубы между стояком или горизонтальной ветвью и прибором – зависит от вида отопительного прибора и положения труб в системе отопления.

Для унификации деталей подводок и стояков, как известно, используют односторонние горизонтальные подводки постоянной длины (например, 500 мм) независимо от ширины простенка в здании. При этом стояк однотрубной системы размещают на расстоянии 150 мм от откоса оконного проема, а не по оси простенка как при двусторонних подводках.

Вертикальные стояки, как и отопительные приборы, располагают преимущественно у наружных стен – открыто (на расстоянии 35 мм от поверхности стен до оси труб $D_y \leq 32$ мм) либо скрыто в бороздах стен или массиве стен и перегородок.

При монтаже стояков необходимо соблюдать следующие правила:

- стояки прокладываются строго по отвесу;
- в двухтрубной системе подающий стояк располагают с правой стороны (если смотреть на стену), а обратный – с левой стороны;
- необходимо выдерживать следующие расстояния между осями стояков и стен: 35 мм при диаметре стояков до 1 1/4 дюйма включительно и 50 мм при диаметре стояков 1 1/2 дюйма и 2 дюйма, допуск +5 мм;
- расстояние между осями проходящих рядом подающих и обратных стояков должно быть 80 мм при диаметре труб стояков до 1 1/4 дюйма;
- при больших диаметрах указанное расстояние принимается из условий удобства ведения монтажа;
- стояки прикрепляют к стенам хомутами на высоте 1,5–1,8 м от пола.

Горизонтальные однотрубные ветви – распределительные поэтажные трубы систем водяного отопления, промежуточные между стояками и подводками, – размещают под отопительными приборами у пола на таком же расстоянии от поверхности стен, как и стояки, и без уклона, если обеспечена скорость движения воды в них более 0,25 м/с.

6.2 Размещение запорно-регулирующей арматуры

Ручную запорно-регулирующую арматуру систем центрального отопления подразделяют на муфтовую (с внутренней резьбой на концах для соединения с трубами для $d_y \leq 40$) и фланцевую (с фланцами на концах при $d_y \geq 50$).

В качестве запорно-регулирующих устройств при теплоносителе (горячей воде с $t < 100$ °С) применяют пробочные, трехходовые и другие краны, дроссель-клапаны, вентили (с прямой и косой осью), а также (при $d_y \geq 50$) задвижки, при перегретой воде и паре – только вентили.

Регулирование расхода теплоносителя через приборы производят обычно по принципу двойного регулирования: пускового – монтажного (слесарем) и потребительского – эксплуатационного (населением).

Арматура на стояках предназначена для полного отключения отдельных стояков, если требуется проводить ремонтные и другие работы во время отопительного сезона. В качестве арматуры используются запорные краны (пробочные или шаровые). При этом следует учитывать, что быстрое закрытие их при больших давлениях и расходах жидкости может вызвать резкое повышение давления в сети – гидравлический удар, приводящий к разрушению трубопроводов, арматуры, приборов и др. Арматуру на стояках малоэтажных зданий (1–3 этажа) устанавливать нецелесообразно. Здесь проще предусмотреть возможность отключения арматурой сравнительно небольшой части системы отопления (например, вдоль одного фасада здания).

На стояках лестничных клеток арматуру применяют независимо от числа этажей.

В многоэтажных зданиях на стояках систем отопления устанавливают запорные проходные (пробочные) краны и вентили.

При водяном отоплении для спуска воды из одного стояка (ветви) размещают спускные краны (внизу стояков со штуцером для присоединения гибкого шланга).

Арматура в тепловом пункте здания предназначена для регулирования и отключения отдельных систем отопления, а также отопительного оборудования.

Задвижки размещают на главных подающих и обратных магистралях, до и после (по движению теплоносителя)

теплообменников, водоструйных элеваторов, циркуляционных и смесительных насосов и других аппаратов, а также на обводных линиях.

6.3 Материал теплопроводов

В настоящее время для пропуска теплоносителя наиболее часто применяются трубы **металлические** (стальные, медные и др.) и **неметаллические** (пластмассовые и др.) (рисунок 35).



Рисунок 35 – Примеры труб из различных материалов

Современный рынок предлагает широчайший выбор любого оборудования необходимого для устройства отопительной системы: разнообразные отопительные котлы, радиаторы, трубы для отопления дома или квартиры. Необходимо сделать правильный выбор в ходе проектирования новой или реконструкции старой системы отопления. И именно выбор труб для отопления является наиболее ответственным мероприятием, так как зависит от многих факторов, которые необходимо учесть.

Стальные трубы отопления имеют как положительные, так и отрицательные характеристики. Чаще всего в системах отопления используют неоцинкованные (черные) стальные сварные водогазопроводные трубы (ГОСТ 3262–75*), стальные электросварные трубы (ГОСТ 10704–76*) и из «нержавейки». Трубы для отопления стальные имеют высокую граничную температуру плавления до 150 °С, но при этом высокий коэффициент теплопроводности стали приводит к большим

теплопотерям теплоносителя. Стальные трубы не нуждаются в дополнительных креплениях, и в то же время не рекомендуется их применение при проведении скрытых трубопроводов, так как они подвержены коррозии.

В последние годы все чаще используются *медные трубы*, которые отличаются значительной коррозионной стойкостью и долговечностью. Использование мягкой меди позволяет значительно снизить стоимость системы отопления и сократить сроки монтажа за счет уменьшения количества соединительных элементов (фитингов), а также дает возможность различной компоновки и эстетического оформления монтируемой системы отопления.

Металлопластиковые трубы благодаря высоким эксплуатационным характеристикам могут применяться для систем отопления. Максимальная рабочая температура труб из металлопластика 95 °С, а кратковременная допустимая температура до 130 градусов. Привлекательность металлопластиковых труб заключается в легкости их монтажа своими руками

Полиэтиленовые трубы для отопления выполнены из РЕХ – высокопрочного и термостойкого материала. Рабочая температура РЕ труб составляет 90 °С, а кратковременно допустимая 100 °С, по этим показателям мы можем судить о том, что РЕ трубы полностью соответствуют требованиям для бытовых отопительных систем. Срок службы полиэтиленовых труб отопления составляет около 50 лет.

Трубы полипропиленовые армированные характеризуются долговечностью и износостойкостью. Обладают высокой термостойкостью и низкой теплопроводностью. Рабочий температурный режим 0...95 °С. Полипропиленовые трубы не проводят блуждающие токи, не подвержены химической коррозии. Обладают акустической изоляцией и не шумят в процессе. Имеют низкий удельный вес. Внутренняя поверхность трубы не покрывается отложениями. Просты для монтажа.

Соединение теплопроводов между собой, с отопительными приборами и арматурой может быть **неразборным** (сварным и резьбовым) и **разборным** (резьбовым и болтовым), предусматривающим ремонт отдельных частей.

Обзор современной литературы показывает, что способы монтажа труб отопления различаются в зависимости от материала трубы (таблица 17) и для всех указанных соединений требуются не только специальный для каждого трубного материала инструмент, но и специальные знания и навыки.

Таблица 17 – Сравнение теплопроводов систем водяного отопления

Трубы	Достоинства	Недостатки	Способ соединения
Стальные	Большая прочность. Небольшой коэффициент линейных тепловых расширений. Кислородная непроницаемость	Сильно подвержены коррозии. Большая шероховатость (низкая пропускная способность). Трудный монтаж. Большой вес	Сварка. Резьбовые соединения. Фланцевые соединения
Нержавеющая сталь	Все достоинства стальных труб. Долговечность	Очень высокая стоимость	Резьбовые соединения. Обжимные фитинговые соединения

Окончание таблицы 17

Трубы	Достоинства	Недостатки	Способ соединения
Медные	Высокая стойкость к коррозии. Небольшая шероховатость. Низкий коэффициент линейных тепловых расширений. Небольшая толщина стенки. Полная кислородная непроницаемость.	Высокая стоимость. Необходимость заземление для снятия блуждающих токов	Капиллярная спайка. Обжимные фитинговые соединения.
Полиэтиленовые	Гибкость. Малый вес. Высокая скорость монтажа. Низкая шероховатость. Кислородная непроницаемость	Большой коэффициент линейного расширения. Продолжительное воздействие ультрафиолета разрушает структуру трубы	Разборные (цанга с кольцом и обжимной гайкой). Неразборные (пресс фитинги). С помощью полимерных соединений
Полипропиленовые	Низкая стоимость. Дешевые фитинги. Все достоинства полиэтилена	Высокий коэффициент линейного теплового расширения. При высоких температурах теплоносителя незакрепленные трубы провисают	Термостатическая диффузионная сварка
Металлопластиковые	Легко гнутся что позволяет огибать конструкционные элементы здания. Кислородная непроницаемость	Из-за разности коэффициента линейного расширения полиэтилена и алюминия со временем происходит расслоение трубы	Разборные (цанга с кольцом и обжимной гайкой). Неразборные (пресс-фитинги). С помощью полимерных соединений

6.4 Удаление воздуха из системы отопления

Для нормальной работы систем отопления большое значение имеет своевременное удаление из них воздуха. Воздух попадает в систему с водой, в которой он растворен, при первоначальном заполнении системы и при последующих подпитках ее водой. При нагревании воды этот воздух выделяется в виде пузырьков, которые собираются в верхних точках системы, скапливаются в трубопроводах и отопительных приборах и образуют воздушные пробки, нарушающие циркуляцию воды.

В системах отопления с нижней разводкой обеих магистралей газы концентрируются в основном в колончатых радиаторах, установленных на верхнем этаже. В этом случае газы удаляют в атмосферу периодически при помощи ручных и автоматических кранов или централизованно через специальные воздушные трубы.

Воздухоотводчик – это устройство для удаления воздуха, скапливающегося в системах водяного отопления. Различают воздухоотводчики ручного и автоматического действия (рисунок 36).

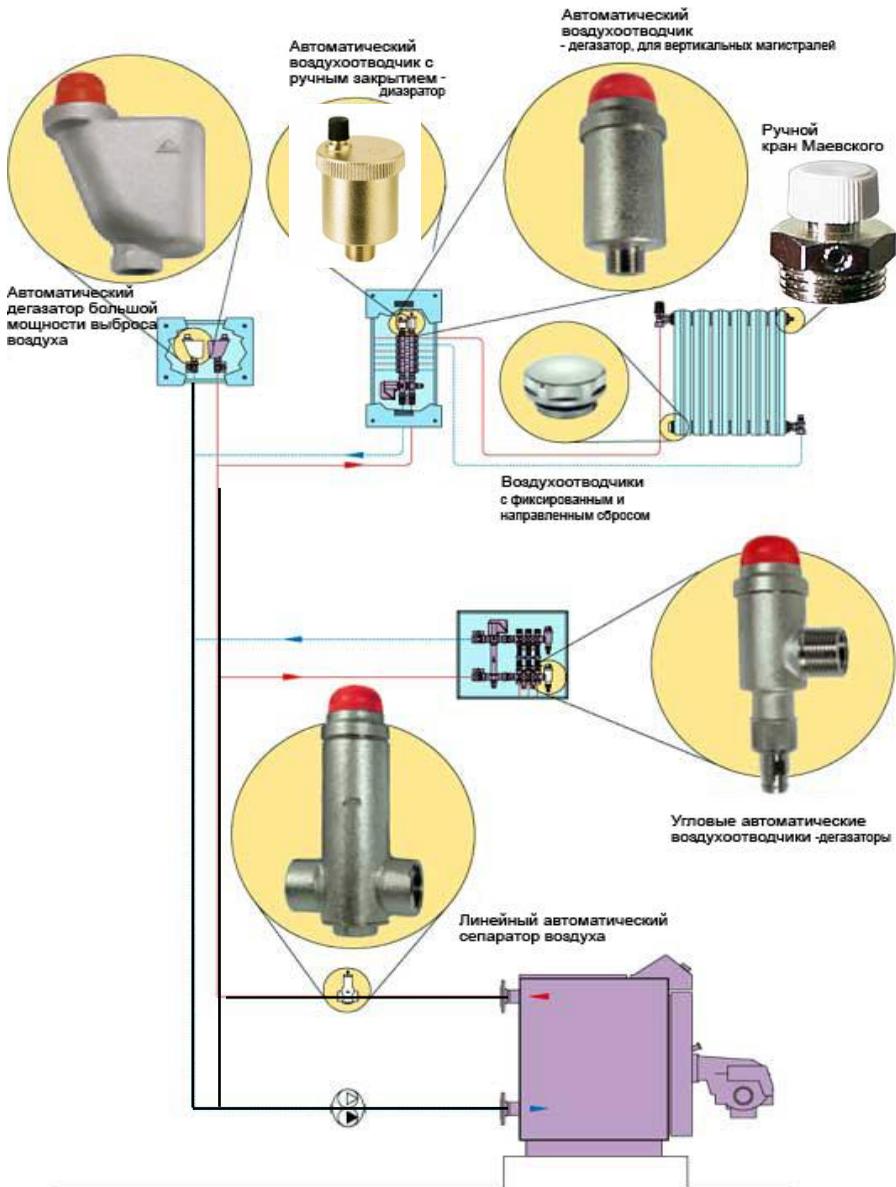


Рисунок 36 – Автоматические воздухоотводчики, дегазаторы, принадлежности для радиаторов (http://rbmspa.ru/disk/it/it/cap6_01.html)
 (Удаление воздуха из систем водяного отопления.
<http://www.uves.ru/articles/110/103/>)

Ручные воздухоотводчики, или краны Маевского, имеют корпус из латуни или стали. Их устройство характеризуется предельной простотой: канал сброса газа или воздуха открывается и закрывается вручную, с помощью отвертки, посредством перемещения регулятора игольчатого типа. Ими пользуются, в основном, для отвода воздуха из радиаторов отопления.

Воздухоотводчик автоматический служит для автоматического спуска воздуха в системах отопления и водоснабжения. Внутренний объем воздухоотводчика спроектирован так, что при отсутствии воздуха поплавков держит выпускной клапан закрытым, но по мере накопления воздуха в поплавковой камере он опускается, открывая выпускной клапан. После удаления воздуха поплавки вновь поднимаются, воздействуя на рычаг, закрывающий выпускной клапан.

Воздухоотводчик необходимо устанавливать в местах, где возможно скопление воздуха и газов (верхние точки отопительных систем и оборудования) в строго вертикальном положении. Данный прибор идеально подходит для применения с биметаллическими и алюминиевыми радиаторами для предотвращения «завоздушивания» отопительной системы.

Во многих системах удаление воздуха производят через находящиеся в верхних точках системы проточные воздухооборники, присоединенные к магистрали, или расширительные баки.

Расширительные баки служат:

– для компенсации температурного увеличения объема воды в системе при ее нагревании, а в насосных системах – и для автоматического включения подпиточного насоса в центральном тепловом пункте;

– удаления из системы в атмосферу воздушных скоплений;

– контроля за уровнем воды в системе (так исключается переполнение системы или, наоборот, незаполненность циркуляционных колец, разрыв в них водяной струи).

Расширительный бак начинает работать, когда нагретая в системе отопления жидкость увеличивается в объеме и ищет дополнительное пространство. При нагревании жидкость увеличивается в объеме примерно на 0,3 % на каждые 10 °С. Поэтому при повышении температуры, например на 70 °С, первоначальный объем воды увеличивается приблизительно на 3 %. Если вода не попадет в бак, в

системе возникнет избыточное давление, что приведет к разгерметизации системы отопления за счет протечки труб в местах их соединения.

Расширительные баки бывают двух типов: открытые и закрытые.

Устройство открытой системы отопления связано с *открытым расширительным баком* в верхней точке системы.

В закрытой системе отопления применяют *мембранный расширительный бак*.

Расширительный бак открытого типа представляет собой открытую емкость, дно которой соединено с трубой отопительной системы. Уровень воды в нем зависит от объема жидкости в системе, который изменяется в зависимости от температуры теплоносителя. От попадания грязи в бачок защищает фильтр. Ставится открытый бак на самом высоком месте отопительной системы (например, чердак). Распространенные в прошлом открытые расширительные баки из-за ряда недостатков в настоящее время практически не применяются.

Расширительный бак закрытого типа (мембранный расширительный бак) (рисунок 37) используется в системах отопления для компенсации температурного расширения воды.

Он представляет собой баллон шарообразной или овальной формы, разделенный внутри герметичной мембраной на две части (воздушную и жидкостную). В воздушной части находится клапан, который при сильном повышении давления спускает воздух и тем самым позволяет жидкости занять внутренний объем бачка. При повышении водяного давления мембрана прогибается и выдавливает воздух из бачка. Когда водяное давление падает, мембрана занимает прежнее положение, воздух через клапан попадает в бачок. Таким образом, вода также имеет возможность расширяться (как и в открытой системе), но нигде напрямую не контактирует с воздухом. Бак закрытого типа ставят в любом месте отопительной системы (как правило, рядом с теплогенератором на обратном теплопроводе).

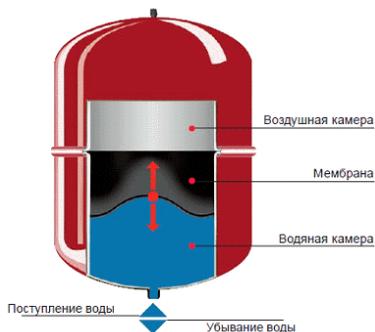


Рисунок 37 – Закрытый расширительный бак

Бак закрытого типа имеет следующие **преимущества**:

- во-первых, в закрытом баке не происходит соприкосновения жидкости системы с воздухом (жидкость не испаряется и не окисляется кислородом, а следовательно, не разъедает внутреннюю поверхность труб и радиаторов, срок службы элементов системы продлевается);
- во-вторых, из закрытого бака жидкость никогда не выльется наружу;
- в-третьих, бак закрытого типа можно поставить в любой точке системы;
- в-четвертых, при установке бака закрытого типа есть возможность задать дополнительное (избыточное) давление даже в верхней точке системы отопления, а следовательно, уменьшается риск образования воздушных пузырей в верхних радиаторах.

В-пятых, установка бака закрытого типа обходится дешевле, если учесть материалы, работу и отделку. Однако его нельзя использовать в системах отопления с естественной циркуляцией теплоносителя.

Для расчета нужного объема мембранного расширительного бака следует определить избыточный объем теплоносителя при нагревании и коэффициент заполнения бака. Соотношение этих величин — нужный объем расширительного бака.

Коэффициент заполнения бака – это величина, показывающая, какой процент объема бака может занимать теплоноситель. Коэффициент заполнения бака должен быть не менее 50 %.

На белорусском рынке сейчас представлено большое количество закрытых расширительных баков различных зарубежных фирм: Reflex (Германия), Aquasystem, Zilmet, Varem, Elbi, CIMM (Италия) и некоторые другие. Все перечисленные выше производители выпускают качественную продукцию, и внешне баки все очень похожи. Однако при выборе бака следует руководствоваться, прежде всего, назначением и условиями эксплуатации. Поэтому при проектировании системы отопления и горячего водоснабжения необходимо учитывать современные требования к установке котельного оборудования и подобрать оптимальное сочетание всех элементов системы и котла отопления.

На рисунке 38 приведена современная схема отопления с верхней разводкой и закрытым расширительным баком, установленным на обратном теплопроводе системы отопления.

В крупных теплопотребляющих системах группы зданий расширительные баки не устанавливаются, а гидравлическое давление регулируется при помощи постоянно действующих подпиточных насосов. Эти насосы также возмещают обычно имеющие место потери воды через неплотные соединения труб, в арматуре, приборах и других местах систем.

Помимо рассмотренного выше оборудования в котельной или тепловом пункте размещаются устройства автоматического регулирования, запорно-регулирующая арматура и контрольно-измерительные приборы, с помощью которых обеспечивается текущая эксплуатация системы теплоснабжения.

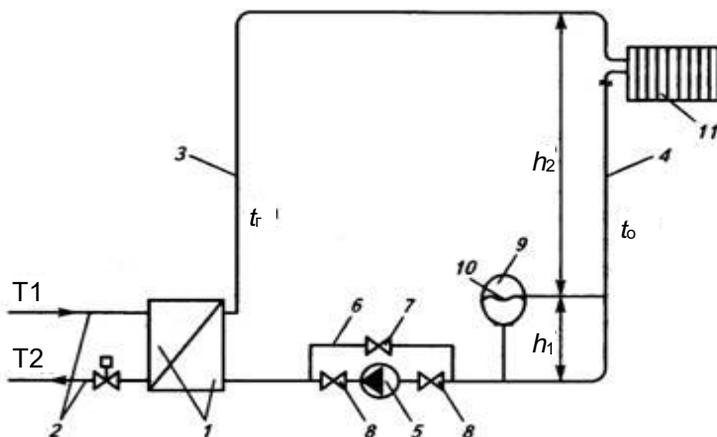


Рисунок 38 – Принципиальная схема присоединения герметичного расширительного бака в системе отопления:

1 – водоводяной теплообменник циркулирующей в системах отопления и теплоснабжения воды; 2 – трубопроводы системы теплоснабжения; 3 – подающий (горячая вода); 4 – обратный (охладившаяся вода); 5 – циркуляционный насос; 6 – обводной трубопровод; 7, 8 – запорные краны; 9 – герметичный расширительный бак; 10 – гибкая внутренняя перегородка (мембрана); 11 – отопительные приборы

6.5 Классификация и основные схемы систем водяного отопления

Системы водяного отопления различаются по ряду признаков:

а) по источнику:

– центральные системы, присоединяемые к тепловым сетям от внешних питающих источников и от индивидуальных автономных

источников теплоснабжения, в том числе от крышных котельных;

– квартирные системы (теплогенератор на одну квартиру);

б) побуждению циркуляции воды в системе:

– гравитационные системы (естественная циркуляция воды);

– системы с искусственной циркуляцией (насос или водоструйный элеватор);

в) расположению магистралей:

– с верхней разводкой подающей магистрали и нижней разводкой обратной магистрали;

– нижней разводкой подающей и обратной магистралей;

– опрокинутая система (нижняя разводка подающей и верхняя прокладка обратной магистралей);

г) направлению движения воды в подающих и обратных магистралях:

– тупиковые (движение горячей и охлажденной воды встречное);

– с попутным движением воды (направление потоков в подающей и обратной магистралях совпадает);

д) по схеме расположения стояков:

– двухтрубные вертикальные и горизонтальные;

– однострубные вертикальные и горизонтальные;

– однострубные «П» и «Т»-образные;

– лучевые однострубные и двухтрубные;

е) схеме регулирования теплоотдачи нагревательных приборов:

– с индивидуальным регулированием по воде;

– индивидуальным регулированием по воздуху;

– автоматическим регулированием;

ж) зависимости от расчетной температуры воды в подающей магистрали:

– $< 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ – система низкотемпературная;

– $70\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – среднетемпературная система;

– $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – высокотемпературная система.

При классических схемах разводок отопительные приборы могут присоединяться к стояку справа и слева (двустороннее присоединение) или только с какой-либо одной стороны.

При разработке систем отопления конкретных зданий составляют схемы систем, различным образом сочетая в каждой схеме магистрали, стояки и ветви системы с отопительными

приборами. В схеме закрепляется **топология системы**, т.е. взаимное расположение теплообменников, теплопроводов, отопительных приборов и других элементов в зависимости от их расположения в здании [46].

Основные схемы закрытых вертикальных систем отопления приведены на рисунках 39–42.

Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и стояками различной (условно) конструкции (с осевыми или центральными II и со смещенными III–V замыкающими участками) (см. рисунок 39) применяется в зданиях различной этажности при наличии чердачного помещения (теплого или холодного). В этом случае подающая магистраль находится на чердаке, а обратная – в подвале.

В проточной системе I вся горячая вода проходит последовательно через приборы, присоединенные к стояку (ветке). Однотрубные проточные системы отопления отличаются простотой конструкции и удобством монтажа. Однако невозможность выключения и регулирования отдельных приборов при одностороннем расположении их по отношению к стояку ограничивает применение этой схемы.

В системе с замыкающими участками горячая вода, движущаяся по стояку, в узлах присоединения приборов разделяется на два потока: часть воды затекает в приборы, а другая часть проходит по замыкающему участку. Вода, охладившаяся в приборах, смешивается с горячей водой, проходящей по стояку, и далее поступает в расположенный ниже прибор. Для регулирования количества теплоносителя или ремонта ОП краны КРП устанавливаются возле ОП после замыкающих участков, а краны КРТ – на соединении подводки и обходном смещенном участке.

Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой и П-образными стояками различной (условно) конструкции (см. рисунок 40) применяется в бесчердачных многоэтажных зданиях (три – семь этажей и более) с расположением подающей и обратной магистралей в подвале. В так называемых П-образных стояках (состоящих из восходящей и нисходящей частей) этой системы применялись и проточные приборные узлы, и узлы с замыкающими участками, и проточно-

регулируемые узлы. При непарных отопительных приборах «холостой» делали восходящую часть стояков. В пробках верхних радиаторов или верхних точках стояков с конвекторами устанавливали воздушные краны. Регулирующие краны КРП и КРТ помещали на подводках, по которым теплоноситель подается в приборы.

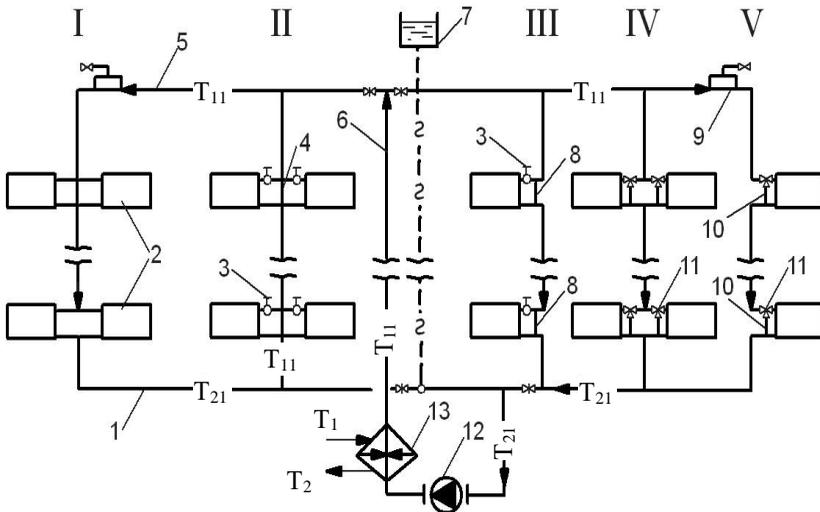


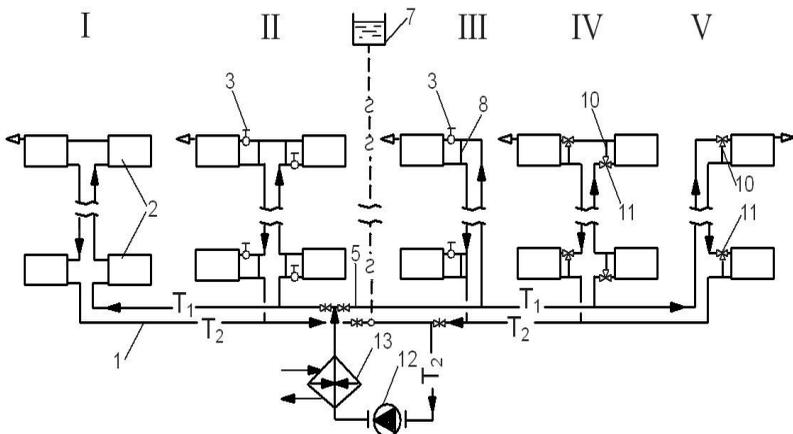
Рисунок 39 – Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и стояками различной (условно) конструкции: I – проточный стояк; II и III – стояки соответственно с осевыми и смещенными замыкающими участками; IV и V – проточно-регулируемые стояки; 1 – обратная магистраль; 2 – отопительные приборы; 3 – краны КРП; 4 – осевой замыкающий участок; 5 – подающая магистраль; 6 – главный стояк; 7 – расширительный бак; 8 – смещенный замыкающий участок; 9 – проточный воздухоосборник; 10 – обходной участок; 11 – краны КРТ; 12 – циркуляционный насос; 13 – теплообменник

Систему с П-образными стояками можно включать в действие в процессе монтажа поэтажно (с временными перемычками), и эту особенность системы используют в зимнее время при выполнении внутренних отделочных работ в строящемся многоэтажном здании.

Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с «опрокинутой» циркулирующей воды (рисунок 41) применяется в зданиях с повышенной этажностью (10 этажей и более). В этом случае в подвале располагается подающая магистраль, а на чердаке –

обратная. Стояки таких систем делают проточными (I и III) или со смещенными замыкающими (IV) и обходными (II и V) участками. Осевых замыкающих и обходных участков не применяют.

В таких системах чаще всего устанавливают конвекторы. Достоинством системы с опрокинутой циркуляцией является

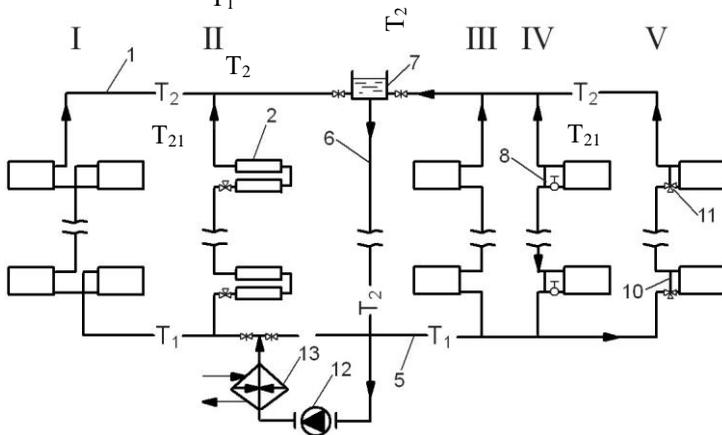


поддержание равномерного теплового режима во всех помещениях и установка приборов одинаковой площади по высоте здания.

Рисунок 40 – Схема вертикальной **однотрубной системы** водяного отопления с **нижней разводкой** и П-образными стояками различной (условно) конструкции:

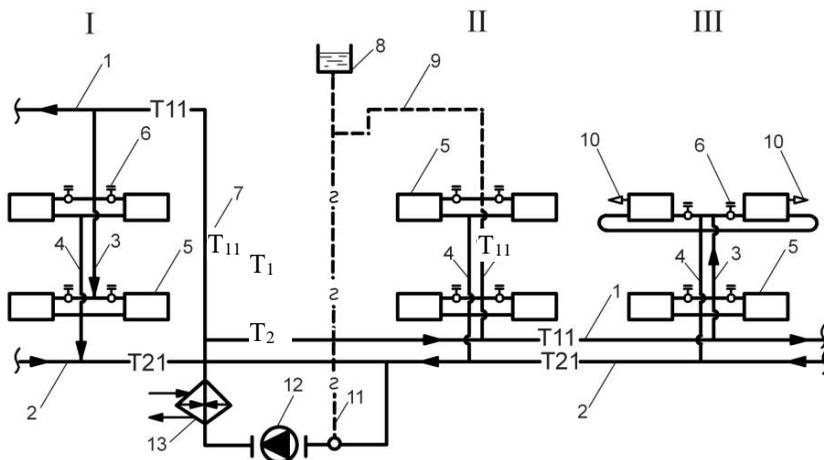
- I – проточный стояк с конвекторами КН; II и V – проточно-регулируемые стояки с конвекторами КА (II) и радиаторами (V); III – проточный стояк с радиаторами;
- IV – стояк со смещенными к радиаторам замыкающими участками

Схема вертикальной двухтрубной системы водяного отопления (рисунок 42) с верхней и нижней разводками чаще всего используется для малоэтажных T_{11} зданий. Преимущество T_{11} эй разводки состояло в меньшем расходе T_{21} руб. большей вертикальной гидравлической и



тепловой устойчивости по сравнению с системой, выполненной с верхней разводкой.

Рисунок 41 – Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с



"опрокинутой" циркулирующей воды, проточным расширительным баком и стояками различной (условно) конструкции

Рисунок 42 – Схемы вертикальной **двухтрубной системы** водяного отопления с верхней (а) и нижней (б) разводками (при нижней разводке стояки условно различной конструкции):

- 1 и 2 – подающие T₁ и обратные T₂ магистрали; 3 и 4 – подающие и обратные стояки; 5 – отопительные приборы; 6 – краны КРД; 7 – главный стояк; 8 – расширительный бак; 9 – воздушная линия; 10 – воздушные краны; II – соединительная труба расширительного бака; 12 – циркуляционный насос; 13 – теплообменник

При проектировании систем отопления необходимо обеспечить расчетную температуру и равномерное нагревание воздуха помещений, гидравлическую и тепловую устойчивость, взрывопожарную безопасность и доступность очистки и ремонта.

Если используется схема однотрубной горизонтальной системы отопления (рисунок 43), то горячая вода в таких системах поступает в отопительные приборы одного и того же этажа из теплопровода, проложенного горизонтально. Регулировка и включение отдельных приборов в горизонтальных системах с замыкающими участками достигаются так же легко, как и в вертикальных системах. В горизонтальных проточных системах регулировка может быть только поэтажная, что является существенным их недостатком.

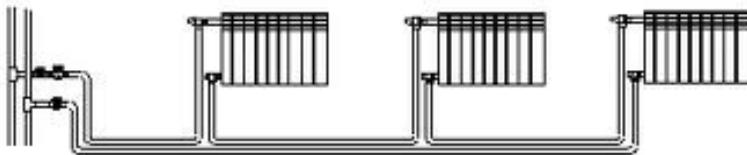


Рисунок 43 – Схема горизонтальной однотрубной системы водяного отопления

К основным достоинствам однотрубных горизонтальных систем относятся меньший, чем в вертикальных системах, расход труб, возможность поэтажного включения системы и стандартность узлов. Горизонтальные системы не требуют пробивки отверстий в перекрытиях, и монтаж их по сравнению с вертикальными системами проще. Они довольно широко применяются в производственных помещениях.

В двухтрубной вертикальной системе разделены подающая и обратная линии (рисунок 44), таким образом, во все отопительные приборы теплоноситель поступает практически одной температуры. Однако отрегулировать двухтрубную систему сложнее. Необходимым условием устойчивой работы таких систем является наличие в здании квалифицированной службы эксплуатации.

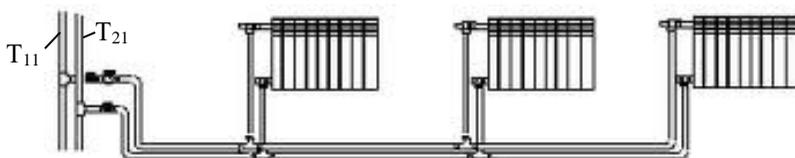


Рисунок 44 – Схема горизонтальной двухтрубной системы водяного отопления

6.6 Поквартирная разводка систем отопления

Поквартирные системы отопления находят все большее применение во вновь строящихся жилых зданиях, как отвечающие требованиям индивидуального учета расхода теплоты на обогрев квартиры и более удобных в обслуживании и эксплуатации.

На рисунке 45 приведена схема поквартирной разводки с выносом узла ввода 1, где устанавливается индивидуальный счетчик тепла, и приборного узла 2 с индивидуальным регулирующим краном шаровым двойной регулировки (КРДШ) на

подающей подводке к радиатору и краном Маевского для выпуска воздушных скоплений.

Примеры отопительных горизонтальных поквартирных систем отопления, выполненных на планах этажей, приведены на рисунке 46 (<http://www.isoterm.ru>).

В зависимости от схемы разводки они могут называться поэтажной коллекторной, лучевой или петлевой разводкой. **Двухтрубная система отопления** считается наиболее эффективной из существующих (см. рисунок 45). Теплоноситель в такой системе подводится по одной трубе, а отводится по другой. Нагревательные приборы подсоединены параллельно, независимо друг от друга. Поквартирная разводка осуществляется через коллектор и требует надлежащей инфраструктуры. При двухтрубной системе отопления возможна дополнительная комплектация термостатом, так как независимо от расположения прибора температуру теплоносителя в нем можно регулировать по мере необходимости.

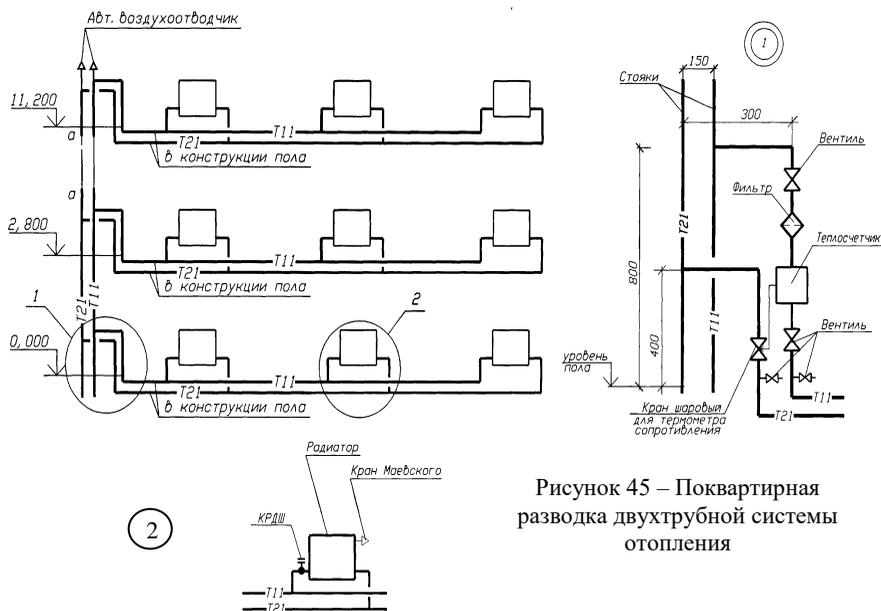


Рисунок 45 – Поквартирная разводка двухтрубной системы отопления

Двухтрубные лучевые системы отопления с индивидуальным

подсоединением трубопроводами (*петлями*). В такой системе отопления у каждого отопительного прибора есть подсоединение к распределительному коллектору (или гребенке) одной квартиры. Распределительные "гребенки" размещают таким образом, чтобы расстояние от каждой "гребенки" до всех отопительных приборов одного этажа было примерно одинаковой величины. Допускается подсоединение «на сцепке» двух отопительных приборов в пределах одного помещения. Трубопроводы прокладываются в форме петель в конструкции пола или вдоль стен под плинтусами. Система удобна для монтажа, так как используются трубопроводы одного диаметра, отсутствуют соединения труб в полу. Использование защитной трубы позволяет при случайном повреждении коммуникаций легко заменить их без разрушения напольного покрытия или стены (рисунок 46, в).

Однотрубная система отопления, как горизонтальная, так и вертикальная, наиболее популярна в Беларуси и России (до 80 %). Все приборы отопления в такой системе соединены последовательно (рисунок 46, б).

Изменение температуры отопительных приборов зависит от удалённости источника тепла. И в каждом последующем по ходу движения приборе температура теплоносителя будет снижаться, а площадь прибора увеличиваться. Главный минус однотрубной системы отопления – она не поддается регулированию.

Современные требования по энергосбережению требуют при проектировании новых и реконструкции старых систем отопления предусматривать возможность учета тепла потребителями. При вертикальной разводке системы отопления это сделать невозможно.

Двухтрубная система с горизонтальной поквартирной разводкой наиболее предпочтительна для современного Рисунок 45 – Поквартирного строительства. Она позволяет учитывать расход тепла для разводки двухтрубной отопления отдельной квартиры и ограничить возможность самостоятельно увеличивать мощность отопительных приборов. Температура теплоносителя не снижается.

Преимущества поквартирной разводки для жильцов и для эксплуатационных служб следующие:

– такая система позволяет службе эксплуатации отключить только одну квартиру в случае аварии или при необходимости ремонта или

замены отопительных приборов;

- независимость разводки от других квартир предполагает возможность индивидуального проектирования отопления квартиры в зависимости от пожеланий владельца;

- поквартирная система может быть оборудована поквартирными теплосчетчиками, что позволяет установить наиболее экономичные параметры микроклимата;

- стоимость устройства поквартирной системы сравнима со стоимостью стандартных схем с вертикальными стояками, но экономически более эффективна.

Для таких систем больше всего подходят трубы из сшитого полиэтилена (PEX). По действующим нормам трубы из полимерных материалов должны иметь антидиффузионный слой, препятствующий проникновению кислорода в теплоноситель.

При соблюдении рабочих характеристик они прослужат более 50 лет. Благодаря сроку службы, гибкости трубы, надежности соединения труба-фитинг можно проводить скрытый монтаж поквартирной системы, замоноличивая трубы в бетон. К тому же скрытая прокладка в гофре позволит при необходимости произвести замену поврежденного участка без вскрытия конструкции стены или пола.

В настоящее время востребованность этих систем возрастает, так как они обладают определенными преимуществами перед вертикальными системами и следующими возможностями:

- учетом тепловой энергии каждой квартирой, так как в вертикальной системе это выполнить невозможно;

- индивидуального отключения квартиры от вертикального стояка-распределителя на ремонт, что практически не влияет на тепловой режим других квартир;

- пуска системы отопления поэтажно, по мере строительной готовности, что невозможно при вертикальной системе без дополнительных затрат;

- горизонтальная система отопления эстетичнее вертикальной, так как нет стояков в комнатах, а провести трубу диаметром 15 мм (20 мм) за плинтусом не представляет технической трудности;

- прокладка магистрали за плинтусом позволяет исключить

«мостик холода» по заложенной в стене плите перекрытия или в стыках (швах) при крупнопанельной конструкции здания;

– такая система может быть оборудована теплосчетчиком, расположенным в помещении лестничной клетки в запирающемся шкафу (укрытии);

– горизонтальная система отопления имеет типовые радиаторные узлы с повышенным коэффициентом затекания воды в нагревательные приборы ($\alpha = 0,4 \dots 0,65$), что позволяет эффективно использовать параметры теплоносителя;

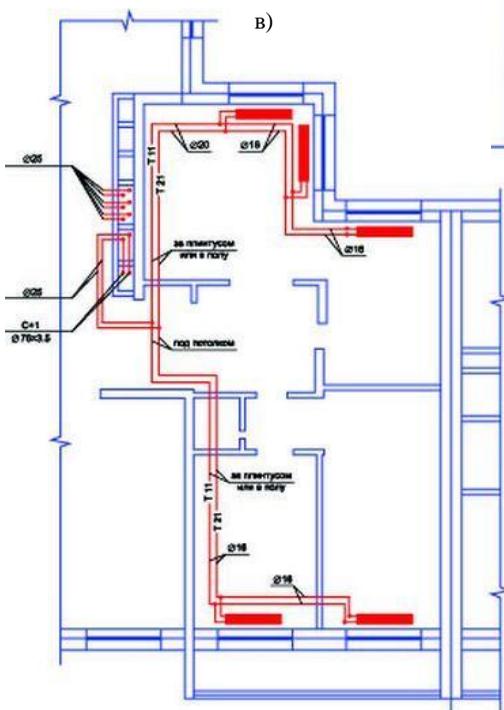
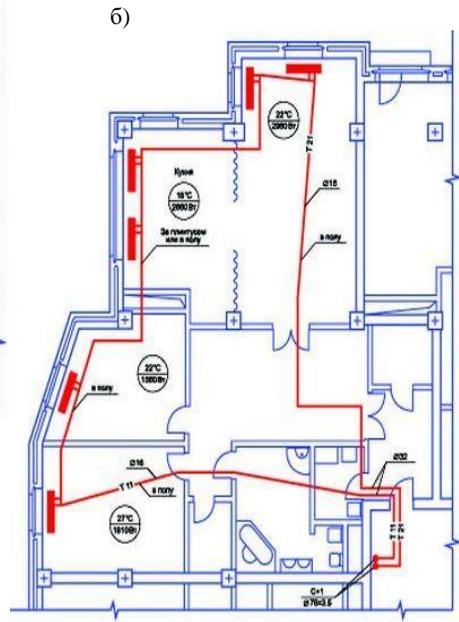
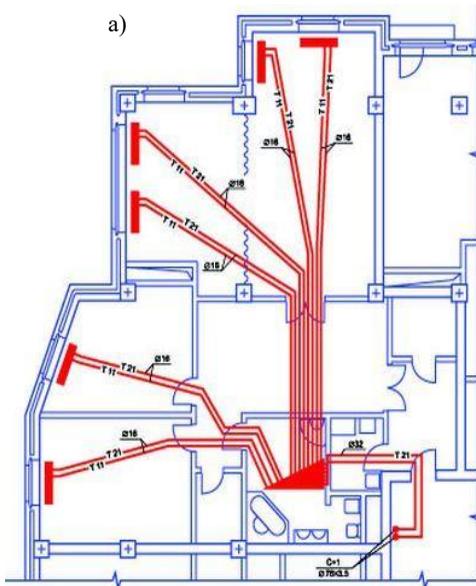


Рисунок 46 – Поквартирная разводка различных видов:
а – двухтрубная лучевая;
б – однотрубная попутная;
в – двухтрубная тупиковая

– также они могут быть использованы в системах поквартирного отопления с индивидуальным газовым котлом, широко внедряемых в настоящее время в РБ в строящихся жилых зданиях.

К специфическим требованиям, предъявляемым к горизонтальной системе отопления, можно отнести следующие:

– прокладку магистралей не рекомендуется выполнять в конструкции пола (межэтажного перекрытия);

– соединение труб (магистралей) выполнять только на сварке или пайке, если трубы медные;

– опорожнение системы в дренажный стояк обязательно.

Компенсация тепловых удлинений трубопроводов решается за счет углов их поворотов. Монтаж системы достаточно прост. После гидравлических (или пневматических) испытаний и покраски магистраль закрывается плинтусом без теплоизоляции. Таким образом, сама магистраль становится нагревательным прибором, что позволяет уменьшить тепловую мощность нагревательных приборов, а система отопления частично становится «плинтусной».

6.7 Отопление высотных зданий

Многофункциональные высотные здания и комплексы представляют собой чрезвычайно сложное сооружение с точки зрения проектирования инженерных коммуникаций: систем отопления, общеобменной и противодымной вентиляции, общего и противопожарного водопровода, эвакуации, противопожарной автоматики и др. Это объясняется, главным образом, высотой здания и допустимым гидростатическим давлением, в частности, в водяных системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Все здания по высоте можно разделить на 5 к а т е г о р и й:

– до пяти этажей, где не требуется установка лифтов, – малоэтажные здания;

– до 75 м (25 этажей), в пределах которых не требуется зонирование по вертикали на пожарные отсеки – многоэтажные здания;

– 76–150 м – здания повышенной этажности;

– 151–300 м – высотные здания;

– свыше 300 м – сверхвысокие здания.

Градация кратная 150 м обусловлена изменением расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции – через каждые 150 м она понижается на 1 °С.

Системы водяного отопления высотных зданий зонируются по высоте, и если пожарные отсеки разделяются техническими этажами, то зонирование систем отопления, как правило, совпадает с пожарными отсеками, так как технические этажи удобны для прокладки разводящих трубопроводов. При отсутствии технических этажей зонирование систем отопления может не совпадать с разделением здания на пожарные отсеки. Органами пожарного надзора допускается пересечение границ пожарных отсеков трубопроводами водонаполненных систем, и высота зоны определяется значением допустимого гидростатического давления для нижних отопительных приборов и их обвязки.

Первоначально проектирование зональных систем отопления проводилось, как для обычных многоэтажных зданий. Применялись, как правило, двухтрубные системы отопления с вертикальными стояками и нижней разводкой подающей и обратной магистралей, проходящих по техническому этажу (рисунок 47), что позволяло включать систему отопления, не дожидаясь возведения всех этажей зоны [40].

Каждый стояк оборудуется автоматическими балансировочными клапанами для обеспечения автоматического распределения теплоносителя по стоякам, а каждый отопительный прибор – автоматическим терморегулятором с повышенным гидравлическим сопротивлением для предоставления жильцу возможности установления нужной ему температуры воздуха в помещении и сведения к минимуму влияния гравитационной составляющей циркуляционного напора и включения/выключения термостатов на других отопительных приборах, подключенных к данному стояку.

Однако впоследствии, в результате анализа различных решений, проектировщики пришли к выводу, что наилучшей системой отопления, особенно для зданий без технических этажей, являются системы с поквартирной горизонтальной разводкой, подключаемые к вертикальным стоякам, проходящим, как правило, по лестничной клетке, и выполненным по двухтрубной схеме с нижней разводкой магистралей (рисунок 48) [40].

Поквартирные системы отопления оборудуются узлом с запорной, регулирующей с помощью балансировочных клапанов и спускной арматурой, фильтрами и прибором учета тепловой энергии. Этот узел

должен располагаться вне квартиры на лестничной клетке для беспрепятственного доступа службы эксплуатации. В квартирах более 100 м² подключение производится петлей, периметрально проложенной по квартире.

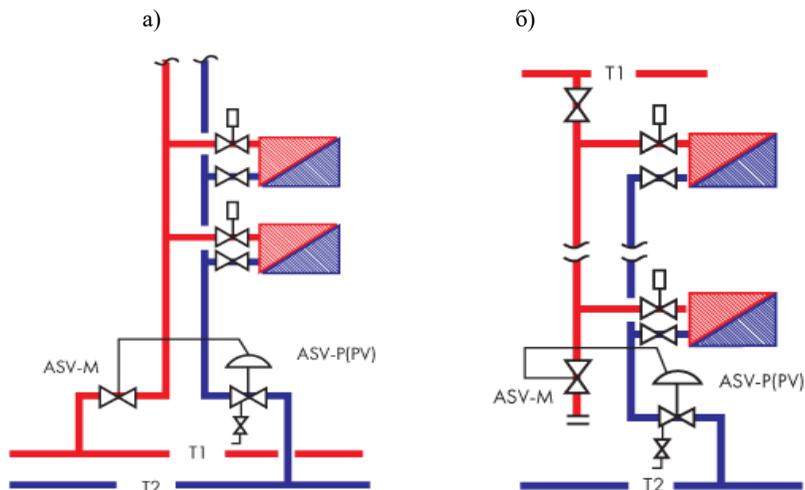


Рисунок 47 – Схемы двухтрубной системы водяного отопления с вертикальными стояками:

- а* – с нижней разводкой магистралей по техническому этажу;
- б* – вертикальными стояками с верхней разводкой

Трубопроводы применяют из термостойких полимерных материалов, как правило, из сшитого полиэтилена РЕХ, прокладка выполняется в подготовке пола. Расчетные параметры теплоносителя, исходя из технических условий на такие трубопроводы – $T_1 = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 70(65)\text{ }^{\circ}\text{C}$ из опасения, что дальнейшее понижение температуры приводит к значительному росту поверхности нагрева отопительных приборов, что не приветствуется инвесторами из-за роста стоимости системы.

При поквартирной разводке оптимальным решением является применение автоматических балансировочных клапанов ASV-P (PV) на обратном трубопроводе и запорно-измерительных клапанов ASV-M (ASV-1) на подающем. Использование этой пары клапанов дает возможность не только компенсировать влияние гравитационной составляющей, но и ограничивать расход на каждую квартиру в соответствии с параметрами. Клапаны, как правило, подбираются по диаметру трубопроводов и настраиваются на поддержание перепада

давлений на уровне 10 кПа. Такая величина настройки клапанов выбирается исходя из значения требуемых потерь давления на радиаторных терморегуляторах для обеспечения их оптимальной работы.

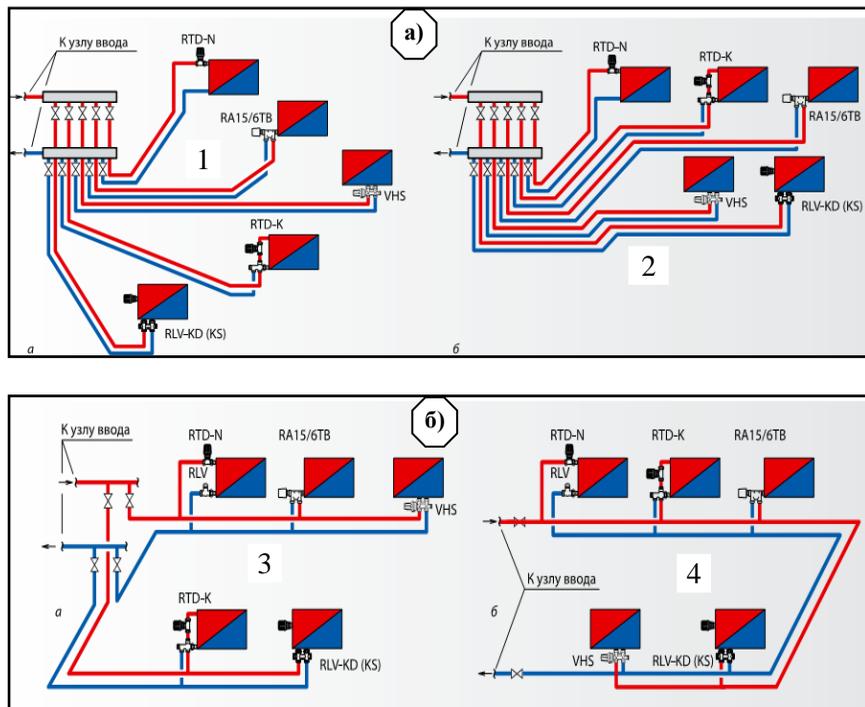


Рисунок 48 – Двухтрубная разводка квартирной системы отопления:
 а – лучевая (1 – с горизонтальной и 2 – с пристенной трассировкой);
 б – периметральная (3 – тупиковая; 4 – попутная)

Применение поквартирных горизонтальных систем отопления по сравнению с системой с вертикальными стояками приводит к уменьшению протяженности магистральных трубопроводов (они подходят только к лестничному стояку, а не к самому удаленному стояку в угловой комнате), снижению потерь теплоты трубопроводами, упрощению поэтажного ввода здания в эксплуатацию и повышению гидравлической устойчивости системы.

В поквартирных системах отопления учитывать тепловую энергию проще. Это достигается, в первую

очередь, обязательным применением термостатов на отопительных приборах.

Особенностью проектирования систем теплоснабжения высотных зданий является то, что все насосное и теплообменное оборудование у них расположено на уровне земли или минус первого этажа. Это обусловлено опасностью размещения трубопроводов перегретой воды на жилых этажах, неуверенностью в достаточности защиты от шума и вибрации смежных жилых помещений при работе насосного оборудования и стремлением сохранения дефицитной площади для размещения большего количества квартир.

Такое решение возможно благодаря применению высоконапорных трубопроводов, теплообменников, насосов, запорного и регулирующего оборудования, выдерживающих рабочее давление до 2,5 МПа (25 атм.).

При высоте зданий выше 220 м в связи с возникновением сверхвысокого гидростатического давления рекомендуется применять каскадную схему подключения зональных теплообменников отопления и горячего водоснабжения (рисунок 49).

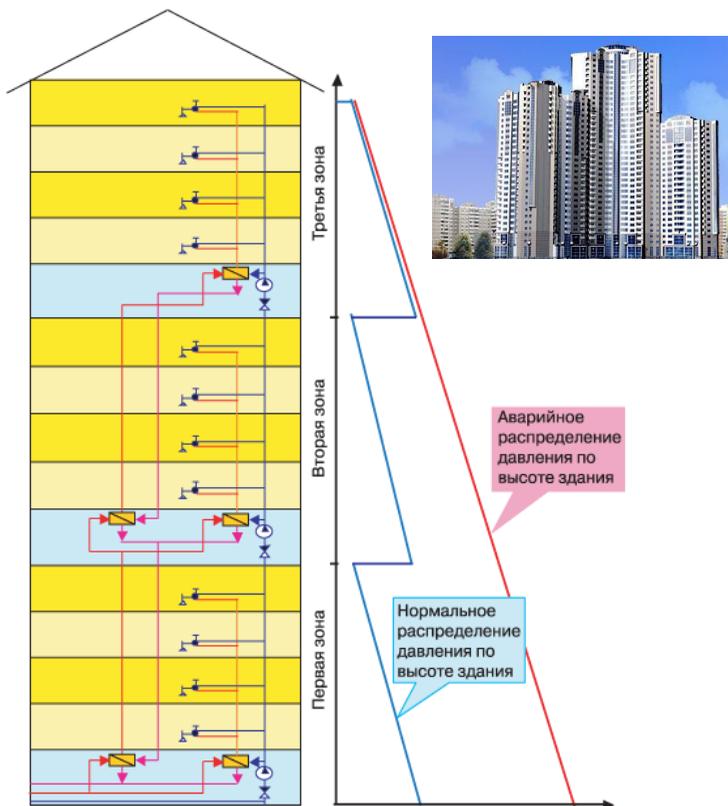


Рисунок 49 – Общая схема зонирования высотного здания по высоте с размещением теплотехнического оборудования на технических этажах

Другой особенностью теплоснабжения реализованных высотных жилых зданий является то, что во всех случаях источник теплоснабжения – это городские тепловые сети. Подключение к ним производится через ЦТП, который занимает большую площадь, например, для расчетной мощности 34 МВт необходима площадь 1200 м² с высотой помещения 6 м.

ЦТП включает теплообменники с циркуляционными насосами систем отопления разных зон, систем теплоснабжения калориферов вентиляции и кондиционирования воздуха, систем горячего водоснабжения, насосные станции заполнения систем отопления и системы поддержания давления с расширительными баками и оборудованием авторегулирования, аварийные электрические накопительные водонагреватели горячего водоснабжения. Оборудование и трубопроводы располагаются по вертикали, с тем чтобы в процессе эксплуатации они были легко доступны.

Такое решение обусловлено еще и тем, что высотные комплексы, как правило, являются многофункциональными по назначению с развитой стилобатной (верхняя часть ступенчатого цоколя здания или общий цокольный этаж, объединяющий несколько зданий) и подземной частью, на которой могут находиться несколько зданий.

6.8 Гидравлический расчет типовых систем водяного отопления

Система водяного отопления представляет собой *разветвленную закольцованную сеть* трубопроводов и приборов, заполненных водой. Вода в течение отопительного сезона находится в постоянном кругообороте. По трубам (теплопроводам) *нагретая* вода распределяется по приборам, *охлажденная* в приборах вода собирается воедино, нагревается в теплообменнике и вновь направляется к приборам.

Теплопроводы предназначены для доставки и передачи в каждое помещение необходимого количества тепловой энергии. Так как теплопередача происходит при охлаждении определенного количества воды, то требуется выполнить гидравлический расчет системы.

Цель гидравлического расчета трубопроводов систем отопления – выбор таких сечений (диаметров) теплопроводов для наиболее протяженного и нагруженного циркуляционного кольца или ветви системы, по которым при располагаемой разности давлений в системе обеспечивается пропуск заданного расхода теплоносителя.

Располагаемая разность давлений – энергия, которая при движении теплоносителя по трубам может быть израсходована на преодоление сопротивлений трения и местных сопротивлений.

Гидравлическому расчету предшествует подготовительная работа:

- подсчитываются теплопотери каждого отапливаемого помещения;
- расставляются отопительные приборы (под окнами) и стояки (в углах помещений) с запорно-регулирующей арматурой. Размещение стояков продиктовано как месторасположением радиаторов (под окнами), так и целесообразностью прокладки самостоятельных стояков в лестничных клетках (чаще остальных, отключаемых на ремонт) и в наружных углах здания для их утепления;

- намечается место расположения теплового пункта (в подвале возле несущей стены);

- намечаются места прокладки магистралей.

При нижней разводке подающая (горячая) и обратная (охлажденная) магистрали прокладываются в подвале; при верхней подающая – на чердаке, обратная – в подвале; при опрокинутой циркуляции – наоборот.

Правильный гидравлический расчет предопределяет работоспособность системы отопления. Он производится в следующем порядке:

1 Вычерчивается пространственная схема системы отопления, обычно в аксонометрической проекции, со всеми принятыми элементами. На схеме обозначают:

- тепловые нагрузки приборов Q_n – по данным таблицы 15;
- запорно-регулирующую арматуру у приборов, на стояках, магистралях, тепловом пункте.

Для обеспечения комнатной регулировки теплоотдачи последних у каждого из них предусматривают индивидуальные регуляторы и отключаемую независимо от остальной коммуникации подводку.

2 Выбирается главное циркуляционное кольцо системы.

В вертикальной однотрубной системе – это кольцо:

- при тупиковом движении воды – через наиболее нагруженный и

удаленный стояк от теплового пункта;

– *попутном движении воды* – через наиболее нагруженный, средний стояк.

В вертикальной двухтрубной системе – это кольцо:

– *при тупиковом движении воды* – через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного и удаленного стояка от теплового пункта;

– *попутном движении воды* – через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного среднего стояка.

Этим самым выбирается наихудший вариант – максимальная длина, минимальный движущий напор, максимальная тепловая нагрузка.

После выбора главного циркуляционного кольца оно разбивается на расчетные участки, которые нумеруют, начиная от узла ввода или элеватора и далее по расчетному кольцу, определяются их тепловые нагрузки, длины.

В разветвленных системах теплопроводов ***расчетным участком*** называют отрезок теплопровода с постоянным диаметром и расходом теплоносителя. Последовательно соединенные участки, образующие замкнутый контур циркуляции воды через элеватор (теплогенератор), и составляют циркуляционное кольцо системы.

Тепловая нагрузка участка $Q_{уч}$ составляется из тепловых нагрузок приборов, обслуживаемых протекающим по участку теплоносителем.

Для участка подающего теплопровода тепловая нагрузка выражает запас теплоты, предназначенной для последующей теплопередачи в помещения; для участка обратного теплопровода – потери теплоты протекающей охлажденной водой после теплопередачи в помещения. Тепловая нагрузка участка предназначена для определения расхода теплоносителя (воды) на участке в процессе гидравлического расчета. Пример аксонометрической схемы двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой представлен на рисунке 50.

3 Определяется расчетное циркуляционное давление.

Нагревание и охлаждение воды в циркуляционных кольцах вертикальной системы создают неоднородное распределение ее плотности. Охлаждение теплоносителя воды в СО происходит

непрерывно по мере удаления от теплового пункта. Поэтому общее естественное циркуляционное давление, возникающее в системе, можно рассматривать как сумму двух величин: давления $\Delta p_{e,пр}$, образующегося вследствие охлаждения воды в отопительных приборах, и давления $\Delta p_{e,тр}$, вызываемого охлаждением воды в трубах:

$$\Delta p_e = \Delta p_{e,пр} + \Delta p_{e,тр}. \quad (52)$$

В большинстве случаев в СО многоэтажных зданий первое слагаемое является основным по значению, второе – дополнительным.

В общем случае располагаемое гравитационное давление, Па, расходуемое на преодоление сопротивлений при движении воды в системе, можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta p_e = hg(\rho_o - \rho_r), \quad (53)$$

где h – полная высота от элеватора (теплогенератора) до верха прибора последнего этажа, м;

g – коэффициент свободного падения, $g = 9,8$ м/с²;

ρ_o, ρ_r – плотность воды соответственно охлажденной и горячей, кг/м³ (таблица 18).

Для обычных гравитационных систем располагаемое давление сравнительно невелико (порядка 500–1000 Па), потому в протяженных зданиях, как правило, устраивают системы с искусственным (насосным) побуждением. Это позволяет создавать значительные давления и обеспечивает применение труб небольших диаметров.

Итак, **расчетное циркуляционное давление Δp_p** – это располагаемая сумма давления (насосного и естественного), которая в расчетных условиях расходуется на преодоление сопротивления движению воды в системе:

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B\Delta p_e, \quad (54)$$

где Δp_n – искусственное давление, создаваемое насосом или элеватором,

Па ($\Delta p_n = 10 \dots 12$ кПа); рассчитывается как $\Delta p_n = 100\Sigma l$;

B – поправочный коэффициент, учитывающий значение естественного циркуляционного давления; $B = 0,4$ – для двухтрубных и горизонтальных систем; $B = 1$ – для

однотрубных систем.

Таблица 18 – Плотность воды при ее температуре в пределах от 40 до 99 °С

Градусы	40	50	60	70	80	90
0	992,2	988,0	983,2	977,8	971,8	965,3
1	991,8	987,6	982,7	977,2	971,2	964,7
2	991,4	987,1	982,2	976,6	970,5	964,0
3	991,1	986,7	981,6	976,0	969,9	963,3
4	990,6	986,2	981,1	975,5	969,3	962,6
5	990,2	985,7	980,6	974,8	968,6	961,9
6	989,8	985,2	980,0	974,3	968,0	961,2
7	989,4	984,7	979,5	973,7	967,3	960,5
8	988,9	984,2	978,9	973,0	966,7	959,8
9	988,5	983,7	978,4	972,4	966,0	959,0

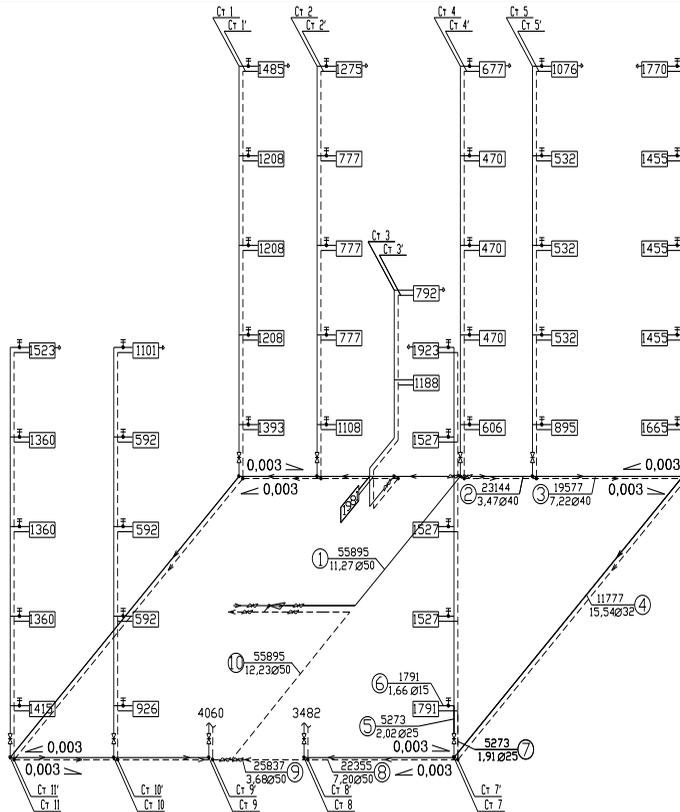


Рисунок 50 – Пример аксонометрической схемы двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой

4 При расчете по *методу удельных потерь давления* для предварительного выбора диаметров теплопроводов **определяют среднее значение удельного падения давления** по главному циркуляционному кольцу $R_{\text{ср}}$, Па/м:

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,65 \Delta p_p}{\Sigma l}, \quad (55)$$

где Σl – сумма длин участков расчетного кольца, м.

5 Далее **определяют расходы воды на расчетных участках:**

$$G_{\dot{\phi}} = \frac{3,6 Q_{\dot{\phi}}}{c(t_{\text{а}} - t_{\text{г}})} \quad \text{и} \quad G_{\dot{\phi}} = \frac{0,86 Q_{\dot{\phi}}}{t_{\text{а}} - t_{\text{г}}}, \quad (56)$$

где 3,6 – коэффициент перевода единиц Вт в кДж/ч;

$Q_{\text{уч}}$ – тепловая нагрузка участка, Вт;

c – теплоёмкость воды, $c = 4,2$ кДж/(кг·°С).

Аналогично вычисляют расход воды в системе отопления.

Ориентируясь на полученное значение $R_{\text{ср}}$ и определив количество воды $G_{\text{уч}}$, кг/ч, можно с помощью расчетной таблицы (приложение Г) подобрать оптимальные диаметры труб расчетного кольца. Все данные, получаемые при расчете теплопровода, заносят в специальную таблицу.

При гидравлическом расчете потери давления на каждом участке $\Delta p_{\text{уч}}$, Па, циркуляционного кольца определяют по формуле Дарси–Вейсбаха, известной из курса механики жидкостей и газов:

$$\Delta p_{\text{уч}} = Rl + Z. \quad (57)$$

Потери давления на трение на участке определяются путем умножения удельной потери давления R на длину участка l , м.

Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па,

$$Z = \Sigma \zeta \frac{v^2}{2} \rho, \quad (58)$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке ζ ;

v – скорость воды на участке, м/с, принимается по таблице Е.1;

ρ – плотность воды на участке, кг/м³, принимается по таблице 18.

$\Sigma \zeta$ на участке зависит от вида коэффициентов местных сопротивлений, к которым относят: тройники, отводы, краны, вентили, отопительные приборы и др. ζ принимают по таблице 19.

При гидравлическом расчете следует учитывать, что *в однотрубных системах водяного отопления средняя температура в ОП будет разной.*

Температура в любой точке стояка однотрубной системы

МНОГОЭТАЖНОГО здания

$$t_x = t_r - \frac{(t_{\bar{a}} - t_o)(Q_{i \delta,1} + Q_{i \delta,2} + \dots + Q_{i \delta,n})}{\Sigma Q_{\text{нò}}}, \quad (59)$$

где $Q_{\text{пр.1}} + Q_{\text{пр.2}} + \dots + Q_{\text{пр.n}}$ – тепловая нагрузка ОП, расположенных выше точки x , в которой определяется температура воды, Вт;

$\Sigma Q_{\text{ст}}$ – тепловая нагрузка всех ОП, присоединенных к данному стояку, Вт.

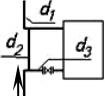
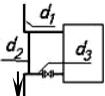
В двухтрубных системах водяного отопления средняя температура теплоносителя будет **одинаковой** во всех нагревательных приборах:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_r + t_o). \quad (60)$$

Внимание! При определении диаметров труб на участках циркуляционного кольца *сначала ими задаются*. Диаметры должны быть такими, чтобы располагаемое давление p , Па, с небольшим запасом отвечало потере давления при движении воды в трубопроводе.

Таблица 19 – Значения коэффициентов местных сопротивлений

Местное сопротивление	Обозначение на схеме	Коэффициент ζ
Элеватор		2,8
Задвижка		0,5
Кран проходной		2
Вентиль прямоточный		2
Тройник на ответвлении		1,5
Тройник на проходе		1,0
Тройник на разделение потоков		1,2
Тройник на разделение потоков (разнонаправленные)		1,8
Тройник на слияние потоков		0,8
Тройник на слияние потоков (встречные)		3,0
Крестовина (разделение потоков)		3,7

Крестовина ответвления		3,0
Отвод 90°		0,5
Отвод узкий		1,2
Радиаторный узел с движением воды снизу вверх $d = 15 - 15 - 15$ мм		5,1
Радиаторный узел с движением воды сверху вниз $d = 15 - 15 - 15$ мм		2,8

Таким образом, используя приложение Г «Данные для гидравлического расчета трубопроводов систем водяного отопления» ориентировочно по полученному значению $R_{ср}$ принимают диаметры участков d , затем по значению расходов воды на участке G определяют действительные скорости движения воды v и удельные потери давления от трения R . Эти данные вносят в таблицу 20.

Таблица 20 – Гидравлический расчет теплопроводов

Данные по схеме				Принято по расчёту						
Номер участка	Тепловая нагрузка участка Q_i , Вт	Расход воды на участке G_i , кг/ч	Длина участка L , м	Диаметр трубопровода d , мм	Скорость движения воды v , м/с	Потери давления от трения на 1 м длины R , Па/м	Потери давления от трения на участке R_l , м	Сумма коэффициентов местных сопротивлений ΣZ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях, Z , Па	Сумма потерь давления на участке $R_l + Z_i$, Па

Необходимо подбирать диаметры участков таким образом, чтобы скорости движения воды возрастали по мере увеличения тепловых нагрузок без резких скачков.

Если данное равенство не выполняется, необходимо изменить диаметры отдельных участков.

Дальнейший гидравлический расчет трубопроводов системы отопления сводится к увязке всех циркуляционных колец по полученным потерям давления в главном циркуляционном кольце.

Результаты расчета сводят в таблицу 20, в которой приведен пример гидравлического расчета.

Суммируя потери давления на трение Rl и потери в местных сопротивлениях Z , определяют потери давления на участке, а затем, суммируя потери давления на расчетных участках $Rl_i + Z_i$, получают потери давления в кольце $\Sigma(Rl_i + Z_i)$, которые должны быть в пределах 90 % располагаемого давления:

$$\frac{\Delta p_{\text{рц}} - \Sigma(Rl_i + Z_i)}{\Delta p_{\text{рц}}} \cdot 100 \% \leq 10 \% \cdot \quad (61)$$

6.9 Особенности гидравлического расчета поквартирных систем водяного отопления

Гидравлический расчет поквартирной системы отопления имеет определенную специфику [40], отличающуюся от традиционных вертикальных систем отопления. Для проведения такого расчета система разбивается на независимые, в части гидравлических режимов, подсистемы:

- квартирные узлы ввода;
- квартирные системы отопления (от распределительной гребенки до отопительных приборов);
- магистральные трубопроводы и разводящие стояки.

Расчет может выполняться отдельно для каждой части системы в любой последовательности с использованием характеристик гидравлического сопротивления ($S \cdot 10^4$).

Эта величина соответствует потере давления в элементе трубопроводной сети при расходе теплоносителя через него, равном 100 кг/ч. При фактическом расходе теплоносителя потеря давления в элементе сети с заданной характеристикой гидравлического сопротивления рассчитывается по формуле

$$\Delta p = (S \cdot 10^4) \cdot (G / 100)^2, \quad (62)$$

где Δp – потеря давления, Па;

$(S \cdot 10^4)$ – характеристика гидравлического сопротивления, Па/(кг/ч)²;

G – расчетный расход теплоносителя, кг/ч.

Общая характеристика гидравлического сопротивления последовательно соединенных N -элементов сети

$$\Sigma(S \cdot 10^4) = (S \cdot 10^4)_1 + (S \cdot 10^4)_2 + \dots + (S \cdot 10^4)_N. \quad (63)$$

При параллельном соединении общая характеристика гидравлического сопротивления определяется по формуле

$$1 / \Sigma(S \cdot 10^4)^4 = 1 / (S \cdot 10^4)_1^4 + 1 / (S \cdot 10^4)_2^4 + \dots + 1 / (S \cdot 10^4)_N^4. \quad (64)$$

Справочные характеристики сопротивления единичных элементов трубопроводной сети приведены в специальной литературе, используя которые можно вычислить характеристики сопротивления:

- участка трубы длиной 1 м – $(S \cdot 10^4)_{\text{тр}} = L (S \cdot 10^4)_{L=1 \text{ м}}$;
- устройства с коэффициентом местного сопротивления ζ – $(S \cdot 10^4)_{\zeta} = \zeta (S \cdot 10^4)_{\zeta=1}$.

В настоящее время ряд производителей вместо гидравлических характеристик указывают величины пропускной способности K_v , равные расходу воды, протекающей через устройство, при перепаде давлений на нем в 0,1 МПа. В этом случае реальная потеря давления Δp при расчетном расходе теплоносителя через элемент трубопроводной сети

$$\Delta p = 0,1(G/K_v)^2, \quad (65)$$

где K_v – пропускная способность, м³/ч.

При параллельном соединении N -элементов сети ее общая пропускная способность

$$\Sigma K_v = K_{v1} + K_{v2} + \dots + K_{vN}. \quad (66)$$

При последовательном соединении ΣK_v

$$1/\Sigma K_v^2 = 1/K_{v1}^2 + 1/K_{v2}^2 + \dots + 1/K_{vN}^2. \quad (67)$$

Учитывая сложные зависимости (64) и (65), при сложении гидравлических характеристик последовательно соединенных элементов целесообразно использовать величины $(S \cdot 10^4)$, а при сложении характеристик параллельных элементов – K_v .

Характеристика гидравлического сопротивления элементов сети и их пропускная способность связаны зависимостью

$$K_v = 1000/(S \cdot 10^4)^4. \quad (68)$$

Система поквартирного отопления здания должна обладать

высокой гидравлической устойчивостью и обеспечивать работу автоматических устройств в оптимальном режиме.

Для этого при проектировании поквартирной системы должны быть выполнены следующие условия:

1 В многоэтажных зданиях минимальный располагаемый напор в точке присоединения квартирной системы отопления к разводящему стояку $\Delta p_{\text{кв}}^p$ должен соответствовать общему гидравлическому сопротивлению квартирной системы вместе с узлом ввода $\Sigma \Delta p_{\text{кв}}$ и быть не менее 4 значений максимального гравитационного давления $\Delta p_{\text{гг}}^{i \text{ à è ñ}$ для самой верхней квартиры здания или его части (в случае зонирования системы по высоте) при расчетных параметрах теплоносителя:

$$\Delta p_{\text{éà}}^p = \Sigma \Delta p_{\text{éà}} \geq 4 \Delta p_{\text{гг}}^{i \text{ à è ñ}}. \quad (69)$$

Это условие связано с тем, что система отопления с вертикальными стояками-магистральями и поквартирной разводкой представляет собой разновидность горизонтальной поэтажной системы.

В такой системе, как и в традиционной двухтрубной вертикальной (стояковой), циркуляция теплоносителя через отопительные приборы каждой квартиры происходит под действием постоянного напора, развиваемого насосом, и меняющегося гравитационного давления, которое зависит не только от текущей температуры теплоносителя, но и от высоты расположения квартиры над уровнем ввода теплоносителя в систему отопления здания.

Колебания циркуляционного давления вызывают перераспределение теплоносителя между отопительными приборами квартир разных этажей и неравномерность их прогрева. Данное негативное явление устраняется с помощью устанавливаемых на вводе в квартирные системы автоматических балансировочных клапанов и терморегуляторов на отопительных приборах.

Максимальное гравитационное давление $\Delta p_{\text{гг}}^{i \text{ à è ñ}}$ (кПа) определяется при расчетных параметрах теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (t_r и t_o) по формуле

$$\Delta p_{\text{гг}}^{\text{гг}} = hg(\rho_0 - \rho_r) \cdot 10^{-3} = h \cdot \Delta p_{\text{гг}}^{h=1 \text{ м}}, \quad (70)$$

где h – высота расположения середины отопительных приборов самой верхней квартиры над вводом теплоносителя в систему отопления или над центром водоподогревателя, обслуживающего данную зону системы, м;

$\Delta p_{\text{гг}}^{h=1 \text{ м}}$ – гравитационное давление на 1 м высоты расположения отопительных приборов, кПа.

Для упрощения процесса проектирования в таблице 21 даны значения $\Delta p_{\text{гг}}^{h=1 \text{ м}}$ при наиболее распространенных параметрах теплоносителя.

Таблица 21 – Максимальное гравитационное давление на 1 м высоты системы отопления при различных параметрах теплоносителя

$t_r/t_o, \text{ }^\circ\text{C}$	90/70	85/70	85/65	80/65	80/60
$\Delta p_{\text{гг}}^{h=1 \text{ м}}, \text{ кПа/м}$	0,122	0,09	0,117	0,086	0,112

2 *Гидравлическое сопротивление* квартирной части системы, включая узел ввода и квартирную разводку, складывается из сопротивлений отдельных последовательно расположенных ее элементов.

Типоразмер расходомера рекомендуется выбрать таким образом, чтобы потеря давления в нем не превысила 5 кПа. Для соблюдения данного условия расход теплоносителя через расходомер теплосчетчика должен быть ограничен предельной величиной (таблица 22).

Таблица 22 – Предельные расходы теплоносителя через расходомер теплосчетчика

Тип теплосчетчика	Предельный расход теплоносителя $G_{\text{пред}}, \text{ кг/ч, для расходомера с } D_v/G_{\text{ном}}$		
	15/0,6	15/1,5	20/2,5
M-CalCompact 440	270	680	1140
SONOMETR 1000	460	1230	1770

3 Устанавливаемый в индивидуальном узле ввода *автоматический балансировочный клапан* ASV-PV должен поддерживать одинаковый для всех квартирных систем перепад давлений $\Delta p_{\text{кв}}$ на уровне 15 кПа, а в групповом – 20 кПа (с учетом предельного сопротивления расходомера индивидуального теплосчетчика, равного 5 кПа).

4 *Минимально необходимый перепад давлений* на самом

удаленном от теплового пункта автоматическом клапане ASV-PV должен быть равен перепаду давлений, который клапан поддерживает на квартирной системе, то есть 15 кПа (при индивидуальном квартирном узле ввода) и 20 кПа (при групповом узле ввода). Выбор условного прохода клапана ASV-PV может быть легко выполнен по расчетному расходу теплоносителя с использованием таблицы 23.

Таблица 23 – Выбор условного прохода балансировочных клапанов

Д _к клапана, мм	15	20	25	32	40
Расчетный расход теплоносителя, кг/ч	До 360	360–560	560–900	900–1400	1400–2250

5 Ручные клапаны ASV-I и ASV-M принимаются, как правило, того же диаметра, что и клапан ASV-PV. Потеря давления в них не превысит 5 кПа.

6 Потеря давления в отопительных приборах, трубопроводах и запорной арматуре квартирной системы не должна превышать, как правило, 2 кПа. В целях унификации и упрощения монтажных работ трубопроводы для всех отопительных приборов квартиры при их лучевой разводке рекомендуется предусматривать одного диаметра.

7 Перепад давлений на клапанах радиаторных терморегуляторов следует принимать одинаковым для всех квартир здания в размере 8–10 кПа.

8 Необходимое располагаемое давление в точке присоединения квартирного ввода к стояку (с запасом 15 %) обеспечивается в результате гидравлического расчета магистралей и стояков, а также выбора насоса с соответствующим свободным напором.

Примеры рекомендуемого распределение перепадов давлений в квартирных системах отопления при различных узлах вводов приведены на рисунке 51.

а)

б)

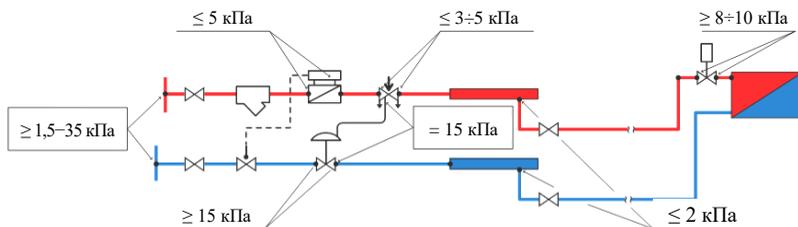


Рис. 20. Пример распределения перепадов давлений в квартирной системе отопления при индивидуальном узле ввода.

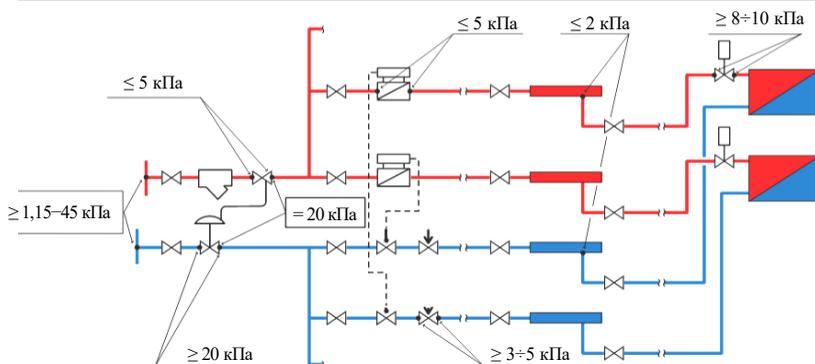


Рисунок 51 – Пример распределения перепадов давлений в квартирной системе отопления при индивидуальном узле ввода (а), групповом узле ввода (б)

Таким образом, поквартирные системы отопления обеспечивают наиболее комфортные условия для проживания, удовлетворяющие потребителя, и позволяют регулировать теплоотдачу отопительных приборов с учетом режима проживания семьи в квартире.

7 ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ

7.1 Требования к воздушной среде помещения

Сухой атмосферный воздух представляет собой однородную смесь нескольких газов (по массе): 75,56 % азота, 23,1 % кислорода, 0,05 % углекислого газа, остальное – инертные и прочие газы. Соотношение количеств этих компонентов в атмосферном воздухе стабильно.

В системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования обычно используется влажный воздух, или паровоздушная смесь. При этом водяной пар может находиться в воздухе в пересыщенном или в насыщенном состоянии [31, 32, 37, 49].

Смесь сухого воздуха с водяными парами называется *влажным воздухом*. Количество водяных паров, содержащихся во влажном воздухе, может меняться в значительных пределах.

Абсолютной влажностью D воздуха называется масса водяного пара, содержащаяся в 1 м^3 влажного воздуха, кг/м^3 :

$$D = p_n / (R_n T) = \rho_n. \quad (71)$$

Абсолютная влажность при насыщенном состоянии (при данной температуре) называется влагоемкостью воздуха ρ_n .

Для хорошего самочувствия человека и нормального хода многих технологических процессов необходимо оптимальное содержание водяного пара в воздухе, потому что если в воздухе содержится мало водяных паров, то это создает чувство сухости во рту, одежда «электризуется» и липнет к телу. Если же пар, содержащийся в воздухе, наоборот, почти насыщен, то при малейшем понижении температуры наступит конденсация пара, и все предметы покроются капельками влаги (росы).

Величину, характеризующую влажность воздуха и показывающую, насколько пар, содержащийся в воздухе, далек от насыщения, называют *относительной влажностью воздуха* (ϕ).

Она показывает выраженную в процентах долю, которую составляет плотность пара ρ , содержащегося в данный момент в воздухе, от плотности насыщенного пара $\rho_{\text{нас}}$ для этой же температуры:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100 \%. \quad (72)$$

Для насыщенного воздуха $\varphi = 100 \%$. Относительную влажность воздуха в помещении нормируют. Для жилых и общественных помещений относительная влажность считается приемлемой в пределах от 30 до 70 %.

Влагосодержанием воздуха d называют количество водяного пара, приходящееся на 1 кг сухой части влажного воздуха, г/кг, т. е.

$$d = (G_{\text{п}} / G_{\text{с}}) \cdot 1000, \quad (73)$$

где $G_{\text{п}}$ и $G_{\text{с}}$ – массы водяного пара и сухого воздуха в данном объеме V .

На влагосодержание паровоздушной смеси влияет барометрическое давление, при котором находится эта смесь. *Барометрическое давление атмосферного воздуха $p_{\text{б}}$* – это сумма парциальных давлений сухой его части ($p_{\text{с}}$) и водяного пара ($p_{\text{п}}$), т. е.

$$p_{\text{б}} = p_{\text{с}} + p_{\text{п}}. \quad (74)$$

В качестве единицы измерения барометрического давления воздуха принят паскаль. Значение парциального давления компонента смеси в состоянии полного насыщения называют парциальным давлением насыщения $p_{\text{н}}$ или *упругостью насыщенных паров*.

Плотность влажного воздуха ($\rho_{\text{в.п}}$) равна массе 1 м³ смеси, состоящей из сухой части воздуха и водяных паров. Плотность сухого воздуха при одинаковом барометрическом давлении и одинаковой температуре больше плотности влажного воздуха, но эта разница невелика.

Массовая теплоемкость влажного воздуха представляет собой количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть на один градус 1 кг сухой части влажного воздуха и приходящееся на их долю количество водяных паров $c_p = 1,8$ кДж/(кг·°С).

Объемная теплоемкость влажного воздуха (c_v) – это количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть на один градус 1 м³ влажного воздуха. При температуре 0 °С и барометрическом давлении 100 кПа объемная теплоемкость влажного воздуха составляет 1,29 кДж/(м³·°С). С изменением температуры и давления

объемная теплоемкость влажного воздуха меняется пропорционально его объемной массе. Поэтому при определении расходов теплоты на нагрев воздуха (или его охлаждение) удобнее пользоваться массовой теплоемкостью.

Теплосодержание (энтальпия) влажного воздуха $I_{\text{вл}}$ массой $(I + d/1000)$ кг равно сумме теплоты, содержащейся в 1 кг сухой части влажного воздуха. Энтальпия воздуха, связанная с изменением температуры воздуха, характеризует изменение явной теплоты. При поступлении в воздух водяных паров с той же температурой воздуху передается скрытая теплота. Энтальпия воздуха возрастает за счет изменения энтальпии влажной части воздуха. Температура воздуха при этом не изменяется.

Температурой точки росы (t_p) влажного воздуха называется температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания. При понижении температуры влажного воздуха еще ниже начинается конденсация пара (выпадает роса) в объеме паровоздушной смеси, и появляется туман.

Температура мокрого термометра (t_m) – температура, которую принимает влажный воздух на стадии полного насыщения в процессе испарения воды, без подвода теплоты извне при постоянном теплосодержании.

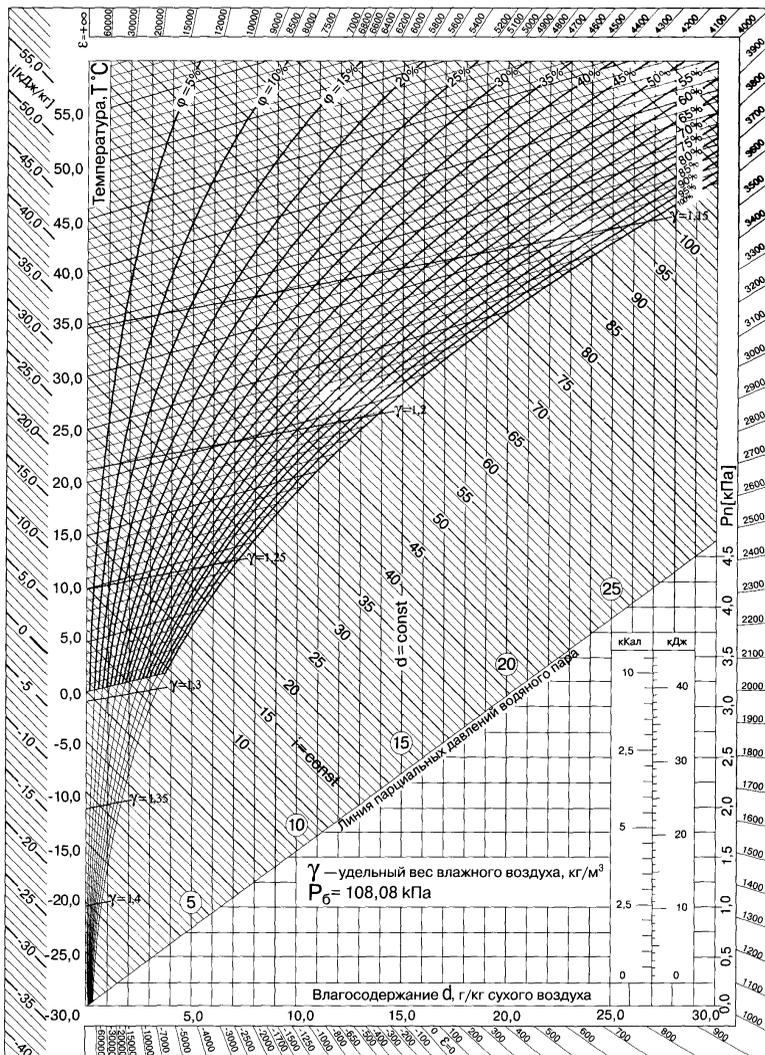
Значения t , d , I , φ , t_p , t_m , p_n – это параметры состояния влажного воздуха, характеризующие его тепловые и влажностные свойства. Следует отметить, что только t и d могут изменяться произвольно, независимо одна от другой, хотя эти изменения имеют определенный предел. Каждому конкретному значению t и d соответствуют определенные числовые значения всех остальных параметров, найти которые можно по I - d диаграмме (рисунок 52).

I - d диаграмма впервые была составлена в 1918 году советским инженером-теплотехником Рамзиным и графически связывает все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха. Диаграмма построена в косоугольной системе координат. По оси ординат диаграммы отложены значения энтальпии I , кДж/кг, сухой части воздуха, по оси абсцисс, направленной под углом 135° к оси I , – значения влагосодержания d , г/кг, сухой части воздуха. Поле диаграммы разбито линиями постоянных значений энтальпии $I = \text{const}$ и влагосодержания $d = \text{const}$. На него нанесены также линии постоянных

значений температуры $t = \text{const}$, которые не параллельны между собой: чем выше температура влажного воздуха, тем больше отклоняются вверх его изотермы. Кроме линий постоянных значений I , d , t , на поле диаграммы нанесены линии постоянных значений относительной влажности воздуха $\varphi = \text{const}$. В нижней части $I-d$ диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Она

связывает влагосодержание d , г/кг, с упругостью водяного пара p_n , кПа. Ось ординат этого графика является шкалой парциального давления водяного пара p_n .

Рисунок 52 – $I-d$ диаграмма влажного воздуха



В результате нагревания, охлаждения, осушения или увлажнения

влажного воздуха изменяется его тепловлажностное состояние. Процессы изменения изображаются на $I-d$ диаграмме прямыми линиями, которые соединяют точки, характеризующие начальные и конечные состояния воздуха (рисунок 53).

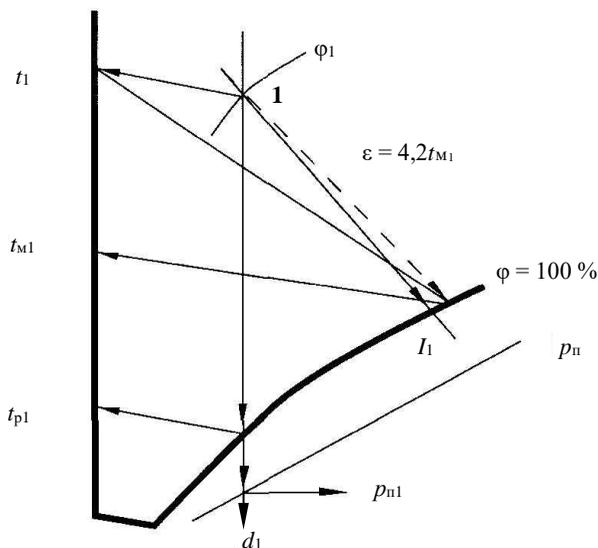


Рисунок 53 – Схема определения параметров влажного воздуха на $I-d$ диаграмме

7.2 Назначение вентиляции и классификация вентиляционных систем

Вентиляцией называется организованный обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне [1].

Система вентиляции представляют собой комплекс инженерных устройств, включающих воздушный тракт (воздуховоды), оборудование для обработки (очистки, нагрева) и транспортировки, подачи и удаления воздуха, а также сетевое оборудование (воздухоприемные, воздухораспределительные устройства, дроссель-клапаны и др.) [31, 32, 37, 48].

Общая классификация вентиляции приведена на рисунке 54.

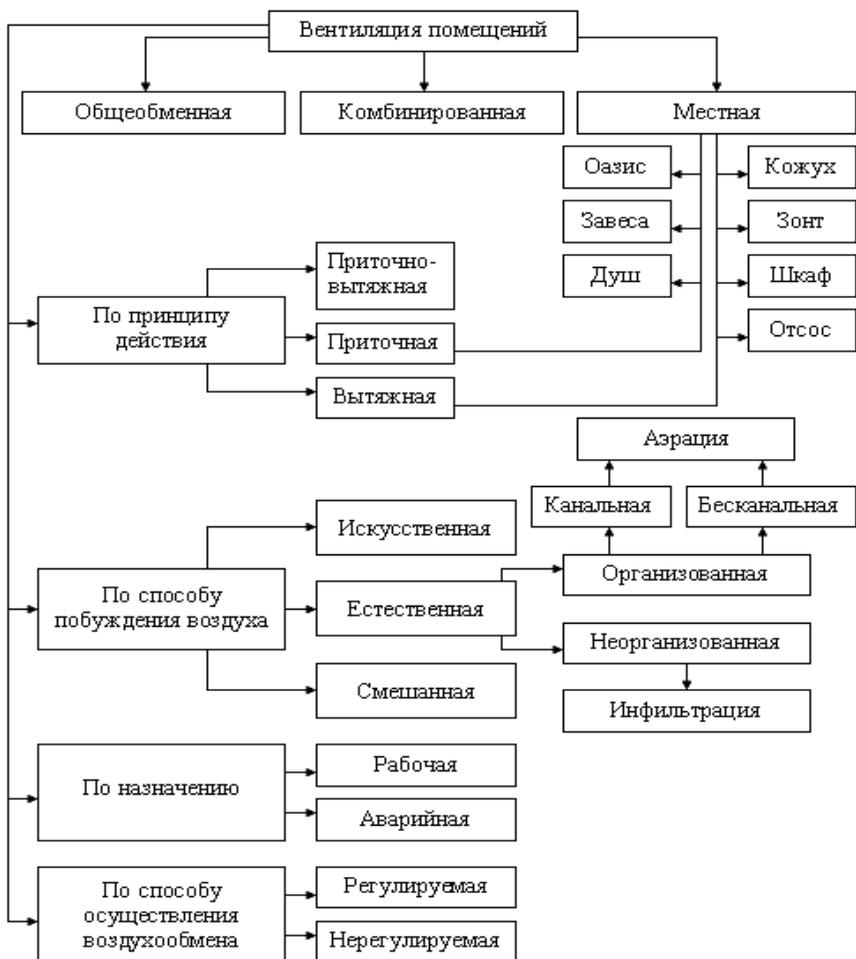


Рисунок 54 – Классификация вентиляции

В зависимости от назначения вентиляции присущи следующие характерные признаки.

По способу создания давления для перемещения воздуха системы могут применяться с гравитационным побуждением (**естественная** вентиляция), с искусственным побуждением воздуха (**механическая** вентиляция), при одновременном действии механической и естественной вентиляции – **смешанная**.

При естественной вентиляции перемещение воздуха происходит:

а) вследствие *аэрации* – или *разности температур* наружного (атмосферного) воздуха и воздуха в помещении (рисунок 55, а);

Аэрацию применяют в цехах со значительными тепловыделениями, если концентрация пыли и вредных газов в приточном воздухе не превышает 30 % предельно допустимой в рабочей зоне. Аэрацию не применяют, если по условиям технологии производства требуется предварительная обработка приточного воздуха или если приток наружного воздуха вызывает образование тумана или конденсата.

Аэрация под действием гравитационного (теплового) давления образуется при наличии разности температур и, следовательно, разности плотностей воздуха внутри и снаружи помещения.

Из-за разности температур воздуха помещения и наружного воздуха ($t_v > t_n$ или $t_v < t_n$) по обе стороны вертикальных ограждений помещения возникает разность давлений ($p_v < p_n$ или $p_v > p_n$). Разность давлений и отсутствие герметичности помещения (здания) вызывает перемещение воздуха или в одном (при $t_v > t_n$) или в другом (при $t_v < t_n$) направлении. Чаще наружный воздух имеет температуру ниже, а значит, и плотность выше, чем внутренний воздух помещения ($t_n < t_v$; $\rho_n \gg \rho_v$), поэтому характерным является перепад давлений $\Delta p = (p_n - p_v) > 0$ и, как следствие, – движение наружного воздуха в нижнюю зону помещения. А так как нагретый более легкий воздух стремится занять верхнее положение, возникает естественное гравитационное движение воздуха помещения здания – снизу–вверх. Вследствие этого давление воздуха в зоне пола получается ниже, а в зоне потолка – выше наружного давления.

Из-за циркуляции воздуха помещения возникает область (плоскость) равных давлений, называемая нейтральной зоной. Ниже области равных давлений в помещении образуется зона разрежения (зона инфильтрации наружного воздуха), а выше – зона подпора (зона эксфильтрации внутреннего воздуха помещения). При увеличении разрежения область равных давлений смещается вверх, а при увеличении подпора – вниз.

Устройство проемов 1 (форточек, фрамуг, фонарей, окон и дверей) в ограждениях нижних и верхних зон здания способствует гравитационному движению воздуха, а устройство проемов в плоскости равных давлений не влияет на его движение.

Отработавший воздух уходит из цеха через верхние проемы или специальные устройства – аэрационные фонари. Невозможность очистки вытяжного воздуха является недостатком аэрации.

В системах естественной вентиляции, в которых перемещение воздуха создается за счет разности давлений воздушного столба, минимальный перепад по высоте между уровнем забора воздуха из помещения и его выбросом через дефлектор должен быть не менее 3 м. При этом рекомендуемая длина горизонтальных участков воздуховодов не должна быть более 3 м, а скорость воздуха в воздуховодах – не превышать 1 м/с;

б) в результате **воздействия ветрового давления**. Воздействие ветрового давления выражается в том, что на наветренных (обращенных к ветру) сторонах здания образуется повышенное, а на подветренных сторонах, а иногда и на кровле, – пониженное давление (разрежение). Если в ограждениях здания имеются проемы, то с наветренной стороны атмосферный воздух поступает в помещение, а с заветренной – выходит из него. При этом количество воздуха приточного и вытяжного будет зависеть от многих факторов, а именно: от направления и скорости ветра, температуры, от конфигурации здания и расположения его среди других строений.

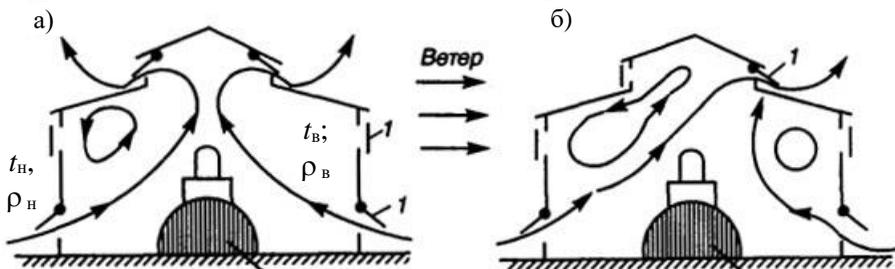


Рисунок 55 – Схема аэрации помещения в результате разности температур (а) и воздействия ветрового давления (б)

Системы естественной вентиляции просты и не требуют сложного дорогостоящего оборудования и расхода электрической энергии. Однако зависимость эффективности этих систем от переменных факторов (температуры воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшое располагаемое давление не позволяют решать с их помощью все сложные и многообразные задачи в области

вентиляции.

При механической вентиляции используются оборудование и приборы (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, пылеуловители, автоматика и др.), позволяющие перемещать необходимое количество воздуха на значительные расстояния.

Затраты электроэнергии на работу вентсистем могут быть довольно большими. Такие системы могут подавать и удалять воздух из локальных зон помещения в требуемом количестве, независимо от изменяющихся условий окружающей воздушной среды. При необходимости воздух подвергают различным видам обработки (очистке, нагреванию, увлажнению и т. д.). В практике часто предусматривают смешанную вентиляцию. Однако в каждом конкретном проекте определяется тип вентиляции, удовлетворяющий санитарно-гигиеническим, а также экономическим и техническим требованиям.

По функциональному признаку (или по способу подачи воздуха и его удаления из помещения) вентиляционные системы бывают **приточные, вытяжные или приточно-вытяжные**. Выбор необходимой системы зависит от назначения, объема и конкретных особенностей помещения (наличия и характера источника загрязнений, количества людей, планировки и т.д.).

Приточная система предназначена для подачи в помещение чистого воздуха взамен удаляемого. В помещении при этом создается повышенное (избыточное) давление, за счет которого воздух удаляется наружу через окна, двери или в другие помещения. При этом свежий воздух подается, как правило, после предварительной подготовки, которая может включать очистку, подогрев, охлаждение, увлажнение.

Вытяжная система предназначена для удаления загрязненного воздуха из помещения, при этом в помещении создается пониженное давление, и воздух из соседних помещений или наружный воздух поступает в данное помещение. Вытяжные системы применяют для помещений с кратковременным пребыванием людей или при небольших количествах вытяжного воздуха.

В приточно-вытяжной системе воздух в помещение подается приточной системой, а удаляется вытяжной. Обе системы работают одновременно. При этом их производительность должна быть одинаковой, чтобы исключить разницу воздушного давления внутри

и снаружи помещения, приводящую к эффекту «хлопающих дверей».

В системах с рециркуляцией отработавшего воздуха к наружному воздуху подмешивается часть вытяжного воздуха. Они применяются для снижения расхода теплоты в холодный период года или для снижения расхода холода в системах кондиционирования воздуха в теплый период года.

Для утилизации теплоты уходящего воздуха и предварительного подогрева приточного воздуха широкое применение находят *теплообменники-утилизаторы (рекуператоры)*.

По схеме воздухообмена (или по зоне обслуживания) системы вентиляции разделяют на местные, общеобменные и смешанные.

При местной системе вентиляции воздух удаляется или подается непосредственно у места образования вредных веществ, а также у места работающего через специальные устройства (местные отсосы).

Местная вытяжная система применяется для предотвращения распространения вредных выделений по всему помещению. При этом достигается максимальный эффект при минимальном количестве удаляемого воздуха в системах локализации и аспирации.

К местной приточной системе вентиляции относятся воздушные завесы и воздушное душирование, которое применяется при воздействии на работающего человека потока радиационной теплоты и в том случае, когда локализирующая общеобменная вентиляция не обеспечивает на рабочем месте заданных параметров воздушной среды.

Системы аспирации предназначены для удаления и очистки воздуха от пыли.

При устройстве *общеобменной вентиляции* смена воздуха происходит в объеме помещения. Общеобменная приточная вентиляция устраивается для ассимиляции избыточного тепла и влаги, разбавления вредных концентраций паров и газов, не удаленных местной и общеобменной вытяжной вентиляцией, а также для обеспечения расчётных санитарно-гигиенических норм и свободного дыхания человека в рабочей зоне. Общеобменные вытяжные системы относительно равномерно удаляют воздух из всего обслуживаемого помещения.

Смешанная система вентиляции является сочетанием элементов общеобменной и местной систем.

По характеру обработки воздуха системы вентиляции могут быть *прямоточными* (в помещение подается только наружный воздух), *рециркуляционными* (весь воздух из помещения или его часть после обработки вновь поступает в помещение) и *рекуперативными* (утилизируется теплота выбросного воздуха для нагрева приточного воздуха).

Системы аварийной вытяжной вентиляции обязательны для производств, в которых возможен прорыв вредных газов и паров. Система аварийной вентиляции должна включаться автоматически при достижении предельно допустимой концентрации вредных выделений или при останове одной из систем общеобменной или местной вентиляции.

По конструктивному исполнению системы вентиляции разделяют на *бесканальные* и *канальные*.

В первом случае воздухообмен осуществляется при проветривании помещения и естественной инфильтрации воздушных масс через щели дверей и окон, поры стен. Расчет вентиляции в этом случае затруднен, так как он нерегулярен, неорганизован, имеет низкую эффективность и в зимнее время сопровождается значительными потерями теплоты.

Во втором случае системы вентиляции имеют разветвленную сеть в стенах и перекрытиях воздуховодов для перемещения воздуха (канальные системы), через которые осуществляется воздухообмен. В большинстве многоквартирных домов, построенных в прошлом веке, оборудована вытяжная канальная система вентиляции с естественным побуждением. Расчет вытяжной вентиляции сводится к определению геометрических параметров воздуховодов, которые обеспечивали бы доступ необходимого количества воздуха в соответствии с СНБ 4.02.01–03.

В большинстве помещений общественного пользования и производственных зданиях только организация вентиляции с механическим побуждением движения воздуха может обеспечить достаточный воздухообмен.

Разработка системы вентиляции требует соответствующей подготовки и включает следующие этапы: определение необходимого воздухообмена, составление принципиальной схемы вентиляции, аэродинамический расчет воздуховодов, расчет параметров входящих в систему компонентов, разработка схемы

управления и автоматики, подбор оборудования. Оборудование вентиляционных систем может размещаться как в специальных технологических помещениях – венткамерах, так и в других местах – за подвесным потолком, в коробах, на чердаке, технических этажах, подвалах и т.п.

7.3 Исходные данные для расчета вентиляции

Расчетные параметры наружного воздуха (температуру и энтальпию) следует принимать по ТКП 45-2.04-43–2006, СНБ 2.04.02–2000 для теплого периода года по параметрам А, для холодного периода года – по параметрам Б. Для переходных условий независимо от места расположения здания принимается $t_n = 8 \text{ }^\circ\text{C}$, энтальпия $J = 22,5 \text{ кДж/кг}$.

Расчетные параметры внутреннего воздуха (температура, относительная влажность, подвижность) принимаются в зависимости от периода года и назначения помещений по СНБ 4.02.01–03, СНБ 2.04.02–2000, СНБ 3.02.03–03, СНБ 3.02.04–03, СанПиН 9-80 РБ98.

Основными вредностями, выделяющимися в помещении, являются *избыточная теплота, влага и вредные вещества*.

Избытки явной теплоты – это превышение для данных эксплуатационных условий и микроклимата помещений количества явной теплоты, поступающей в помещение (здание, сооружение), над количеством явной теплоты, выводимой или уходящей из помещения (здания, сооружения). Избыточная теплота определяется как сумма теплопоступлений от людей, искусственного освещения, электродвигателей, нагретого оборудования, остывающих материалов, через заполнение световых проемов, от солнечной радиации и др.

Поступления влаги в помещение от людей зависят от категории работ и температуры окружающего воздуха в помещении.

Для жизнедеятельности человека необходимо учитывать показатели по кислороду и углекислому газу. Количество CO_2 в наружном воздухе составляет для городской среды $0,4\text{--}0,5 \text{ л/м}^3$ или $0,07\text{--}0,1 \%$. Допустимая концентрация CO_2 в помещении – 1 л/м^3 . Человек в результате жизнедеятельности выделяет от 18 до 25 л/ч углекислого газа. Таким образом, для снижения содержания CO_2 в помещении, где находятся люди, до уровня допустимого,

необходимо обеспечить приток свежего воздуха порядка 25–30 м³/ч на одного человека.

Требования нормативных документов сводятся к обеспечению кратности воздухообмена внутри помещения. Поэтому при проектировании вентиляционных устройств по критерию содержания в помещении углекислого газа необходима определенная система приточных и вытяжных устройств, круглогодично поддерживающая содержание СО₂ в воздухе помещений в пределах нормы.

7.4 Определение воздухообмена в помещениях

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредности, чистым атмосферным воздухом. При расчетах воздухообмена помещений определяется расход приточного воздуха, необходимого для поглощения избыточной теплоты, влаги, вредных веществ. Балансы воздуха и вредных выделений составляют для определения необходимого воздухообмена с целью создания наиболее благоприятных и комфортных условий для человека в жилых, производственных и других помещениях [31, 48, 49].

Уравнение баланса воздуха в помещении имеет вид

$$G_{\text{п}} + \sum_{i=1}^n G_{\text{пи}} + G_{\text{yx}} - \sum_{j=1}^m G_{\text{yxj}} = 0, \quad (75)$$

где $G_{\text{п}}$ – количество воздуха общеобменной *приточной* вентиляции;

G_{yx} – количество воздуха общеобменной *вытяжной* вентиляции;

$\sum_{i=1}^n G_{\text{пи}}$ и $\sum_{j=1}^m G_{\text{yxj}}$ – расходы других приточных и вытяжных устройств

от местных вытяжек и т.п.

К основным характеристикам воздухообмена относятся такие параметры, как объем и кратность воздухообмена.

Под *объемом* L , м³/ч, понимают количество воздуха в кубических метрах, поступающего в помещение в течение часа. Минимальной нормой воздухообмена на одного взрослого человека считается 30 м³/ч, на ребенка – 20 м³/ч.

Кратность воздухообмена n – число замен всего объема воздуха в замкнутом помещении в течение часа. В зависимости от типа и

назначения помещения устанавливаются нормы кратности воздухообмена. Так, например, для жилых комнат рекомендована кратность 0,5–1,0, а в кухнях воздух должен меняться более интенсивно и рекомендованная кратность составляет 3,0. Для производственных помещений данный показатель может сильно отличаться в зависимости от типа производства или деятельности, осуществляемых в данных помещениях.

При кратности воздухообмена менее 0,5 в час человек начинает чувствовать себя некомфортно, появляется ощущение духоты, снижение работоспособности и т.д.

Большинство помещений жилых и общественных зданий характеризуется постоянным составом и интенсивностью вредных выделений.

Поэтому для них на основании эксплуатационного опыта систем вентиляции производительность по воздуху рассчитывается исходя из установленных *норм кратности воздухообмена*.

Для помещений различного назначения воздухообмен L , м³/ч,

$$L = nV, \quad (77)$$

где n – нормативная кратность воздухообмена для определенного типа помещений: для жилых квартир $n = 1/ч$, для общественных помещений и производственных цехов $n = 2/ч$, для кухонь – $n = 3/ч$ (см. приложение Б);

V – объем помещения, м³, для помещений высотой 6 м и более следует принимать $V = 6F$, F – площадь помещения, м².

Для некоторых помещений воздухообмен L определяется *по нормируемому удельному расходу воздуха*, м³/ч,

$$L = mN, \quad (78)$$

где m – нормируемый удельный расход воздуха, м³/ч, на 1 чел. или единицу оборудования, приводится в СНБ 3.02.04–03, СНБ 3.02.03–03. Минимальная норма приточного наружного воздуха составляет 20 м³/ч на одного человека (для людей, которые находятся на работе в офисе, $L_{\text{норм}}=40$ м³/ч, а для выполняющих физическую нагрузку – 60 м³/ч);

N – количество человек или единиц оборудования.

Расчетный воздухообмен должен обеспечить нормируемые параметры и чистоту воздуха в рабочей зоне помещения в теплый, холодный и переходной периоды года. Для расчета ассимиляции

полной (явной и скрытой) теплоты используют формулу

$$L = L_{\text{мо}} + \frac{3,6 Q_{\text{изб}} - 1,2 L_{\text{мо}} (J_{\text{мо}} - J_{\text{пр}})}{1,2 (J_{\text{ух}} - J_{\text{пр}})}, \quad (79)$$

где $L_{\text{мо}}$, $J_{\text{мо}}$ – количество воздуха, м³/ч, и его теплосодержание, кДж/кг, удаляемое местными отсосами;

$Q_{\text{изб}}$ – избытки явной теплоты в помещении, Вт;

$J_{\text{ух}}$, $J_{\text{пр}}$ – теплосодержание удаляемого и приточного воздуха, кДж/кг.

Аналогичным образом вычисляют количество приточного воздуха для ассимиляции влаги и вредных газовывделений. За расчетное принимают большее значение.

Температура приточного воздуха в теплый период принимается равной расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{\text{пр}} = t_{\text{н}}$ (параметр А).

Температуру приточного воздуха для переходных условий с учетом нагрева его в вентиляторе и воздуховодах $t_{\text{пр}} = t_{\text{н}} + 0,001P$, $t_{\text{н}} = 8$ °С. Однако при такой температуре невозможно обеспечить нормируемые параметры воздуха в рабочей зоне помещения. Поэтому ориентировочно для переходных условий температуру приточного воздуха принимают равной 11–13 °С.

В холодный период $t_{\text{пр}}$ для общественных зданий принимается, как и для переходного периода – 11–13 °С. Это связано с тем, что при $t_{\text{пр}} \leq 9$ °С невозможно обеспечить нормируемые параметры в рабочей зоне.

7.5 Схемы организации воздухообмена

Вопрос выбора схемы организации воздухообмена и типа воздухораспределителей должен рассматриваться на начальной стадии проектирования совместно с архитектором, а также при выборе принципиальной схемы обработки воздуха в центральном кондиционере. В ряде случаев это позволяет не только создать в помещении комфортные условия, но и снизить единовременные и эксплуатационные затраты.

К системе воздухораспределения предъявляются следующие основные требования:

– *эстетические, архитектурно-строительные.* Для реализации определенного способа распределения воздуха следует предусматривать некоторые пространства, например фальшпол,

подшивной потолок, технические этажи. Воздухораспределитель как видимая часть системы кондиционирования воздуха, особенно в помещениях гражданских зданий, должен отвечать эстетическим требованиям;

– *санитарно-гигиенические*. Воздух в помещении необходимо распределить так, чтобы человек не испытывал дискомфорта: не должно быть застойных зон, холодного дутья, сквозняков;

– *технологические*. Для производственных помещений определенного назначения необходимо обеспечить поддержание температуры воздуха во всем объеме обслуживаемой зоны с заданной точностью;

– *акустические*. Уровень звукового давления в помещении не должен превышать допустимого значения;

– *эксплуатационные*, заключающиеся в возможности регулирования расхода воздуха через воздухораспределитель, направления подачи воздуха и вида струи в зависимости от режима охлаждения или отопления. Потери давления в воздухораспределителе должны быть минимальными;

– *экономические*, состоящие в достижении эффективности системы кондиционирования с учетом минимальных одновременных и эксплуатационных затрат.

В настоящее время условно различают **два основных способа распределения воздуха в помещении**: перемешивающая вентиляция и вытесняющая вентиляция, хотя в действительности способов организации воздухообмена больше. Классификация схем организации воздухообмена, принятая в отечественной практике, по направлению движения воздуха, например «сверху–вниз», «сверху–вверх» и т.д., не в полной мере отражает особенности формирования воздушных потоков в помещении.

При *перемешивающей вентиляции* высокоскоростной турбулентный поток приточного воздуха вовлекает путем эжекции в движение окружающий воздух в помещении, перемешиваясь с ним и создавая относительно равномерное поле температур и скоростей по всему объему помещения. При этом способе распределения воздух чаще всего подается в верхнюю зону неизотермическими горизонтальными настилающимися или наклонными в сторону обслуживаемой зоны струями. Он широко применяется в производственных помещениях

большой высоты (8–18 м) с незначительными избытками явной теплоты или высотой менее 8 м независимо от величины теплоизбытков, а также в таких помещениях гражданских зданий, как торговые залы магазинов, предприятий общественного питания, зрительные залы кинотеатров, клубов, театров, конференц-залы, спортивные залы, аудитории, офисные помещения. Воздухораспределители при этом способе размещают на стене или на потолке, если это возможно конструктивно, например, при наличии подшивного потолка или технического этажа.

Вытесняющая вентиляция представляет собой схему организации воздухообмена в помещении, обеспечивающую максимально беспрепятственное развитие восходящих конвективных потоков над источниками тепловыделений в верхнюю зону помещения. Удаление нагретого и загрязненного воздуха из помещения осуществляется из верхней зоны, приток чистого, холодного воздуха в нижнюю зону помещения – на уровне пола.

При вытесняющей вентиляции воздух подается в рабочую или обслуживаемую зону помещения с малой скоростью, вызывая «затопление» помещения чистым воздухом. Далее он увлекается конвективными потоками, создаваемыми источниками теплоты в обслуживаемой зоне, обычно равномерно распределенными по площади помещения, вверх, ассимилируя вредности и удаляясь из верхней зоны. При организованной естественной вентиляции (аэрации) движение воздуха обусловлено естественными силами, вызванными разностью плотности нагретого (конвективные потоки от источников теплоты) и охлажденного воздуха.

Вытесняющая вентиляция многие годы используется в производственных зданиях. В Европе в последние годы большое внимание уделяется способу вытесняющей вентиляции применительно к гражданским зданиям, в которых доля теплопоступлений, в том числе и конвективной составляющей, значительно выросла в связи с применением бытовой и офисной техники, а также усилением освещенности помещений. Способ вытесняющей вентиляции имеет преимущества перед перемешивающей вентиляцией в обеденных залах ресторанов, конференц-залах, классных комнатах школ, аудиториях, супермаркетах при высоте помещения более 3 м.

К вытесняющей вентиляции можно отнести и подачу смеси первичного и рециркуляционного воздуха в помещение с низкой

скоростью с использованием специальных устройств, принцип действия которых основан на явлении эжекции (когда в сужающемся сечении создается пониженное давление одной среды, что вызывает приток другой среды).

Распределение воздуха «из-под пола» относят к вытесняющей вентиляции. Однако данный способ можно считать чем-то средним между перемешивающей и вытесняющей вентиляцией, так как он объединяет в себе особенности и преимущества обоих способов.

При распределении воздуха из-под пола в обслуживаемой зоне осуществляется перемешивание приточного воздуха с воздухом помещения, а в верхней зоне ламинарный поток смеси под влиянием конвективных потоков теплоты с низкой скоростью устремляется вверх и удаляется из верхней зоны.

К вытесняющей вентиляции относят способ распределения воздуха по схеме «сверху–вниз», применяемый в производственных помещениях с источниками пыли, например цеха табачных фабрик, или с вредными газами, плотность которых выше плотности воздуха при незначительных тепловыделениях, например гальванические цеха. В этом случае охлажденный воздух с малыми скоростями подается через воздухораспределители, установленные выше рабочей зоны, а удаление его происходит из нижней зоны.

Способ *локальной вентиляции* заключается в непосредственной подаче чистого воздуха на рабочее место в зону дыхания человека в размере минимального воздухообмена.

Каждый способ, имеющий свои преимущества и недостатки, должен применяться с учетом конкретных условий. Основные критерии при выборе способа – сокращение потребления энергии, повышение качества воздуха и условий комфорта в обслуживаемой зоне.

Особенности различных схем организации воздухообмена: http://teplo.com/otoplenie_review188.html.

7.6 Естественная вентиляция в жилых зданиях

В жилых зданиях в основном проектируются системы с естественной вентиляцией. В квартирах воздухообмен осуществляется следующим образом: приток свежего воздуха (неорганизованный) – через неплотности в оконных рамах, открывающиеся фрамуги и форточки, через установленные в

стенах, оконных рамах или коробках специальные клапаны (в том числе в шумозащитном исполнении). Такой воздухообмен происходит за счет гравитационного давления вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха, а также под воздействием ветра.

Приточный воздух поступает в жилые комнаты и кухню, а через щели между полом и нижней частью дверей (высота щели должна быть 3–5 см) – в ванную комнату и туалет, нагревается, загрязняется продуктами жизнедеятельности людей и удаляется из квартиры через вытяжные решетки под потолком помещений, установленные в вентиляционных блоках, каналах или воздуховодах. В квартирах обычно вытяжку устраивают из кухонь, ванных комнат и санузлов.

Для удаления воздуха проектируются сборные вертикальные каналы с подключаемыми к ним индивидуальными каналами-спутниками, в которых устанавливаются вытяжные решетки. Для двух последних этажей, на которых естественная вытяжка мала вследствие небольшой высоты верхней части сборного вытяжного канала, проектируются самостоятельные (индивидуальные) вытяжные каналы (вентблоки) с установкой канальных вентиляторов.

Расчет вытяжной вентиляции производится с учетом условий переходного периода при температуре приточного воздуха +5 °С и отсутствии ветра. Система естественной вентиляции рассчитывается на удаление из каждой квартиры нормативного количества воздуха.

Давление, Па, заставляющее воздух перемещаться при естественной вентиляции, обусловлено гравитационными силами, возникающими вследствие разности плотности воздуха помещения ρ_v и наружного воздуха ρ_n при температуре 5 °С. Оно определяется по формуле

$$p_e = gh(\rho_n - \rho_v), \quad (80)$$

где h – расстояние по вертикали от центра вытяжной решетки до устья вытяжного канала, м.

Это естественное гравитационное давление расходуется на преодоление сопротивления движению воздуха на его пути в каналах и воздуховодах.

В жилых, общественных и производственных зданиях, не требующих интенсивного воздухообмена, в основном проектируют вытяжные *канальные системы* естественной вентиляции (рисунок

56), которые обычно располагают в толще внутренних стен или в специальных железобетонных блоках и шахтах.

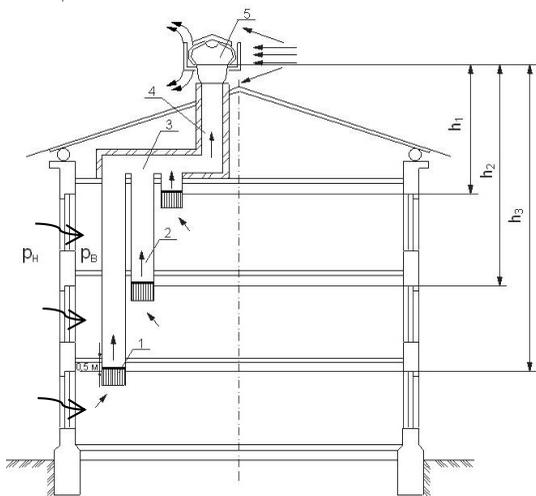


Рисунок 56 – Канальная система естественной вытяжной вентиляции с неорганизованным притоком наружного воздуха через щели или специальные воздухоприточные устройства:

- 1 – вытяжная решетка; 2 – вертикальный канал; 3 – горизонтальный утепленный канал;
- 4 – вытяжная утепленная шахта; 5 – дефлектор

Системы естественной вентиляции имеют простое устройство, несложны в эксплуатации. Скорость воздуха в воздуховодах систем с гравитационным (естественным) побуждением принимают 0,5–1,0 м/с.

Сборные короба и вытяжные шахты на чердаке выполняют с утепленными стенками во избежание выпадения конденсата на их внутренних поверхностях в зимнее время. Материал стенок каналов и шахт должен быть несгораем.

В жилых зданиях вытяжные вентиляционные каналы из помещений, обращенных на противоположные фасады, не объединяют.

Расчет воздуховодов вентиляционных систем (аэродинамический расчет) сводится к определению размеров живого сечения воздуховодов, оказывающих проходу требуемого количества воздуха сопротивление, равное расчетному давлению.

Для улучшения работы вытяжной естественной вентиляции с использованием энергии гравитационных сил и ветра устанавливают *дефлектор*. Он представляет собой насадок на вытяжной трубе. Поток воздуха, обтекая дефлектор, создает в нем разрежение, за счет которого усиливается перемещение воздуха из помещения в атмосферу.

7.7 Вентиляционные каналы

Распределение воздуха в системах вентиляции кондиционирования осуществляется сетью воздуховодов (каналов), которые могут быть различной конструкции (рисунок 57) и должны отвечать определенным требованиям:

- обеспечивать пропускную способность для прохождения необходимого объема воздуха;
- иметь минимальное сопротивление и потери;
- обеспечивать по скоростному режиму нормативные шумовые характеристики;
- занимать минимальное пространство.

При необходимости на воздуховоды наносится тепло-, звуко- или пароизоляция, а также огнезащитные покрытия.

Классификация вентиляционных каналов и воздуховодов:

- по *плотности* – плотные (класс П) и нормальные (класс Н);
- *скорости потока воздуха* системы сети воздушных коммуникаций подразделяются на низкоскоростные ($v < 13$ м/с) и высокоскоростные ($13 < v < 25$ м/с);
- *рабочему давлению* – низкого давления (до 900 Па), среднего (900–1700 Па) и высокого (1700–3000 Па). Для небольших встроенно-пристроенных помещений, расположенных обычно на уровне 1-го и 2-го этажей жилых зданий, применяются низкоскоростные воздуховоды низкого давления. Рекомендуемые максимальные скорости воздуха в каналах (воздуховодах) находятся в пределах от 5 до 9 м/с;

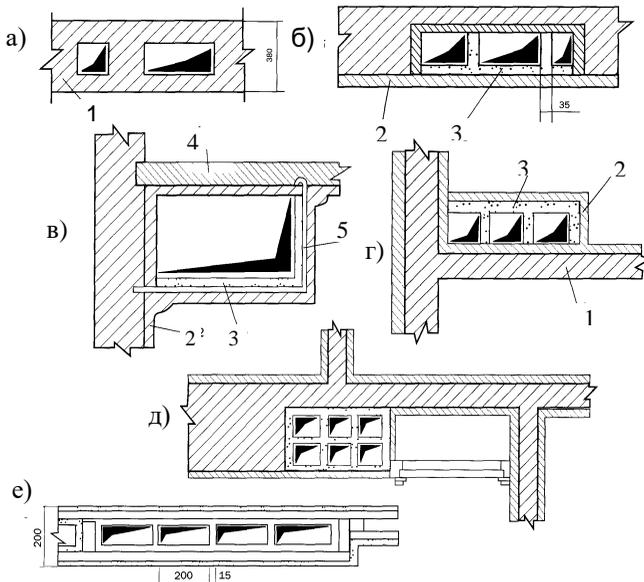


Рисунок 57 – Конструкции вентиляционных каналов: *а* – в кирпичной стене; *б* – в борозде стены, заделываемой плитой; *в* – подвесного, горизонтального; *г-д* – приставных (пристенных) вертикальных; *е* – из сухой штукатурки в перегородке; 1 – кирпичная стена; 2 – штукатурка; 3 – шлакогипсовые плиты; 4 – перекрытие; 5 – подвеска стальная, $d = 6$ мм

- *конструкции* – встроенные и приставные, круглые и прямоугольные, гибкие;
- *материалу* – кирпичные, бетонные, железобетонные, асбоцементные, шлакогипса, металлические (оцинкованная или нержавеющая сталь), металлопластиковые), неметаллические (синтетические материалы: полиэтилен, стеклопластик, винипласт, стеклоткань и др.), *огнестойкие* воздуховоды из негорючих материалов.

7.8 Аэродинамический расчет воздуховодов

Аэродинамический расчет воздуховодов обычно сводится к определению размеров их поперечного сечения, а также потерь давления на отдельных участках и в системе в целом. Можно определять расходы воздуха при заданных размерах воздуховодов и известном перепаде давления в системе.

При аэродинамическом расчете воздуховодов систем вентиляции

обычно пренебрегают сжимаемостью перемещающегося воздуха и пользуются значениями избыточных давлений, принимая за условный ноль атмосферное давление.

При движении воздуха по воздуховоду в любом поперечном сечении потока различают три вида давления: *статическое, динамическое и полное*.

Статическое давление определяет потенциальную энергию 1 м^3 воздуха в рассматриваемом сечении ($p_{\text{ст}}$ равно давлению на стенки воздуховода).

Динамическое давление – это кинетическая энергия потока, отнесенная к 1 м^3 воздуха:

$$p_{\text{д}} = \frac{\rho v^2}{2}, \quad (80)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ;

v – скорость движения воздуха в сечении, м/с .

Полное давление равно сумме статического и динамического давлений

$$p_{\text{п}} = p_{\text{ст}} + p_{\text{д}}. \quad (81)$$

Традиционно при расчете сети воздуховодов применяется термин "потери давления" ("потери энергии потока").

Аэродинамический расчет систем вентиляции выполняют после расчета воздухообмена в помещениях и решения по трассировке воздуховодов и каналов.

Для проведения аэродинамического расчета на основе архитектурно-строительной и технологической (в случае необходимости) частей проекта вычерчивают *аксонометрическую схему* системы вентиляции (рисунок 58), по которой определяют протяженность отдельных ее ветвей и размещают элементы сети.

Схему разбивают на отдельные расчетные участки. *Расчетным участком* называется часть воздуховода, в котором сохраняется сечение и один и тот же расход воздуха. Участки сети, не входящие в магистраль, называются ответвлениями. Потери давления на участке зависят от скорости движения воздуха и складываются из потерь на трение и

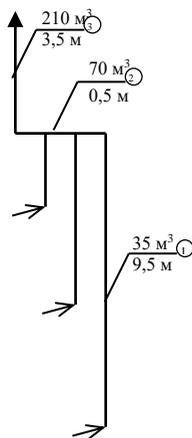


Рисунок 58 –
Аксонометрическая
схема
системы
вентиляции

потерь в местных сопротивлениях.

Намечается основное расчетное направление, представляющее собой цепочку последовательно расположенных участков от начала системы до наиболее удаленного ответвления. За магистральное направление принимается наиболее нагруженная (имеющая больший расход) протяженная цепочка последовательно расположенных расчетных участков.

Потери давления в системе вентиляции равны потерям давления в основной расчетной цепи, складывающимся из потерь давления на всех последовательно расположенных участках, составляющих цепь, и потерь давления в вентиляционном оборудовании (калориферах, фильтрах и пр.).

В задачу аэродинамического расчета воздуховодов входят определение поперечных сечений воздуховодов и расчет потерь давления в сети. Площади поперечных сечений отдельных участков воздуховода определяются по уравнению неразрывности, m^2 ,

$$F = L/v, \quad (82)$$

где L – расход воздуха на участке, m^3/c .

Расчетная скорость воздуха для магистральных воздуховодов систем механической вентиляции принимается около 6–12 м/с, для ответвлений – не более 8 м/с.

По площади поперечного сечения определяются размеры стандартного воздуховода, для круглого – диаметр d , для прямоугольного – размеры сторон $a \times b$.

При перемещении засоренного воздуха, а также в воздуховодах пневматического транспорта скорость воздуха принимается больше скорости витания, чтобы не было оседания в воздуховодах включенных в воздух частиц твердой фазы.

Потеря давления в воздуховоде Δp равна сумме потерь давлений на преодоление сопротивления $\Delta p_{тр}$ и местных сопротивлений $\Delta p_{м.с}$, Па:

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.с}. \quad (83)$$

Потеря на трение в круглом воздуховоде

$$\Delta p_{тр} = Rl, \quad (84)$$

$$\text{где } R = \frac{\lambda v^2}{d \cdot 2} \rho,$$

R – удельная потеря давления на трение, Па;

d – диаметр, м;

l – длина воздуховода, м;

λ – коэффициент сопротивления;

Для определения λ можно принять формулу А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (85)$$

где K – абсолютная шероховатость, мм (для технически гладких труб

$K = 0,1$ мм);

Re – число Рейнольдса.

Потери давления на местные сопротивления, Па,

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \Sigma \zeta (v^2/2) \rho, \quad (86)$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

В воздуховодах встречаются различные местные сопротивления: отводы, тройники, запорно-регулирующие устройства, входные и выходные устройства и т.п. Значения коэффициента ζ устанавливаются экспериментальным путем и приводятся в справочниках.

В целях сокращения вычислительной работы для определения $\Delta p_{\text{тр}}$ и $\Delta p_{\text{м.с}}$ составлены таблицы и номограммы, в которых потери давления даются в функции расхода воздуха, скорости и других факторов [19] (приложение Д).

Таблицы и номограммы обычно составлены для круглых воздуховодов. Для воздуховодов прямоугольной формы в формуле (85) вместо диаметра d , подставляется эквивалентный диаметр d_3 , который определяется по формуле

$$d_3 = U / 4F = 2ab / (a + b), \quad (87)$$

где U – периметр сечения воздуховода, м;

F – площадь воздуховода, м²;

$a \times b$ – стороны сечения воздуховода, м.

Например, приведем некоторые значения d_3 (мм) каналов, соответствующие размерам в кирпичах: 140 – ½×½; 180 – ½×1; 265 –

1×1; 320 – 1×1½; 375 – 1×2.

Для выполнения расчета составляется аксонометрическая схема системы воздуховодов с обозначением расходов, длин и местных сопротивлений на каждом участке.

Скорость воздуха на участках выбирается таким образом, чтобы она увеличивалась по пути к вентилятору или выходной шахте.

В расчетную таблицу заносятся расходы воздуха, длины участков и принятые значения скоростей. По расходу и скорости определяются сечения и размеры воздуховодов. По номограмме (см. приложение Д) находят значения удельной потери на трение R , Па/м, и потери на трение по участкам Rl , Па.

Для каждого участка оценивают сумму коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\zeta$ и определяют потери на местные сопротивления.

Определяются суммарная потеря давления на всех участках магистрали, а также потери давления в отдельных узлах, в которых имеется разветвление воздуховодов. Данные заносятся в таблицу 24.

Таблица 24 – Ведомость аэродинамического расчета воздуховодов системы вентиляции

Номер участка	Расход воздуха на участке L , м ³ /ч	Длина участка l , м	Размеры канала, мм	Эквивалентный диаметр d , мм	Действительная скорость воздуха v , м/с	Потери давления на 1 м канала $R_{\text{в}}$, Па/м	Поправочный коэффициент m	Абсолютная шероховатость канала K_s	Коэффициент n	Потери давления на трение на участке $R_{\text{тр}nl}$, Па	Динамическое давление на участке $p_{\text{в}}$, Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\zeta$	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Общие потери давления на участке $R_{\text{тр}nl} + Z$, Па
---------------	---	-----------------------	--------------------	--------------------------------	---	---	-----------------------------	---------------------------------------	-----------------	---	--	---	---	---

7.9 Механическая вентиляция для жилых зданий

Механическую вентиляцию в жилищном строительстве можно подразделить:

- на центральную и местную;
- вытяжную и приточно-вытяжную.

Принципиальные схемы естественной и механической вытяжной вентиляции многоэтажных жилых зданий приведены на рисунке 59.

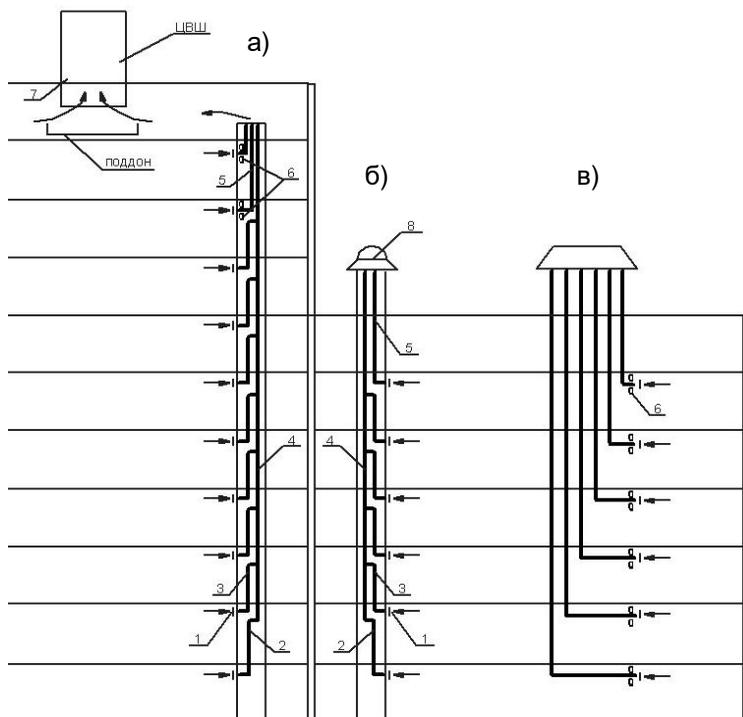


Рисунок 59 – Схема вытяжной естественной и механической вентиляции для многоэтажных (высотных) зданий:

- а* – с вентиляторами на двух последних этажах; *б* – крышным вентилятором;
- в* – вентиляторами на всех этажах;

1 – воздухоприемные устройства; *2* – вертикальный воздуховод; *3* – вертикальный канал (воздуховод)-спутник; *4* – сборный вертикальный канал; *5* – индивидуальные каналы (воздуховоды) двух последних этажей; *6* – осевой вентилятор; *7* – центральная вытяжная шахта; *8* – крышный вентилятор

Жилые многоэтажные здания, как правило, проектируются с «теплыми чердаками». Сборные вытяжные каналы выходят на «теплый

чердак», где устанавливается центральная вытяжная шахта (ЦВШ) с зонтом (для предотвращения попадания на чердак и в каналы осадков) или без зонта, но с поддоном для сбора сконденсированной влаги.

Не допускается устройство общей вытяжной шахты для квартир разных секций дома, а также устройство нескольких вытяжных шахт на одну секцию жилого дома. В домах с холодным чердаком выпуск воздуха из вентблока в атмосферу осуществляется через самостоятельные вытяжные шахты.

Сборные вертикальные каналы обычно выполняются из поэтажных блоков промышленного изготовления, как правило, гипсо- или железобетонных. В кирпичных зданиях сборные каналы и каналы-спутники выполняются, как правило, непосредственно в стене. В зданиях с большой высотой этажа, где применение промышленных поэтажных блоков невозможно, а также в домах, возводимых по индивидуальным проектам, предусматриваются металлические вытяжные воздуховоды с подсоединением к ним воздуховодов-спутников по схеме «через этаж».

Известно, что аэродинамический режим здания (особенно повышенной этажности) таков, что нижние этажи работают на приток в режиме инфильтрации, а верхние – на вытяжку в режиме экфильтрации. Кроме того, при определенном направлении и скорости ветра на верхних этажах может возникнуть «опрокидывание тяги» (с заветренной стороны). Практика эксплуатации жилых зданий повышенной этажности показала, что на двух последних этажах в вентиляционных каналах кухонь и санузлов необходимо устанавливать малогабаритные осевые вентиляторы.

Вытяжка из техподполья должна происходить через самостоятельные вертикальные каналы. На выпусках воздуха в «теплый чердак» из вентблоков устанавливаются диффузоры (оголовки вентблоков).

В связи с проектированием в последние годы «теплых домов» с герметичными оконными переплетами и трехслойными стеклопакетами естественная вентиляция становится неэффективной из-за полного отсутствия или ограниченного поступления инфильтрационного воздуха.

Поэтому применение *механической вентиляции* стало особенно

актуально при проектировании новых и реконструкции старых жилых домов. Это вызвано тем, что установка окон с высокими значениями сопротивления воздухопроницанию приводит к снижению воздухопроизводительности естественной вентиляции. Кроме того, дальнейшее повышение показателей энергосбережения возможно только при утилизации теплоты вытяжного воздуха, а для этого необходима приточно-вытяжная механическая вентиляция.

Схема вытяжной механической вентиляции может быть дополнена приточной установкой, расположенной в подвале, и вытяжной – на чердаке (рисунок 60).

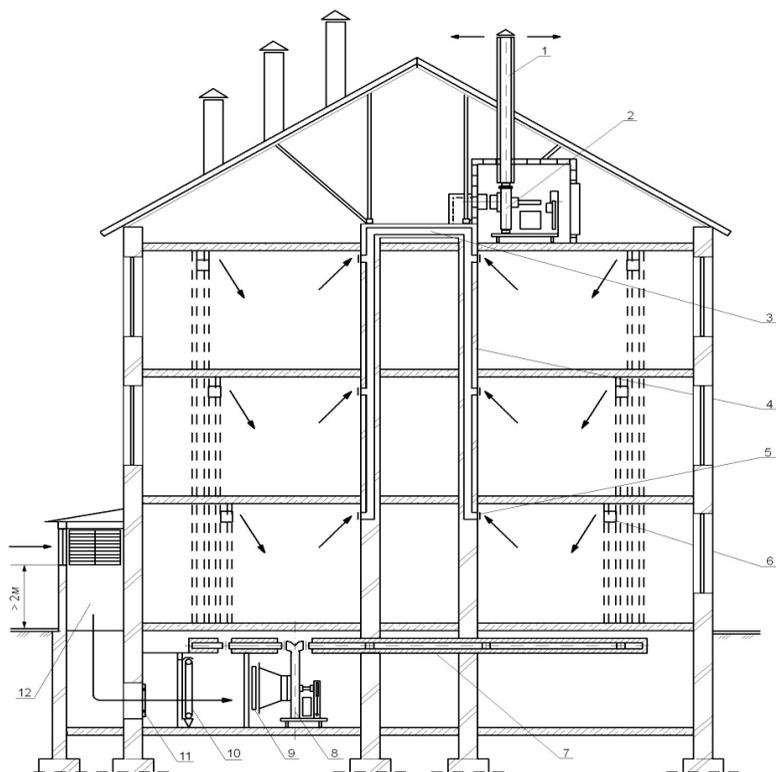


Рисунок 60 – Механическая приточно-вытяжная система вентиляции жилого дома:

- 1 – выбросная шахта, 2 – вытяжной вентилятор; 3 – сборный вытяжной воздуховод;
- 4 – вытяжной воздуховод; 5 – вытяжная решетка; 6 – приточная решетка; 7 – приточный воздуховод, 8 – приточный вентилятор; 9 – калорифер; 10 – воздушный фильтр;

Приточная установка очищает наружный воздух в фильтре, подогревает его вытяжным воздухом в рекуперативном теплообменнике, затем подогревает его в калорифере и подает его непосредственно в помещения.

При этом в квартирах создается подпор, что исключает инфильтрацию воздуха. Воздухозаборные отверстия в уличных шахтах следует располагать не ниже 2 м от поверхности пола. Для удаления избытков теплоты, влаги и вредных газов вытяжной воздух следует удалять из верхней зоны помещения через отверстия, размещенные под потолком, но не ниже 2 м от пола до низа отверстий.

Механическая приточная вентиляция может быть совмещена с воздушным отоплением. Такие системы в жилых зданиях могут быть как центральными, так и квартирными с частичной рециркуляцией воздуха. Отопление осуществляется за счет перегрева приточного воздуха. Температура приточного воздуха t_r не должна превышать 45 °С. Минимальный расход приточного воздуха для воздушного отопления

$$G_o = \frac{3,6Q}{c(t_a - t_{\bar{a}})} \quad (88)$$

Расход приточного воздуха в таких системах должен быть принят по большей величине потребности на нужды отопления и вентиляции с корректировкой (при необходимости) температуры приточного воздуха.

7.10 Рекуператоры (теплоутилизаторы)

Сбережение энергоресурсов – очень актуальная проблема современного мира, дающая толчки к разработке и использованию экономичного оборудования либо вторичного использования уже затраченной энергии во многих сферах производства и обслуживания. Энергосберегающие системы вентиляции – не исключение в данном вопросе. При проектировании систем вентиляции также необходимо помнить, что эксплуатационные затраты можно уменьшить за счет вторичных тепловых энергоресурсов.

Теплоутилизатор – это теплообменный аппарат для утилизации бросового тепла или холода технологического процесса или выбрасываемого теплого воздуха в целях его дальнейшего использования для нагрева или охлаждения воздуха.

Однако в последнее время в научных работах и технических статьях довольно часто используется термин **рекуператор** (от лат. recuperator – получающий обратно, возвращающий). *Рекуператоры и рекуперация воздуха http://www.teploed.ru/menu6_4.html*.

Под **рекуперационными процессами** в каких-либо технологических операциях подразумевают возврат части материала или энергии для их вторичного использования. В системе приточно-вытяжной вентиляции под рекуперацией воздуха подразумевают процесс нагревания холодного приточного воздуха удаляемым теплым вытяжным.

Использование приточно-вытяжных рекуператоров – одно из самых перспективных направлений в энергосбережении в области вентиляции, отопления и кондиционирования.

В холодное время года поступающий через рекуператор с улицы холодный воздух обогревается выходящим из помещения отработанным теплым воздухом. И, наоборот, в летние месяцы поступающий с улицы слишком теплый воздух охлаждается уходящим из помещения более холодным. При этом поддержание постоянной температуры в помещении при использовании рекуператора происходит со значительной экономией затрат энергии.

Получить вторичную энергию в вентиляционных системах можно за счет использования холода либо тепла от технологических установок в случае, если они пригодны для использования, а также за счет холода либо теплоты от воздуха, который удаляется общеобменной системой вентиляции. В вентиляционных системах для сбережения энергии применяются теплоутилизаторы (теплообменники), которые бывают разных типов: рекуператоры перекрестноточные (пластинчатые), роторные (регенеративные), рекуператоры с промежуточным теплоносителем и др.

Пластинчатый воздуховоздушный теплоутилизатор (рисунок 61) выполняется в виде моноблочного узла, где потоки приточного и вытяжного воздуха омывают одни и те же теплопроводящие пластины, не контактируют друг с другом непосредственно.

Вытяжной воздух передает теплоту пластине, а приточный наружный аккумулирует её и возвращает обратно в помещение.

Недостаток: со стороны вытяжного воздуха на теплообменной пластине может скапливаться конденсат, который впоследствии может попасть в воздуховоды по направлению движущегося воздушного потока и замерзнуть при низких t_n .

Эффективность пластинчатых рекуператоров высока (50–80 %). Чаще всего их устанавливают на малых предприятиях, в небольших зданиях, коттеджах, магазинах.

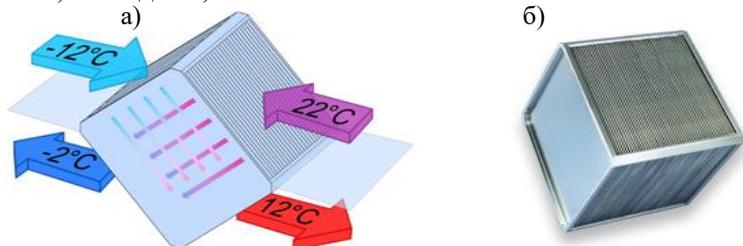
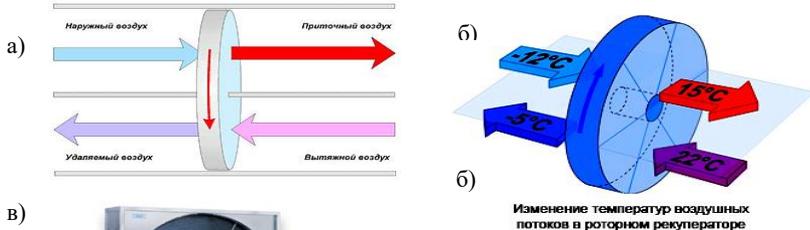


Рисунок 61 – Пластинчатый перекрестно-точечный теплоутилизатор (рекуператор):
а – изменение температур воздушных потоков; б – внешний вид

В настоящее время в Республике Беларусь налажен выпуск агрегатов вентиляционных теплоутилизационных типа АВТУ для использования в системах принудительной приточно-вытяжной вентиляции, которые обеспечивают нормируемые параметры микроклимата в помещениях жилых, административных зданий, школ, дошкольных учреждений и утилизацию тепла, содержащегося в удаляемом воздухе для подогрева свежего приточного воздуха (<http://www.alternativa.by/content/view/21/45/>).

В теплоутилизаторах (рекуператорах) роторного (регенеративного) типа (рисунок 62) теплота передается вращающимся между удаляемым и приточным каналами ротором. Ротор непрерывно вращается в плоскости, перпендикулярной направлению воздушного



193
Рисунок 62 – Роторный рекуператор:
а – схема воздушных потоков;
б – изменение температур воздушных потоков в роторном рекуператоре

потока, при этом он расположен таким образом, что одна его половина находится в вытяжном воздуховоде, а другая в приточном. Нагретые уходящим воздухом пластины ротора, попав в приточный воздуховод, омываются холодным наружным воздухом и передают ему теплоту.

Скорость вращения ротора определяет уровень рекуперации теплоты. Роторные рекуператоры наиболее эффективны ~75–90 %, и поэтому стоят дороже других (в том числе и за счет электропривода). Сфера их применения – библиотеки, бассейны, заводские помещения, производственные и сельскохозяйственные предприятия.

В *рекуператорах с промежуточным теплоносителем* присутствуют два теплообменника, между которыми циркулирует теплоноситель (вода или водно-гликолиевый раствор), который нагревается удаляемым воздухом в одном канале, после чего передает теплоту приточному воздуху в другом канале. Замкнутая система исключает опасность передачи загрязнений из удаляемого воздуха в приточный, поэтому они используются в случае загрязненности или токсичности удаляемого воздуха. Передача теплоты определяется изменением скорости циркуляции теплоносителя. Эффективность рекуператоров такого типа – ~45–60 %.

В *рекуператорах камерного типа* заслонка делит камеру пополам. Сначала удаляемый воздух нагревает одну половину камеры, после чего заслонка изменяет направление воздушного потока, и приточный воздух нагревается от нагретых стенок камеры. Это рекуператор открытого типа с высокой эффективностью ~70–80 %.

Рекуператор типа «Тепловые трубы» (рисунок 63) представляет собой закрытую систему трубок. Помещенный в них фреон испаряется в процессе нагревания удаляемым воздухом. Приточный воздух проходит вдоль трубок, после чего возникший конденсат опять превращается в жидкость. Эффективность такого рекуператора ~50–70 %.

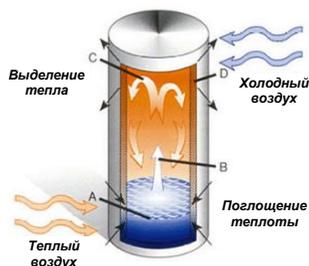


Рисунок 63 – Рекуператор типа «тепловая труба»
(<http://www.ventprofil.ru/rekuperaciya>)

Применение рекуператоров позволяет в среднем экономить от 30 до 40 %, а при температурах наружного воздуха +5...–5 °С – до 70 % теплоты, затрачиваемой на подогрев приточного воздуха. Поэтому наиболее широкое применение они нашли в странах с мягким климатом. Использование рекуператоров в условиях белорусской зимы связано с рядом трудностей: необходимостью установки дополнительной ступени калорифера на входе холодного воздуха в рекуператор либо устройства байпаса, по которому будет отводиться приточный воздух во время периодических разморонок рекуператора. Это, в свою очередь, приводит к усложнению и удорожанию автоматики. Кроме того, дополнительные затраты потребуются для того, чтобы собрать приточные и вытяжные воздуховоды в одном месте. Тем не менее, в условиях постоянно растущих цен на энергоносители применение рекуператоров вполне оправдано.

Стоит иметь в виду, что принцип рекуперации (теплоутилизации) может быть применен не только для приточно-вытяжной вентиляции, но и для сохранения тепловой энергии, которая сбрасывается с отходами воды горячего водоснабжения. Но эта тема рассматривается более подробно в курсе «Энергосбережение».

Тепловой коэффициент полезного действия рекуператора

$$\eta = (t_{\text{пр}} - t_{\text{н}}) / (t_{\text{г}} - t_{\text{н}}), \quad (89)$$

где $t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха после прохождения через теплообменник;

$t_{\text{г}}$ – температура удаляемого внутреннего воздуха;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха.

7.11 Воздушно-тепловые завесы

Воздушная или воздушно-тепловая завеса (с подогревом воздуха) – вентиляционное устройство, предотвращающее резкое проникновение (врывание) наружного воздуха в помещение через открытые проемы (двери, ворота) (рисунок 64).

Завесы применяются также для защиты от перетекания воздуха из одного помещения в другое. В последнем случае завеса обеспечивает разделение зон с различными параметрами воздушной среды: температурой, влажностью, уровнем загрязнения

вредными веществами. Воздушно-тепловые завесы могут использоваться также для дополнительного отопления помещений. Наиболее часто воздушно-тепловые завесы устанавливаются на входах во встроенно-пристроенные помещения и у ворот въезда автотранспорта (например, у дебаркадера магазина). Основные элементы воздушно-тепловой завесы показаны на рисунке 64.

Принцип действия завесы заключается в том, что за счет подачи высокоскоростного струйного воздушного потока создается невидимая «преграда», препятствующая перемещению воздушных масс, но не мешающая движению людей и транспортных средств.

Классификация воздушных завес

По *принципу действия* воздушные завесы разделяются на наружного и внутреннего действия. Воздушные завесы **наружного действия** устраиваются у проемов в наружных ограждениях (например, при входе во встроенные офисные помещения) и работают как отсечка.

В последнее время встречаются также проектные решения, в которых у проемов во внутренних ограждениях устанавливаются завесы **внутреннего действия**, которые препятствуют перемещению вредностей с воздушными потоками в «чистые» помещения.

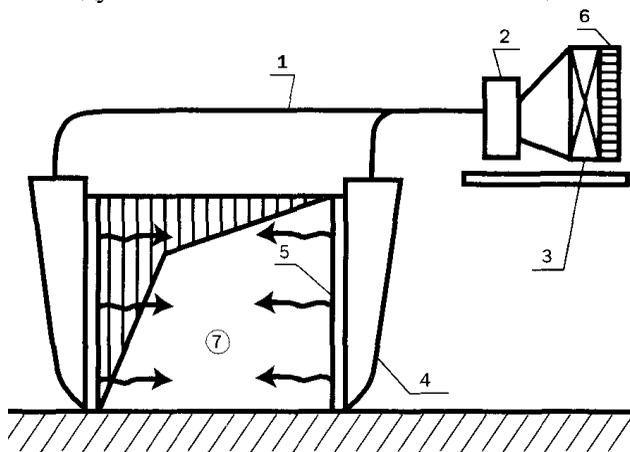


Рисунок 64 – Основные элементы воздушно-тепловой завесы:

- 1 – воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – воздушонагреватель (водяной или электрический); 4 – воздуховод равномерной раздачи;
- 5 – шелевой насадок; 6 – фильтр; 7 – проем в ограждении

По *режиму работы* воздушные завесы бывают периодического и

постоянного действия.

Режим работы воздушных завес определяется требованиями, предъявляемыми к режиму помещений.

Воздушную завесу постоянного действия можно использовать не только по ее прямому назначению, но и для организации притока или вытяжки, а также в качестве воздушно-отопительного агрегата, компенсирующего дополнительные потери теплоты.

По *направлению струи* воздушные завесы можно подразделить на имеющие:

- направление струи снизу вверх, с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную внизу проема;

- горизонтальное направление струи – одно- и двусторонние, с подачей воздуха через вертикальную щель, расположенную с одной или с двух сторон проема;

- направление струи сверху вниз, с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную сверху проема.

Для проемов в наружных ограждениях наиболее целесообразно устройство завес с подачей воздуха снизу вверх, при этом достаточно эффективно предотвращается проникновение холодного воздуха в нижнюю часть помещения, где находятся люди.

По *месту расположения воздухозабора* и температуре подаваемого воздуха t_3 завесы можно классифицировать на имеющие:

- внутренний (из помещения) забор воздуха с температурой t_B и подогрев подаваемого воздуха ($t_3 > t_B$). Такие завесы устраивают у проемов в наружных ограждениях помещений с постоянными рабочими местами, расположенными вблизи ворот или дверей, например в магазинах;

- внутренний воздухозабор без подогрева подаваемого воздуха ($t_3 < t_B$). Обычно применяются у проемов в наружных ограждениях, когда допускается некоторое периодическое понижение температуры помещения;

- наружный воздухозабор и подогрев подаваемого воздуха до температуры помещения ($t_3 = t_B$). Таким образом, устраивают завесы постоянного действия, используемые дополнительно в качестве приточных вентиляционных установок.

По *источнику нагревания воздуха*, подаваемого в помещение завесой, они делятся на водяные (калориферные) и электрические.

По *принципу действия* завесы могут быть шиберующего (отсечного)

и смесительного типов.

В первом случае воздушная струя завесы, уменьшая количество проходящего через проем воздуха, частично шиберует (отсекает) проем, и значение коэффициента расхода воздуха через проем при работе завесы снижается, во втором – обеспечивается смешивание наружного воздуха, поступающего через открытый проем, с воздухом завесы.

Проектирование воздушных и воздушно-тепловых завес следует предусматривать:

– у постоянно открытых проемов и наружных стен помещений, а также у ворот и проёмов в наружных стенах помещений, не имеющих тамбуров и открывающихся более 5 раз или не менее чем на 40 мин в смену;

– наружных дверей вестибюлей общественных, административных и бытовых зданий при количестве человек, проходящих через двери в течение 1 ч, равном 400 чел. и более;

– наружных дверей, ворот и проёмов помещений с мокрым режимом и др. при обосновании [1, п.7.68].

Основными параметрами, характеризующими конкретные модели тепловых завес, являются мощность обогрева, кВт; производительность по воздуху, м³/ч; ширина завесы; тип используемого подогревателя (с электрокалорифером или с водяным калорифером).

Воздушные завесы проектируются при условии возможности поддержания в холодный период года (при расчетных параметрах наружного воздуха Б) во время открывания ворот и дверей температуры воздуха в помещениях на постоянных рабочих местах не ниже 14 °С при легкой работе, 12 °С при работе средней тяжести и 8 °С при тяжелой работе.

При установке воздушных завес температура воздуха на рабочих местах должна удовлетворять санитарным нормам СНБ 4.02.01–03. Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, следует принимать не выше 50 °С у наружных дверей и не выше 70 °С у наружных ворот и проёмов. Скорость выпуска воздуха из щелей или отверстий завес рекомендуется не более 8 м/с у наружных дверей и до 25 м/с у въездных ворот.

Для того чтобы воздушная или тепловая завеса успешно могла справляться со своей задачей, необходимо соблюдать условия:

– длина тепловой завесы, устанавливаемой над дверным проемом,

должна как минимум на 10 см превышать ширину этого проема (для того, чтобы обеспечить полное перекрытие по бокам и не допустить образование щелей справа или слева от проема);

– производительность по воздуху, указываемая в технических характеристиках к воздушным тепловым завесам, должна быть достаточной для того, чтобы эффективный поток воздуха доставал до самого пола, так как только в этом случае можно гарантировать отсутствие сквозняков снизу, которые, в случае их возникновения, способны свести на нет всю работу тепловых завес. Поэтому скорость воздушного потока в нижней части проема должна быть не меньше 5 м/с (для офисных помещений).

Соблюдение этих простых условий позволит обеспечить эффективность работы тепловой или воздушной завесы.

7.12 Механическая вентиляция промышленных зданий

Системами механической вентиляции оборудуются те помещения (здания), где кратность воздухообмена по притоку или вытяжке превышает однократный объем воздуха (приточная или вытяжная).

К категориям зданий, оборудованных механической вентиляцией, относятся, как правило, общественные и административно-бытовые здания, детские учреждения, зрелищные учреждения, предприятия общепита, промышленные предприятия.

Вентиляцию с искусственным побуждением следует предусматривать:

– если метеорологические условия и чистота воздуха не могут быть обеспечены вентиляцией с естественным побуждением;

– для помещения и зон без естественного проветривания.

Расчет вентиляции производственных помещений производится на этапе проектирования здания и сооружения на основе строительных нормативных документов, например, для Республики Беларусь необходимо использовать СНБ 4.02.01-03.

Вентиляция промышленных зданий может быть организована:

– *по способам циркуляции воздуха* в производственных помещениях – механическая или естественная. Система механической вентиляции может быть нескольких типов: вытяжная (для небольших цехов), приточная, приточно-вытяжная (для крупного производства);

– *охвату вентилируемой площади*. Подразделяют на общеобменную и местную вентиляцию, причем, при проектировании обычно

применяется комбинация этих вариантов (рисунок 65).

Использование общеобменной вентиляции производственных помещений позволяет производить регулировку температурного режима. Местная же вентиляция устанавливается на объектах, где в момент рабочего процесса возникает образование технологической пыли или происходит выброс ядовитых веществ;

– *времени действия*. Различают аварийную или постоянную вентиляцию. Аварийная вентиляция должна включаться в работу только в моменты, когда по различным причинам не справляется с негативными факторами основная вентиляция или же когда она может выйти из строя.

Системы вентиляции производственных помещений проектируют, основываясь на следующих параметрах:

- объем и площадь, высота потолков помещения;
- категории операций и работ;
- количество предполагаемых работников в одном помещении;
- продолжительность нахождения в помещении людей;
- уровень загруженности помещения, где будет проводиться производство и другие работы;
- расположение непосредственно рабочих мест сотрудников организации, а также другие факторы;

– по *назначению* вентиляционные системы можно разделить на приточные и вытяжные. *Приточные* системы служат для подачи в вентилируемые помещения чистого воздуха взамен загрязнённого. При этом в необходимых случаях приточный воздух может подвергаться обработке, например, очистке, нагреванию и увлажнению.

К устройствам местной приточной вентиляции относятся воздушные души, воздушные завесы и воздушное отопление.

Воздушным душем называется струя воздуха (подогреваемого зимой и в случае необходимости охлаждаемого летом), направленная непосредственно на человека.

Воздушный оазис представляет собой площадку, отделенную от помещения перегородками, но с открытым верхом. Вводимый в отгороженное пространство охлажденный и поэтому более тяжелый приточный воздух «затопляет» его и через открытый верх переливается в помещение. С помощью воздушного оазиса можно обеспечить нормальные метеорологические условия на локальном участке.

В *системах воздушного отопления* воздух нагревается в калориферах до определённой температуры, а затем подаётся в помещение.

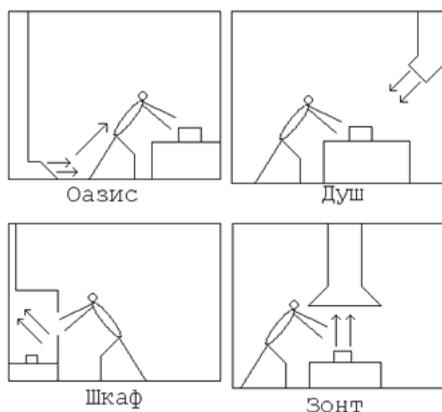


Рисунок 65 – Общие схемы местной механической системы вентиляции

Вытяжная вентиляция служит для удаления из помещения загрязненного или нагретого отработанного воздуха. К вытяжным вентиляционным системам промышленной вентиляции относят системы аспирации или пневматического транспортирования сыпучих материалов, а также отходов производства: пыли, стружек, опилок и пр. Эти материалы перемещают по трубам и каналам потоком воздуха.

Со способами организации воздухообмена связано понятие о воздушном балансе. При равенстве объемов организованного притока и вытяжки воздушный баланс называют уравновешенным.

Если количество организованно подаваемого воздуха больше отводимого и давление в помещении положительное, то и воздушный баланс является положительным. Он изолирует помещение от проникновения в него воздуха снаружи и из соседних помещений, если это необходимо по санитарным или технологическим требованиям

Отрицательным называется воздушный баланс при разрежении в помещении, т. е. в случае, когда воздуха организованно отводится больше, чем подается. Вместе с тем в зимний период отрицательный баланс иногда приводит к выхолаживанию помещения и неприятному дутью через неплотности наружных окон, дверей и ворот.

Поэтому только уравновешенный баланс обеспечивает

автономность воздухообмена данного помещения.

7.13 Оборудование систем вентиляции

Оборудование для систем вентиляции: *вентиляторы, кондиционеры, приточные камеры, воздухонагреватели, рекуператоры (теплоутилизаторы), пылеуловители, фильтры, клапаны, шумоглушители* и др. следует выбирать исходя из расчетного расхода воздуха с учетом подсосов и потерь через неплотности: в оборудовании – по данным завода-изготовителя; в воздуховодах вытяжных систем до вентилятора и приточных систем после вентилятора – в соответствии с требованиями п. 7.117 СНБ 4.02.01–03.

Оборудование вентиляционных систем, предназначенное для обработки воздуха, обычно располагают в специальных камерах [44], к нему относятся следующие:

– вентиляторы – механизмы, предназначенные для перемещения воздуха или других газов. По принципу действия различают вентиляторы осевые, радиальные (центробежные) и диаметральные.

Для перемещения необходимого количества воздуха выбирается производительность вентилятора по таблицам или характеристикам. Исходными данными для выбора вентилятора являются суммарный расход воздуха в сети L , м³/с; суммарная потеря давления Δp , Па, и температура воздуха t_v , °С. Выбор вентилятора производится на расчетный расход с учетом подсосов или утечек:

$$L_p = 1,1L. \quad (90)$$

Давление, создаваемое вентилятором, должно быть равно расчетному сопротивлению сети с 10 % запасом.

Характеристики вентиляторов составлены при плотности воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³, $p_a = 0,103$ МПа, $t = 20$ °С, $\varphi = 50$ %;

– вентиляционные установки по назначению различают приточные, вытяжные и приточно-вытяжные;

– вентиляторные агрегаты разделяются на канальные и крышные;

– шумоглушители (пластинчатые, сотовые, трубчатые);

– воздушные фильтры (тканевые, рулонные, сетчатые и др.);

- воздухонагреватели (электрические, водяные) ;
- воздуховоды (металлические, металлопластиковые, неметаллические, гибкие) ;
- запорные и регулирующие устройства (воздушные клапаны, диафрагмы, обратные клапаны) ;
- воздухораспределители и регулирующие устройства воздухоудаления (решетки, диффузоры, плафоны, насадки с форсунками, щелевые воздухораспределительные устройства, перфорированные панели) ;
- воздушно-тепловые завесы;
- тепловая изоляция.

Классификация систем вентиляции: <http://www.mir-klimata.com / archive/zakaz/article/article03/>

8 КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

8.1 Классификация систем кондиционирования воздуха

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определённом уровне с целью обеспечения, главным образом, оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры.

Кондиционирование воздуха согласно п.7 СНБ 4.02.01–03 подразделяется на три класса:

– I – для обеспечения параметров микроклимата, требуемых для технологического процесса, при экономическом обосновании или в соответствии с требованиями нормативных документов;

– II – для обеспечения параметров микроклимата в пределах оптимальных норм или требуемых для технологических процессов; допускается принимать скорость движения воздуха в обслуживаемой зоне, на постоянных и непостоянных рабочих местах, в пределах допустимых норм;

– III – для обеспечения параметров микроклимата в пределах допустимых норм, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в тёплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха, или оптимальных норм – при экономическом обосновании или на основании задания на проектирование.

Оптимальные климатические параметры в помещениях общественного назначения применительно ко II климатическому поясу (например, Минск, Гомель и др.) составляют: в холодный период года минус 20–22 °С при относительной влажности 30–40 % и скорости движения воздуха 0,2 м/с; в тёплый период года плюс 20–22

°С при относительной влажности 30–60 % и скорости движения воздуха 0,2 м/с или 23–25 °С при той же влажности и скорости движения воздуха 0,3 м/с.

Кондиционирование воздуха подразделяется на **комфортное и технологическое**.

Комфортные системы кондиционирования предназначены для создания и автоматического поддержания температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным санитарно-гигиеническим требованиям.

Технологические системы кондиционирования предназначены для обеспечения параметров воздуха, в максимальной степени отвечающих требованиям производства.

В зависимости от расположения кондиционеров по отношению к обслуживаемым помещениям системы кондиционирования делятся на центральные и местные, а по типу кондиционеров – на автономные и неавтономные.

По давлению, создаваемому вентиляторами кондиционеров, системы кондиционирования делятся на системы *низкого давления* (до 1000 Па), *среднего давления* (от 1000 до 3000 Па) и *высокого давления* (выше 3000 Па).

Системы кондиционирования воздуха, как правило, снабжаются средствами для очистки воздуха от пыли, бактерий и запахов; подогрева, увлажнения и осушения его; перемещения, распределения и автоматического регулирования температуры воздуха, его относительной влажности, а иногда и средствами регулирования газового состава и ионосодержания воздуха, а также средствами дистанционного управления и контроля.

В зависимости от назначения помещения – жилые или производственные – существует несколько типов кондиционеров.

По конструктивному исполнению все кондиционеры делятся на два вида: моноблочные, состоящие из одного блока, и сплит-системы (от англ. split – разделять), состоящие из нескольких блоков. Если сплит-система состоит из трех или более блоков, то она называется мультисплит-системой.

8.2 Типы кондиционеров

В зависимости от области применения все кондиционеры принято делить на три группы:

– *бытовые* (RAC – Room Air Conditions);

– коммерческие (PAC – Packages Air Conditions);
 – системы промышленной вентиляции и кондиционирования воздуха (Unitary).

В каждую группу входят кондиционеры различных типов. Их особенности и области применения приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Особенности различных типов кондиционеров

Характеристики	Группа кондиционеров		
	бытовые	коммерческие	промышленные системы
Типы кондиционеров	Сплит-системы настенного типа. Моноблочные: – мобильные; – оконные	Сплит-системы: – каналные; – кассетные; – потолочные; – колонные; – наборные со всеми типами внутренних блоков	Центральные: – крышные; – шкафные; – прецизионные; – мультизональные VRV и VRF системы; – системы чиллер-фанкойл
Мощность охлаждения, кВт	От 1,5–2 до 8	5 до 30	От 5–10 до 200–5000
Область применения	Отдельные комнаты в квартирах, офисах и коттеджах, а также другие жилые и общественные помещения площадью от 10 до 100 м ²	Квартиры, офисы, коттеджи, торговые залы и другие помещения бытового, общественного и производственного назначения площадью от 50 до 300 м ²	Жилые и административные здания, торговые залы и спортивные ком-плексы площадью свыше 300 м ² , производственные и специализированные помещения
Отличительные особенности	Привлекательный дизайн внутреннего блока кондиционера, снижение уровня шума; максимальное количество дополнительных функций, очистка воздуха. Ресурс кондиционеров составляет 7–12 лет	Они могут иметь некоторые дополнительные функции для привлечения покупателей, при этом ресурс и надежность полупромышленного оборудования существенно выше, чем бытового	Бесперебойное выполнение основных функций – охлаждения (обогрева) и вентиляции. Сложность эксплуатации, энергоэффективность и удельная цена оборудования (в расчете на 1 кВт мощности охлаждения). Ресурс – не менее

			20–30 лет при круглогодичной эксплуатации
--	--	--	---

Приведем краткое описание кондиционеров (таблица 26).

Таблица 26 – Краткое описание некоторых видов кондиционеров

Рисунок	Описание
<i>Моноблочные кондиционеры</i>	
	Оконные – состоят из одного блока (оконные, мобильные и крышные кондиционеры). В таких кондиционерах все элементы размещаются в едином корпусе, что позволяет упростить конструкцию кондиционера и снизить его стоимость
	Мобильный кондиционер (или «напольный кондиционер»). Все части располагаются в одном корпусе, а отвод тепла производится через гибкий воздуховод. У моноблока имеется два отверстия для забора воздуха и два для выброса. Через первое производится забор воздуха для нагрева через конденсатор и удаления его из помещения. Второе предназначено для охлаждения и очистки; для этого воздух проходит через фильтр и испаритель
<i>Сплит-системы</i>	



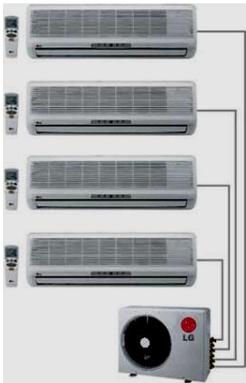
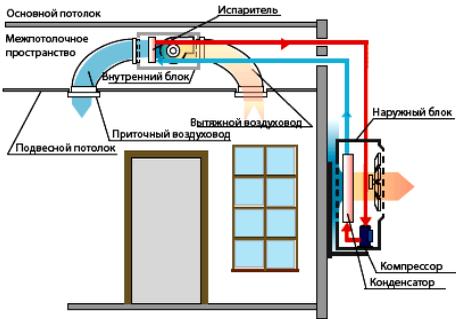
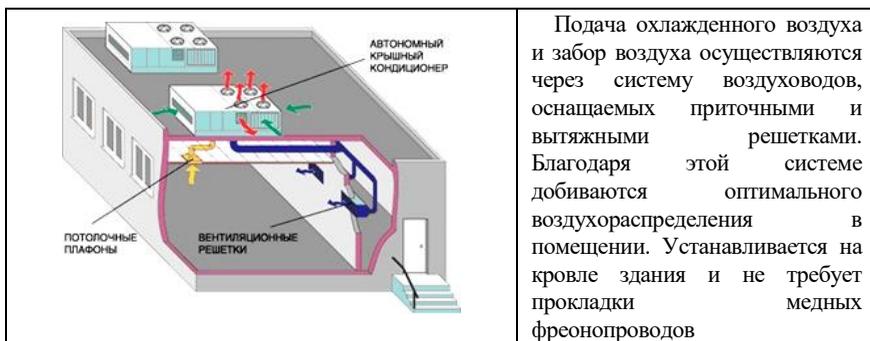
Рисунок	Описание
<i>Мультисплит-системы</i>	
	<p>К одному внешнему блоку подключается несколько внутренних блоков – обычно от 2 до 4–5 штук (каждый внутренний блок управляется индивидуальным пультом управления). При этом внутренние блоки могут быть не только разной мощности (обычно от 2 до 5 кВт), но и разных типов</p>
<i>Канальный кондиционер</i>	
	<p>Устанавливаются за подвесным или подшивным потолком, который полностью скрывает внутренний блок кондиционера. Распределение охлажденного воздуха осуществляется по системе теплоизолированных воздуховодов, которые также размещаются в межпотолочном пространстве. Возможность подачи свежего воздуха</p>
<i>Кассетный кондиционер</i>	
	<p>Скрытая установка, возможность охлаждения больших помещений. Распределяет охлажденный воздух через нижнюю часть блока. Равномерное распределение воздушного потока по четырем направлениям</p>

Рисунок	Описание
<i>Напольно-потолочный кондиционер</i>	
	<p>Возможность установки как на потолке, так и внизу стены. Не нужен подвесной потолок. Не предназначен для скрытой установки. http://www.rfclimat.ru/hm/con_tp.htm</p>
<i>Колонный кондиционер</i>	
	<p>Большая мощность. Не нужен подвесной потолок. Используется там, где требуется большая холодопроизводительность и нет жестких требований к дизайну помещения. Создает сильный поток охлажденного воздуха, который не позволяет находиться в непосредственной близости от кондиционера</p>
<i>Центральный кондиционер</i>	
<p><i>С рекуператором</i></p> 	<p>Является неавтономным, для работы необходим внешний источник холода или тепла – холодная вода от chillера, фреон от внешнего компрессорно-конденсаторного блока, горячая вода от системы центрального отопления или бойлера. Выпускаются в виде набора стандартных модулей (секций): охлаждения, нагрева, вентиляторная, шумоглушения, увлажнения, фильтрации, теплоутилизации. Обработанный воздух по системе воздуховодов распределяется по помещениям</p>

Рисунок	Описание
<i>Система чиллер-фанкойл (chiller-fancoil)</i>	
	<p>Централизованная (мультизональная) система кондиционирования воздуха, в которой теплоносителем между центральной холодильной машиной (чиллером) и локальными теплообменниками (узлами охлаждения воздуха, фанкойлами) служит охлажденная жидкость, циркулирующая под относительно низким давлением — обыкновенная вода (в тропическом климате) или водный раствор этиленгликоля (в умеренном и холодном климате). Кроме чиллера (чиллеров) и фанкойлов, в состав системы входит трубная разводка между ними, насосная станция (гидро-модуль) и подсистема автоматического регулирования. Количество фанкойлов в системе не ограничено и зависит только от мощности чиллера. Для соединения чиллера с фанкойлами используются не дорогие медные фреоновые коммуникации, а обычные водопроводные трубы.</p> <p>http://ru.wikipedia.org/wiki/Система чиллер-фанкойл</p>
<i>Крышные кондиционеры</i>	



Подача охлажденного воздуха и забор воздуха осуществляются через систему воздуховодов, оснащаемых приточными и вытяжными решетками. Благодаря этой системе добиваются оптимального воздушораспределения в помещении. Устанавливается на кровле здания и не требует прокладки медных фреоноводов

8.3 Принцип действия кондиционера

Устройство кондиционера сходно с устройством обычного бытового холодильника: те же основные блоки выполняют сходные функции (рисунок 66). Независимо от конструктивного решения (моноблок или сплит-система) в основу работы и холодильника, и кондиционера положено свойство жидкостей выделять тепло при переходе из газообразной фазы в жидкую (конденсация) и поглощать – при переходе из жидкой в газообразную (испарение).

Наиболее распространенными и удобными для рассмотрения являются сплит-системы – приборы, в которых основные блоки разделены на внешний и внутренний.

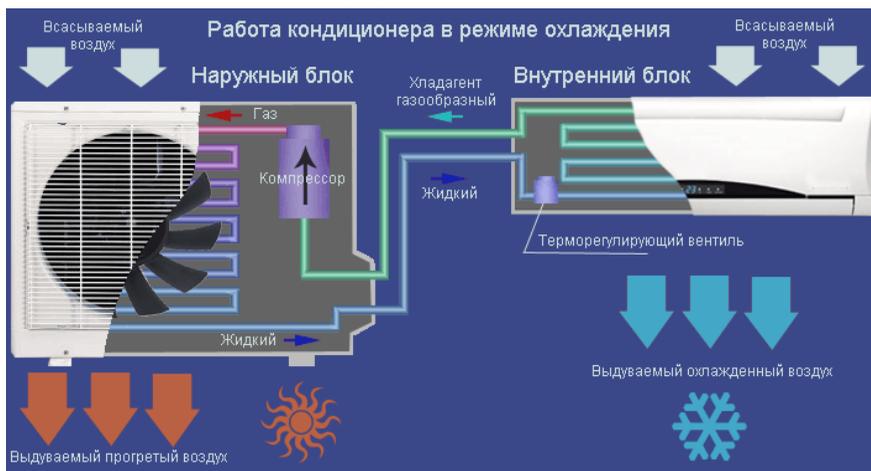


Рисунок 66 – Принципиальная схема работы кондиционера (<http://www.vozduhdome.ru/how.html>)

Теплоносителем в кондиционерах обычно является газ фреон благодаря его сильной зависимости температуры кипения (испарения) от давления.

В компрессор из испарителя подается газообразный фреон под относительно невысоким давлением 3–5 атмосфер и при температуре около 10–20 °С. Компрессор повышает давление фреона до 15–25 атмосфер и направляет его в конденсатор (радиатор наружного блока). В результате сжатия фреон разогревается до температуры 70–90 °С. Конденсатор обдувается вентилятором, охлаждая фреон. Фреон остывает, переходит в жидкую фазу и нагревает воздух.

После выхода из конденсатора жидкий фреон под высоким давлением и при температуре выше окружающего воздуха на 10–20 °С подается на терморегулирующий вентиль (ТРВ), который снижает температуру и давление фреона (при этом часть фреона может испариться). Выйдя из ТРВ, фреон поступает в испаритель, где испаряется с поглощением тепла. Холодный испаритель обдувается вентилятором внутреннего блока, охлаждая, тем самым, воздух в помещении.

После выхода из испарителя фреон вновь поступает в компрессор, и весь цикл повторяется.

8.4 Подбор кондиционеров

Оборудование систем кондиционирования воздуха подбирается для крайних расчетных режимов, какими являются состояние наружного воздуха в теплый и холодный периоды года с учетом внутренних параметров воздуха и количества выделяющихся в помещениях вредных веществ. К ним относятся вредные пары, газы, пыль и электрическое состояние воздушной среды.

В процессе эксплуатации эти условия изменяются, на что система кондиционирования должна отвечать изменениями режима своей работы, осуществляемым системами автоматики.

В технике кондиционирования воздуха применяют качественное и количественное регулирование: *при качественном* изменяются параметры приточного воздуха при его неизменном расходе в системе, *при количественном* требуемое состояние воздушной среды в помещениях достигается изменением расхода воздуха при его неизменных параметрах.

Возможности количественного регулирования ограничены,

поэтому широко применяют качественное регулирование или его сочетание с количественным (в многозональных системах).

Более подробно о расчетах систем кондиционирования воздуха можно ознакомиться в источниках [31, 32].

8.5 Инверторный кондиционер

В современных моделях кондиционеров широко стал применяться **инвертор** – электронный модуль, расположенный в наружном блоке, который позволяет плавно изменять частоту вращения компрессора за счет преобразования постоянного тока в переменный с необходимой частотой.

Первый инверторный кондиционер появился в 1981 году в Японии. Сегодня инверторная технология используется практически у всех производителей климатического оборудования наравне с обычными кондиционерами.

Сравним отличие инверторных кондиционеров от обычных моделей с практической точки зрения (рисунок 67).

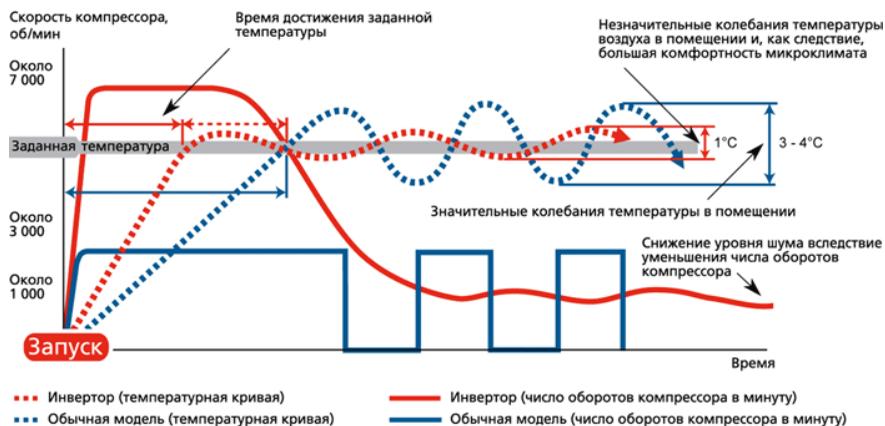


Рисунок 67 – Сравнение технических характеристик обычного и инверторного кондиционеров (http://www.rfclimat.ru/htm/con_ft.htm)

При включении кондиционер с инвертором начинает работать с повышенной мощностью для того, чтобы быстрее достичь заданной температуры. После выхода на заданный температурный режим он не отключается, как обычный кондиционер. Снизив мощность, кондиционер с инвертором длительное время поддерживает нужную

температуру в помещении.

8.6 Расчет мощности кондиционера для внутренних помещений гражданских зданий

Охлаждение внутренних помещений – это основная функция кондиционера, поэтому выбор кондиционера определяется прежде всего мощностью охлаждения. В свою очередь, необходимая мощность кондиционера напрямую зависит от размеров помещения, которое требуется охладить.

Дадим определение основным технико-физическим характеристикам кондиционера.

Холодопроизводительность – количество теплоты, отнимаемое от охлаждаемого объекта в единицу времени с помощью холодильной машины; измеряется в Вт (ккал/ч). Холодопроизводительность зависит от мощности основного оборудования холодильной машины, температурных условий её работы и используемого холодильного агента.

Холодильный агент (хладагент) – рабочее вещество холодильной машины, которое при кипении и в процессе изотермического расширения отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передаёт её охлаждающей среде за счёт конденсации (воде, воздуху и т. п.).

Хладагент является частным случаем теплоносителя. Важным отличием является использование теплоносителей в одном и том же агрегатном состоянии, в то время как хладагенты обычно используют фазовый переход (кипение и конденсацию).

В силу сложившихся традиций, кроме единиц системы СИ, для измерения мощности кондиционера (при работе на охлаждение или нагрев) используют также внесистемную единицу «британская тепловая единица/час» (БТЕ/ч), $1000 \text{ БТЕ/час} = 293 \text{ Вт}$ или «холодильную тонну» (ХТ), которая представляет собой количество энергии, необходимое для поддержания одной тонны воды в замерзшем состоянии в течение 24 часов: $1 \text{ ХТ} = 12000 \text{ БТЕ/ч}$.

Используемые в климатической технике единицы измерения мощности (производительности) связаны между собой соотношениями:

$$1 \text{ Вт} = 3,412 \text{ БТЕ/ч};$$

$$1 \text{ Вт} = 1,163 \text{ ккал/ч};$$

$$1 \text{ БТЕ/ч} = 0,293 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ ккал/ч} = 3,968 \text{ БТЕ/ч}.$$

Для удобства оценки энергоэффективности кондиционеров введена шкала коэффициентов энергоэффективности EER и COP, которая подразделяется на 7 категорий – от А до G. Наибольшему уровню эффективности соответствует категория А ($EER > 3,2$; $COP > 3,6$), а наименьшему – категория G ($EER \leq 2,2$; $COP \leq 2,4$).

Коэффициент энергоэффективности EER (Energy Efficiency Ratio) представляет собой отношение между хладопроизводительностью и потребляемой электроэнергией для ее достижения. Чем выше коэффициент EER, тем выше энергоэффективность.

$EER = \text{Производительность (BTU)} / \text{Мощность потребляемой электроэнергии (Вт)}$.

Коэффициент энергоэффективности COP (Coefficient of Performance) представляет собой отношение между теплопроизводительностью и потребляемой электроэнергией для ее достижения. Чем выше коэффициент COP, тем выше энергоэффективность. Под теплопроизводительностью понимается мощность обогрева агрегата (выраженная в кВт), работающего в режиме нагрева и при полной нагрузке (http://www.ice-a.com/energy_efficiency.htm).

Потребляемая мощность показывает, сколько электроэнергии необходимо прибору для работы.

Мощность охлаждения является основной характеристикой любого кондиционера и определяет, сколько холода получится в результате потребления электроэнергии. Мощность охлаждения в несколько раз превышает мощность, потребляемую кондиционером. Например, кондиционер, потребляющий 700 Вт, имеет мощность охлаждения 2 кВт, и это не должно удивлять, поскольку кондиционер работает так же, как холодильник, хладоноситель (фреон) отбирает теплоту у воздуха в помещении и передает её на улицу через теплообменник (внешний блок кондиционера).

Потребляемая мощность и мощность охлаждения обычно измеряются в соответствии со стандартом ISO 5151 (температура внутри помещения плюс 27 °С, снаружи плюс 35 °С). При изменении этих условий мощность и КПД кондиционера будут меньше (например, при температуре наружного воздуха, равной минус 20 °С мощность кондиционера составит всего 30 % от номинала) ([http://www.xiron.ru / content/view/30460/127/](http://www.xiron.ru/content/view/30460/127/)).

Ориентировочный расчет мощности охлаждения Q (в киловаттах) (хладопроизводительности) производят исходя из рассчитанной

величины теплоизбытков помещения, зная его объем:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (91)$$

где Q_1 – теплопритоки в помещении,

$$Q_1 = V_n q, \quad (92)$$

q – коэффициент теплоотдачи в зависимости от ориентации оконных проёмов и степени их остекления: $q = 30$ – для затененного помещения, $q = 35$ – при средней освещенности; $q = 40$ – для помещений, ориентированных на юг;

Q_2 – тепло людей, находящихся в обслуживаемом кондиционером помещении: от 0,1 кВт – в спокойном состоянии, до 0,3 кВт – при физической нагрузке;

Q_3 – тепловая энергия, выделяемая электроприборами различной мощности: 0,3 кВт – от компьютера; 0,2 кВт – от телевизора; для других приборов – 30 % от максимальной потребляемой мощности.

Мощность выбранного кондиционера должна быть в диапазоне от –5 % до +15 % расчетной мощности Q .

Необходимо отметить, что расчет кондиционера по этой методике является не слишком точным и применим только для небольших помещений в капитальных зданиях: квартиры, отдельные комнаты коттеджей, офисные помещения площадью до 50–70 м².

После определения теплоизбытков помещений выбирается кондиционер с мощностями, близкими к стандартному (таблица 27).

Таблица 27 – Соответствие модельных рядов и мощности кондиционера в ВТУ и кВт

Холодильная мощность, кВт	1,5	2	2,5	3,5	5,5	7	9	10	14	15-17
Стандартные типоразмеры модели, тыс. ВТУ	5	7	9	12	18	24	30	36	48	60
Площадь помещения в усредненном случае, которое может обслужить кондиционер, м ²	16	20	26	35	52	70	80			
Оконные кондиционеры	√	√	√	√	√					
Мобильные кондиционеры и	√	√	√	√	√					

сплит-системы										
Настенные кондиционеры	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Кассетные кондиционеры					✓	✓	✓	✓	✓	✓
Канальные кондиционеры				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Колонные кондиционеры						✓	✓	✓	✓	✓
Напольно-потолочные кондиционеры				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

С точки зрения потребительских возможностей, разница между кондиционерами различных производителей практически отсутствует, и они характеризуются следующими основными режимами и функциями:

- охлаждение и обогрев;
- вентиляция – используется для равномерного распределения воздуха по помещению;
- автоматический режим для поддержания комфортной температуры;
- осушение – уменьшает влажность воздуха;
- очистка воздуха – перед теплообменником внутреннего блока устанавливают один или несколько фильтров;
- системы защиты кондиционера – рестарт, контроль за фильтрами, утечки фреона, автоматическая разморозка, защита по току и от низких температур.

8.7 Проект системы кондиционирования

Если для установки простейшей климатической системы в квартиру обычно не требуется особых расчетов, то оснащение системой кондиционирования воздуха многочисленных офисных или промышленных помещений невозможно без предварительно составленного проекта кондиционирования. Особенности такого проектирования определяются следующими параметрами: климатические условия; параметры помещений; их конфигурация; назначение помещений; особенности расположения воздухопроводов для канальных сплит-систем; индивидуальные потребности.

Любой из проектов кондиционирования наделен уникальными чертами с учетом всех рассматриваемых аспектов. Обычно он включает

не только план размещения климатического оборудования, но и перечень всех деталей и узлов системы климат-контроля. Если система кондиционирования воздуха предназначена для жилых помещений, то ее основная задача – создание комфортного микроклимата для человека. Для промышленного цеха или научной лаборатории более эффективно прецизионное кондиционирование. Кроме оптимизации условий для здоровья людей, системы промышленного кондиционирования воздуха должны создавать наиболее благоприятные атмосферные режимы для работы оборудования и обеспечивать качественную очистку воздуха.

9 ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

9.1 Общие сведения о видах топлива и его свойствах

Топливо – горючие вещества, основной частью которых является углерод, применяемые с целью получения тепловой энергии, выделяемой при их сжигании.

Классификация топлива в зависимости от агрегатного состояния и происхождения приведена в таблице 28.

Таблица 28 – Классификация различных видов топлива

Агрегатное состояние	Происхождение	
	естественное	искусственное
Твердое	Дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Древесный уголь, полукокс, кокс, термоантрацит, брикеты и др.

Жидкое	Нефть	Мазут, соляровое масло, дизельное и моторное топливо, керосин и др.
Газообразное	Газы природный и попутный	Газы коксовый, доменный, сланцевый, генераторный и др.

Топливо может быть природным (естественное) и искусственным, причем природное делится на органическое и неорганическое.

В зависимости от характера использования топливо условно подразделяется на *энергетическое* и *технологическое*. Энергетическое топливо используется в теплоэнергетических установках для получения тепловой и электрической энергии, технологическое топливо – в плавильных и нагревательных печах, топках, сушилках и других установках, а также для химической переработки в различные искусственные виды топлива (кокс, полукокс, генераторный газ и др.).

С развитием атомной энергетики все более широко используется ядерное топливо: ^{235}U , ^{238}U и ^{239}Pu . Ядра этих тяжелых элементов расщепляются под воздействием нейтронов и выделяют при этом значительную энергию в виде теплоты, используемой для производства пара в специальных устройствах – парогенераторах.

Различают *рабочий*, *сухой* (без влаги) и *горючий* (включающий только горючие элементы) составы органического топлива (рисунок 68).

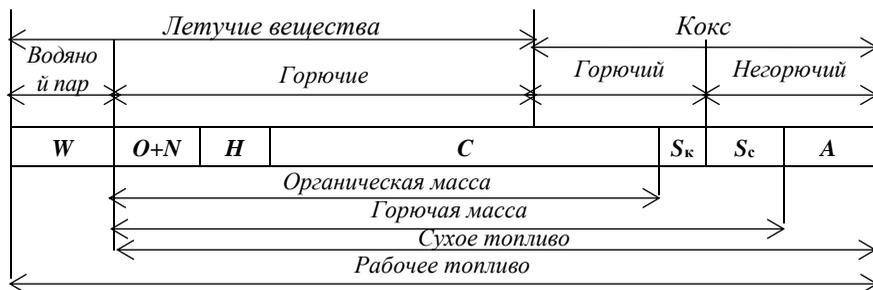


Рисунок 68 – Общий химический состав твердого топлива

Состав твердого и жидкого *рабочих топлив* характеризуется содержанием в нем отдельных химических элементов и веществ и указывается в весовых процентах по рабочей массе:

$$C^P + H^P + S^P + O^P + N^P + A^P + W^P = 100 \%, \quad (93)$$

где C^P , H^P , S^P , O^P , N^P , A^P , W^P – содержание соответственно

углерода, водорода, летучей серы, кислорода, азота, золы, влаги.

Состав газообразного топлива обычно задается в объемных процентах.

Ценность топлива определяется содержанием в нем горючих элементов, главным из которых являются углерод С и водород Н.

Содержание углерода в каменных углях, %, достигает 40–70, мазуте – 84–87, антраците – до 90. Газообразное топливо (природный газ) почти целиком состоит из горючих компонентов: метана CH_4 , углеводородов C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} (этан, пропан, бутан и т.д.).

Важнейшей теплотехнической характеристикой топлива является *теплота сгорания*, т.е. количество теплоты, выделившееся при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м^3 (при нормальных условиях) газообразного топлива.

В большинстве практических случаев продукты сгорания топлива и содержащийся в них водяной пар уходят из установки с температурой, при которой пар не конденсируется, и, следовательно, теплота его парообразования теряется. Поэтому различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива.

Высшей теплотой сгорания $Q_{\text{в}}^{\text{p}}$ называют количество выделившейся теплоты, включая теплоту, затраченную на испарение влаги топлива.

Низшая теплота сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ не учитывает теплоту парообразования.

Поэтому в расчетах используется не высшая, а низшая теплота сгорания топлива. Она определяется экспериментально, приближенно рассчитывается по формулам и приводится в справочниках. Например, теплота сгорания каменных углей составляет 18–30, бурых углей 7–18, мазута 39–40 МДж/кг, природного газа 33–42 МДж/м³.

Для сравнения различных видов топлива введено понятие "условное топливо", низшая теплота сгорания которого составляет 29300 кДж/кг или кДж/м³. В соответствии с этим каждому топливу свойствен свой тепловой эквивалент $\text{Э}_\tau = Q_{\text{н}}^{\text{p}} / 29300$.

9.2 Системы теплоснабжения и потребление тепловой энергии

Под теплоснабжением понимают систему обеспечения тепловой энергией зданий и сооружений. Она состоит из трех основных элементов: источника теплоты (ТЭЦ или котельной), трубопроводов (тепловых сетей) и потребителей теплоты (гражданские и

промышленные здания и сооружения, системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения).

По источнику приготовления теплоты системы теплоснабжения разделяются:

– на *централизованные*, состоящей из одного или нескольких источников теплоты (ТЭЦ, ТЭС, АЭС, районные котельные), тепловых сетей и потребителей теплоты. Централизованные системы характеризуются пониженными удельными расходами топлива на выработку тепловой энергии, возможностью использования низкосортного топлива, улучшения санитарного состояния населенных мест, уменьшения степени загрязнения воздушного бассейна;

– *децентрализованные*, состоящей из одного или нескольких источников теплоты (автономных, отдельно стоящих, встроенных, пристроенных, крышных котельных, от квартирных теплогенераторов) и потребителей теплоты [50].

Теплофикация, т.е. централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепла и электроэнергии, является высшей формой централизованного теплоснабжения.

Для централизованного теплоснабжения используются два типа источников тепла: теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и районные котельные.

На ТЭЦ осуществляется комбинированная выработка тепла и электроэнергии, обеспечивающая существенное снижение удельных расходов топлива. При этом сначала теплота рабочего тела – водяного пара – используется для получения электроэнергии при расширении пара в турбинах, а затем оставшаяся теплота отработанного пара – для нагрева воды в теплообменниках, которые составляют теплофикационное оборудование ТЭЦ. Горячая вода применяется для теплоснабжения.

Таким образом, на ТЭЦ тепловая энергия высокого потенциала используется для выработки электроэнергии, а теплота низкого потенциала – для теплоснабжения. В этом состоит энергетический смысл комбинированной выработки теплоты и электроэнергии (рисунок 69).

К теплофикационным паровым турбинам относятся турбины с противодавлением, с регулируемым отбором пара, а также с отбором и противодавлением.

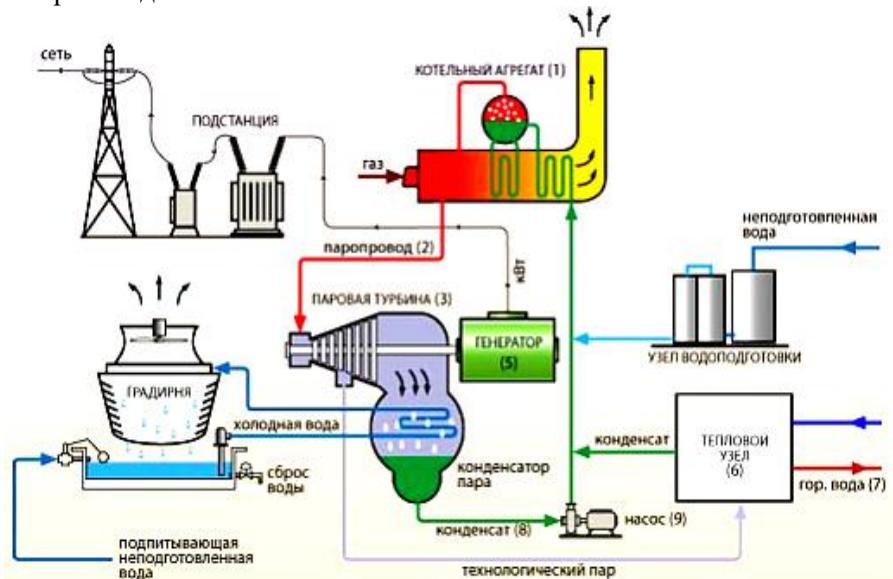


Рисунок 69 – Схема работы теплофикационной турбины
<http://manbw.ru/analytics/steam-turbines.html>

Пояснения к схеме работы теплофикационной турбины

Перегретый (острый) пар из котельного агрегата (1) по паропроводу (2) направляется на рабочие лопатки цилиндра высокого давления (ЦВД) паровой турбины (3). При расширении кинетическая энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора турбины, который соединен с валом (4) электрического генератора (5). В процессе расширения пара из цилиндров среднего давления производятся теплофикационные отборы, и из них пар направляется в подогреватели (6) сетевой воды (7). Отработанный пар из последней ступени попадает в конденсатор, где и происходит его конденсация, а затем по трубопроводу (8) направляется обратно в котельный агрегат при помощи насоса (9). Часть теплоты, полученной в котле, используется для подогрева сетевой воды.

При раздельной их выработке электроэнергию получают на конденсационных станциях (КЭС), а тепловую – в котельных.

Характеристикой теплосиловых установок (ТЭЦ), вырабатывающих электрическую и тепловую энергию, служит коэффициент использования теплоты

$$\eta_q = (l_3 + q_2) / q_1, \quad (94)$$

где l_3 – работа цикла, используемая до получения электрической энергии;

q_2 – теплота, отпускаемая потребителю;

q_1 – подведенная теплота от источника.

Эффективность топлива, сжигаемого в паросиловой установке, можно повысить, если удаляемую теплоту использовать для отопления и горячего водоснабжения или для различных технологических процессов.

По **роду теплоносителя** различают *паровые и водяные* системы теплоснабжения.

Паровые системы используются в основном на промышленных предприятиях, где требуется высокотемпературная нагрузка.

Водяные системы применяются для теплоснабжения сезонных потребителей, в том числе для горячего водоснабжения круглогодично.

По **характеру тепловых нагрузок** различают *сезонных и постоянных потребителей*. К *сезонным* относятся системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, тепловые нагрузки которых изменяются в соответствии с температурой наружного воздуха. Они имеют постоянную нагрузку в течение суток и переменную во времени года. К *постоянным* потребителям относятся производственные, а также системы горячего водоснабжения жилых и общественных зданий. Они характеризуются переменностью суточной нагрузки. Примерное разделение потребителей теплоты представлено на рисунке 70.



Рисунок 70 – Основные потребители тепловой энергии

Все виды тепловых нагрузок в большей или меньшей степени изменяются как в течение суток, так и в течение года. Эти изменения обусловлены следующими факторами:

- изменениями температуры наружного воздуха;
- бытовыми и производственными режимами потребителей.

Схема теплоснабжения должна соответствовать требованиям технических нормативных правовых актов (ТНПА) Республики Беларусь в части показателей энергоэффективности и обеспечивать нормативный уровень потребления тепловой энергии зданиями и сооружениями, соблюдение требований экологии, безопасность эксплуатации [15, 16, 17, 21].

9.3 Классификация тепловых сетей

Тепловая энергия в виде горячей воды или пара транспортируется от ТЭЦ или котельной к потребителям (к жилым домам, общественным зданиям и промышленным предприятиям) по специальным трубопроводам, называемым **тепловыми сетями**. Трасса тепловых сетей в городах и других населенных пунктах должна предусматриваться в отведенных для инженерных сетей технических полосах.

Тепловые сети в целом, особенно магистральные, являются серьезным и ответственным сооружением [16]. Их стоимость по сравнению с затратами на строительство ТЭЦ составляет значительную часть.

Тепловые сети классифицируются [34]:

- на *магистральные*, прокладываемые от тепловой станции в

направлениях к районам населенного пункта, *распределительные* – внутри квартала, микрорайона, и *ответвления* к отдельным зданиям;

– **числу труб:** *однотрубные, двухтрубные и четырехтрубные;*

– **способу обеспечения горячим водоснабжением:** *закрытые и открытые;*

– **способу прокладки:** *надземные и подземные;*

– **способу регулирования:** *качественное, количественное и качественно-количественное.*

Схемы тепловых сетей применяют, как правило, *лучевые* (рисунок 71). Во избежание перерывов в снабжении теплом потребителя предусматривают соединение отдельных магистральных сетей между собой, а также устройство перемычек между ответвлениями. Радиус действия тепловых сетей во многих городах достигает значительной величины (15 км и более). В больших городах при наличии нескольких крупных источников теплоты сооружают более сложные тепловые сети по *кольцевой схеме* (рисунок 72).

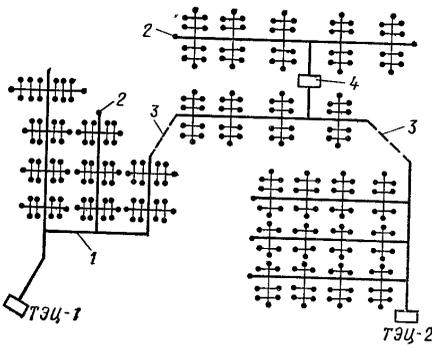
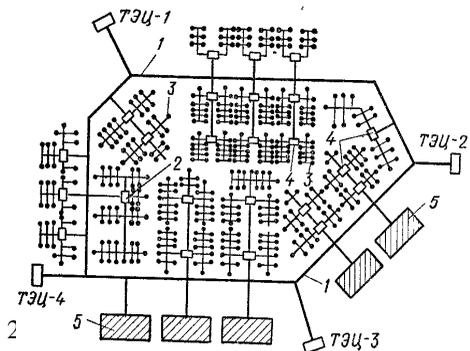


Рисунок 71 – Схема лучевой тепловой сети:

- 1 – лучевые магистрали;
- 2 – потребители тепла;
- 3 – перемычки;
- 4 – котельная

Рисунок 72 – Схема кольцевой тепловой сети:
 1 – кольцевая магистраль;
 2 – котельная; 3 – потребители тепла,
 4 – центральный тепловой пункт (ЦТП);
 5 – промышленные предприятия



В зависимости от вида теплоносителя тепловые сети делятся на **водяные и паровые**. Водяные сети разделяются на **закрытые и открытые**. В *закрытых* сетях вся вода возвращается к источнику теплоснабжения, в *открытых* вода разбирается потребителями на горячее водоснабжение. Качество воды в открытой тепловой сети должно отвечать требованиям СанПиН 10-13 РБ 99 «Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества» [13].

Паровые сети устраивают преимущественно **двухтрубными**. Возврат конденсата осуществляется по отдельной трубе – конденсаторопроводу. Пар от ТЭЦ по паропроводу со скоростью 40–50 м/с и более идет к месту потребления. В тех случаях, когда пар используется в теплообменниках, конденсат его собирается в конденсационных баках, откуда насосами по конденсаторопроводу возвращается к источнику теплоты.

9.4 Способы прокладки тепловых сетей

Надземная прокладка труб (на отдельно стоящих мачтах или эстакадах, на кронштейнах, заделываемых в стены здания) применяется на территориях промышленных предприятий, при сооружении тепловых сетей вне черты города, при пересечении оврагов и т.д.

Надземная прокладка тепловых сетей осуществляется в основном в пригородных застройках.

Преобладающим способом прокладки труб тепловых сетей является **подземная прокладка**: в проходных каналах и коллекторах совместно с другими коммуникациями, в полупроходных и непроходных каналах, бесканальная (в защитных оболочках различной формы и с засыпкой теплоизоляцией).

Прокладка нескольких теплопроводов больших диаметров по техническому обоснованию производится в *проходных каналах*.

Бесканальный способ прокладки тепловых сетей широко применяют в настоящее время при реконструкции старых и строительстве новых тепловых сетей с использованием **предызолированных труб**.

Потери теплоты в системах централизованного теплоснабжения на пространстве СНГ достигают 20–40 % из-за высокой степени изношенности существующих на сегодня теплотрасс, которые превысили свой нормативный срок службы.

Наиболее эффективным решением проблем является широкое внедрение в практику строительства тепловых сетей предварительно изолированных (ПИ) труб. Они представляют собой цельную, с улучшенными тепло- и гидроизоляционными свойствами конструкцию, состоящую из внутренней стальной или полимерной трубы, наружной полиэтиленовой или оцинкованной и заполняющим пространство между ними пенополиуретаном [7].

Сегодня во многих сферах топливно-энергетического комплекса Беларуси (от сетей теплоснабжения и систем подачи-транспортировки горячей воды до технологических трубопроводов) они вытесняют собой популярные в прошлом трубомагистрали с минеральной ватой в качестве теплоизоляционного материала.

ТКП 45-4.02-182–2009 (02250) «Тепловые сети. Строительные нормы и правила» устанавливает основные правила проектирования тепловых сетей в части их взаимодействия в едином технологическом процессе производства, распределения, транспортирования и потребления теплоты. Документ узаконил все наработки и нововведения, которые появились в отрасли за последние годы.

Стандартный метод строительства теплотрассы – канальная прокладка. При использовании этого способа для строительства теплотрассы труба укладывается в предварительно установленный в земле железобетонный канал. Канал теплотрассы может быть лотковый или монолитный (рисунок 73, а).

В настоящее время все чаще используется бесканальная прокладка трубопровода теплотрассы (теплосети). Этот способ не требует строительства железобетонного канала [15, 17]. В данном случае труба укладывается в траншею, выровненную песком. Этот метод возможен при использовании предизолированных труб, покрытых пенополиуретаном (ППУ) в ПЭ (полиэтиленовая оболочка) изоляции по ТКП (рисунок 73, б) [6].

При бесканальной прокладке труб в ППУ изоляции необходимо грамотно произвести изоляцию стыков труб, желательнее с использованием термоусаживающихся муфт, термокля и жидких

компонентов ППУ. Также при необходимости следует установить все элементы системы оперативного дистанционного контроля (СОДК) для отслеживания исправности трубопровода и контроля протечек.

Трубы в ППУ изоляции существуют и для надземной прокладки и имеют оболочку изоляции из оцинкованной стали (рисунок 73, в).

Для бесканальной прокладки кроме труб в ППУ изоляции применяют трубы типа Изопрофлекс, Касафлекс и др. (рисунок 73, г).

При прокладке в непроходных каналах ПИ трубы укладывают на скользящие опоры, при этом расчет теплотрасс производится аналогично расчетам теплопроводов, изолированных минеральной ватой или другими теплоизоляционными материалами.

При прокладке труб в траншее необходимо выдерживать минимальное расстояние между ними (рисунок 74) [47].

Прокладка ПИ труб осуществляется подготовленными специалистами с соблюдением всех норм и рекомендаций, с полной герметизацией изоляционного слоя на стыках труб и на присоединениях к фасонным изделиям.

а)



<http://teplotehniku.ru/teplovie-seti/vidi-teplovich-setey.html>

б)



http://www.stscom.ru/sts/product/?id_product=197

в)

г)



<http://dion-11.ru/teploseti>

Рисунок 73 – Варианты различной прокладки теплопроводов:
a – в железобетонном канале; *б*, *г* – бесканальная; *в* – надземная

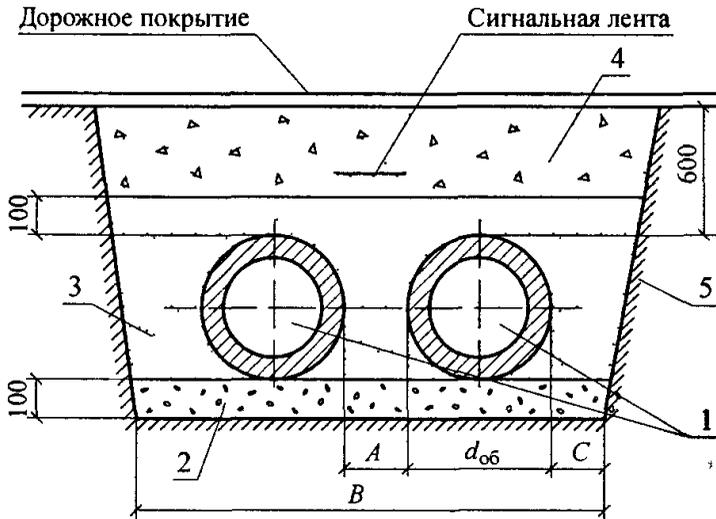


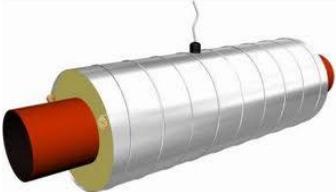
Рисунок 74 – Расположение труб в траншее:
 1 – ПИ труба; 2 – песчаная подушка; 3 – засыпка песком;
 4 – засыпка песчано-грунтовой; 5 – окружающий грунт

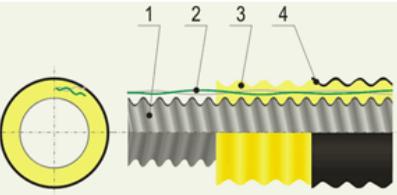
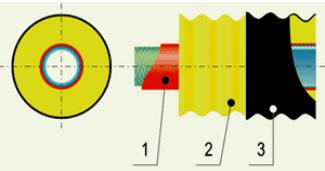
Таблица 29 – Краткое описание предизолированных труб, используемых для прокладки тепловых сетей

Изображение трубы	Вид прокладки, максимальная рабочая температура и давление в сети
-------------------	---

<p>Трубы <i>стальные</i> (черные или оцинкованные), предварительно термоизолированные жестким пенополиуретаном (далее — ПИ трубы) в <i>полиэтиленовой трубе-оболочке</i>, оснащенные системой оперативного дистанционного контроля (далее — СОДК)</p>	
 <p>теплоизоляция из пенополиуретана сигнальный провод системы оперативного дистанционного контроля (ОДК) защитная оболочка из полиэтилена стальная труба</p>	<p>Подземная. Т1 до 150 °С р – до 1,6 МПа http://www.trubarm.com/trubippuiz_olacijamenu.html</p>

Окончание таблицы 29

Изображение трубы	Вид прокладк, и максимальная рабочая температура и давление в сети
ПИ трубы в <i>оцинкованной трубе-оболочке</i> , оснащенные СОДК	
	<p>Надземная. Т1 до 150 °С р – до 1,6 МПа http://gsiz.by/GrodnoGazStroy_Katalog1.pdf</p>
Гибкие трубы из <i>нержавеющей стали</i> , предварительно термоизолированные пенополиуретаном в <i>полиэтиленовой оболочке</i> (далее – ГСИ трубы), оснащенные СОДК	

 <p>1 – напорная гофрированная труба; 2 – сигнальные проводники; 3 – теплоизоляция из пенополиуретана; 4 – защитная гофрированная оболочка из полиэтилена</p>	<p>Подземная. Т1 до 120 –150 °С р – до 1,0 МПа http://betp.by/index.php?menu=3&sub1=29&lan=ru. БелЕвроТрубПласт</p>
<p>Гибкие <i>полимерные</i> трубы, предварительно термоизолированные пенополиуретаном в <i>полиэтиленовой</i> оболочке (далее — ГПИ трубы), без СОДК</p>	
 <p>1 – напорная труба из сшитого полиэтилена "ДЖИ-ПЕКС", армированная кевларовой нитью; 2 – теплоизоляция; 3 – защитная оболочка из полиэтилена</p>	<p>Подземная. Т1 до 95 °С р – до 1,0 МПа http://betp.by/index.php?menu=3&sub1=29&lan=ru. БелЕвроТрубПласт Трубы ИЗОПРОФЛЕКС</p>

В качестве защитной наружной оболочки для *подземной прокладки* применяется полиэтиленовая труба, изготовленная из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) плотностью не менее 944 кг/м³, с коэффициентом теплопроводности λ не более 0,3 Вт/(м·°С); для *воздушной надземной прокладки* – оболочка из оцинкованной стали толщиной 0,55–1,0 мм поверх полиэтиленовой трубы, которая выполняет функцию гидрозащиты от грунтовых вод или атмосферной влаги. Защитная оболочка позволяет исключить наружную коррозию трубопроводов.

В качестве теплоизолирующего материала используется вспененный пенополиуретан (ППУ) плотностью не менее 60 кг/м³ с коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 0,033$ Вт/(м·°С). ППУ изоляция на стальные трубы наносится в заводских условиях с

помощью специальных заливочных машин. Места стыков труб изолируются термоусаживающими манжетами с заливкой в них компонентов ППУ на месте монтажа [15].

ПИ теплопроводы оборудуются электронной системой аварийной сигнализации или системой оперативного дистанционного контроля (СОДК), которая позволяет с точностью до 1 метра обнаруживать места с повышенной влажностью изоляции (нарушение герметичности) и утечек теплоносителя и при необходимости принимать меры по своевременному устранению неисправностей и повреждений.

ПИ трубы производятся диаметром от 25 до 1020 мм с полной комплектацией фасонными частями. Для удобства сварки стальных труб и последующей герметизации гидрозакщитной оболочки концы труб имеют неизолированные участки длиной 150 мм (до диаметра 219 мм) или 250 мм для остальных диаметров.

При установке на предизолированных трубопроводах шаровых кранов устройство камер для их обслуживания не требуется. Управление шаровыми кранами (клапанами) осуществляется через коверы съемным механизмом (ключом).

Производство ПИ труб обеспечивает надежное сцепление между наружной поверхностью металлической трубы с пенополиуретановой изоляцией и внутренней поверхностью наружной полиэтиленовой оболочки, которые при изменении температуры теплоносителя перемещаются совместно. При бесканальной прокладке теплотрассы значительная часть возникающих при этом усилий погашается за счет трения между наружной оболочкой трубы и грунтом.

9.5 Строительные работы, выполняемые при прокладке тепловых сетей

При строительстве новых и реконструкции действующих тепловых сетей следует руководствоваться порядком, предусмотренным ТКП 45-4.02-89-2007, СНиП 3.01.01, СНиП 3.05.03 и СНиП 3.05.05 и требованиями других действующих технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства.

Монтаж тепловых сетей включает следующие основные этапы:

- разбивку трассы;

- транспортирование ПИ труб и их хранение;
- земляные работы;
- раскладку ПИ труб;
- сборку и сварку стальных труб и деталей;
- устройство неподвижных опор;
- монтаж компенсационных устройств;
- устройство соединительных швов;
- монтаж запорной арматуры трубопровода;
- монтаж СОДК;
- контроль качества выполненных работ;
- предварительный нагрев трубопровода;
- подачу теплоносителя, комплексное опробование и приемку сети.

Строительные работы должны осуществляться в соответствии с технологическими картами (с использованием типовой документации) на выполнение видов работ с включением схем операционного контроля качества, описанием методов производства работ, с указанием трудозатрат и потребности в материалах, машинах, оснастке, приспособлениях и средствах защиты работающих.

9.6 Присоединение потребителей к тепловым сетям

Присоединение новых потребителей тепловой энергии к тепловым сетям энергоснабжающей организации, подключение реконструируемых и ранее отключенных объектов, теплопроводов и систем теплоснабжения, изменение количества потребляемой тепловой энергии или параметров теплоносителей допускаются только с разрешения энергоснабжающей организации после выполнения технических условий и заключения договора на пользование тепловой энергией (или внесения в него соответствующих изменений).

Энергоснабжающей организацией в Республике Беларусь является Министерство топлива и энергетики, имеющее на своем балансе источники теплоты и тепловые сети и осуществляющее снабжение потребителей тепловой энергией. К ним относятся юридические лица, теплоустановки и тепловые сети которых присоединены к системе теплоснабжения энергоснабжающей организации.

Теплоустановка – комплекс устройств, использующих тепловую

энергию для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических нужд.

Все потребители тепловой энергии для коммерческих расчетов с энергоснабжающей организацией должны быть обеспечены приборами учета, установленными на узлах учета.

Узел учета – комплект приборов и устройств, обеспечивающих учет тепловой энергии, контроль и регистрацию параметров теплоносителя. Коммерческий прибор учета тепловой энергии – прибор учета, на основании показаний которого определяется расход тепловой энергии абонентом, подлежащий оплате.

Узлы учета тепловой энергии оборудуются приборами, зарегистрированными в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь, прошедшими метрологическую аттестацию и установленными в соответствии с требованиями Правил учета отпуска тепловой энергии и действующей нормативно-технической документацией.

В 2012 году в Республике Беларусь принят нормативный документ в виде технического кодекса установившейся практики ТКП 411–2012 (02230) Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. Он устанавливает правила учета и регистрации отпуска и потребления тепловой энергии и теплоносителя и распространяется на теплоисточники (ТЭЦ, котельные и др.), энергоснабжающие организации, потребителей тепловой энергии и теплоносителя. Требования технического кодекса обязательны для применения организациями всех форм собственности и подчиненности, индивидуальными предпринимателями и физическими лицами при коммерческих расчетах за произведенную и потребленную тепловую энергию и теплоноситель независимо от установленной мощности теплоисточника и присоединенной тепловой нагрузки потребителя.

Подключение к тепловым сетям энергоснабжающей организации потребителей, не имеющих приборов учета для расчетов за тепловую энергию, запрещается.

9.7 Регулирование расхода теплоты в системах отопления

Отопление жилых зданий следует проектировать, обеспечивая *регулирование и учет расхода теплоты на отопление* каждой квартирой, группами помещений общественного и другого назначения,

расположенными в доме, а также зданием в целом.

Для определения расхода теплоты каждой квартирой [41] (с учетом показаний общего счетчика) в жилых зданиях следует предусматривать:

- установку счетчика расхода теплоты для каждой квартиры при устройстве поквартирных систем отопления с горизонтальной (лучевой) разводкой труб;

- устройство поквартирного учета теплоты индикаторами расхода теплоты на каждом отопительном приборе в системе отопления с общими стояками для нескольких квартир, в том числе в системе поквартирного отопления;

- установку общего счетчика расхода теплоты для здания в целом с организацией поквартирного учета теплоты пропорционально отапливаемой площади квартир или другим показателям.

Одним из эффективных энергосберегающих мероприятий является регулирование температуры воды, подаваемой в системы отопления, в соответствии с температурой наружного воздуха.

Выбор оптимального температурного графика водяной тепловой сети осуществляется при проектировании системы теплоснабжения на основании технико-экономических расчетов.

Температура воды в системе отопления должна поддерживаться в зависимости от фактической температуры наружного воздуха по **температурному графику**, который разрабатывается специалистами-теплотехниками проектных и энергоснабжающих организаций по специальной методике для каждого источника теплоснабжения с учетом конкретных местных условий. Эти графики должны разрабатываться исходя из требования, чтобы в холодный период года в жилых комнатах поддерживалась оптимальная температура, равная 20–22 °С.

При расчетах графика учитываются потери теплоты (температуры воды) на участке от источника теплоснабжения до жилых домов.

Температурные графики должны быть составлены как для теплосети на выходе из источника теплоснабжения (котельной, ТЭЦ), так и для трубопроводов после тепловых пунктов жилых домов (групп домов), т. е. непосредственно на входе в систему отопления дома.

Например, электронный регулятор расхода тепла «Рацион-Комфорт» предназначен для автоматического регулирования *расхода теплоты в системах отопления по заданному отопительному графику* в зависимости от температуры t_n , автоматического поддержания температуры воды в системах горячего водоснабжения и температуры воздуха в системах вентиляции.

Регулятор может работать автономно или в составе многоуровневых систем управления с использованием внутренней шины связи ECL485 (рисунок 75).

Регулятор рассчитан на эксплуатацию в закрытых взрывобезопасных помещениях с температурой окружающей среды от $+0$ до $+50$ °С, относительная влажность воздуха не должна превышать 80 % при температуре $+35$ °С. Регулятор состоит из микропроцессорного блока управления производства фирмы «Danfoss» (Дания), датчиков температуры производства фирмы «Danfoss» (Дания) или НПО «Энергоприбор» (РБ), а также одного или двух клапанов регулирующих седельных (d_y 15, 20, 25, 32, 40, 50, 80) производства ПО «Термоблок». В зависимости от количества автоматизируемых систем регулятор может быть одно- или двухконтурным.

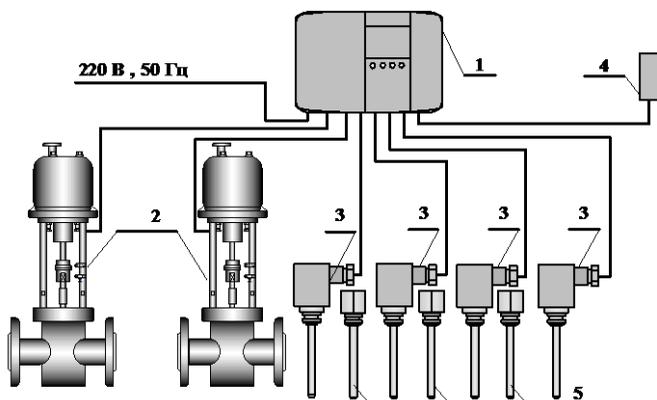


Рисунок 75 – Общий вид регулятора «Рацион-Комфорт» 2 для отопления и горячего водоснабжения (ТУ РБ 100897042.018-2000):

- 1 – блок управления регулятором;
- 2 – клапан регулирующий седельный с электроприводом;
- 3 – датчик температуры погружной;
- 4 – датчик температуры наружного воздуха;
- 5 – гильза защитная

<http://stroyenergo.by/ru/regulyator-rashoda-tepla-ratsion-komfort-obschaya-informatsiya.html>

(Строительный холдинг «Стройэнерго» ПО Термоблок)

Маркировка регулятора зависит от его назначения, цифры «1» или «2» указывают на количество контуров, буква «Н» – на наличие функции управления насосами, буквы «О», «В» или «ГВ» – на сокращенное название систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения для каждого контура.

Регулятор должен иметь Сертификат соответствия Госстандарта РБ и удостоверение о государственной гигиенической регистрации.

Принцип работы регулятора для контура отопления заключается в следующем. Блок управления с помощью датчиков температуры определяет температуру теплоносителя, поступающего в систему отопления, и температуру наружного воздуха (рисунок 76).

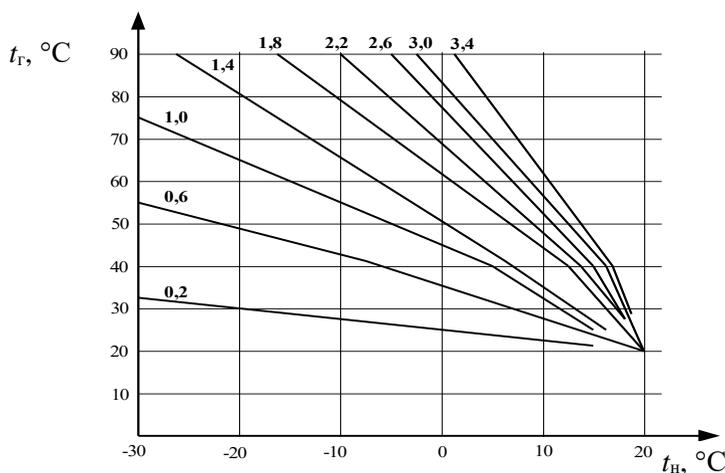


Рисунок 76 – График зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха

На основании выбранного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления t_r , от температуры наружного воздуха t_n блок управления определяет требуемое значение температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления (рисунок 77).

Блок управления 1 формирует управляющий сигнал на открытие регулирующего клапана М1, когда значение температуры теплоносителя S3, поступающего в систему отопления, ниже

требуемого значения. Блок управления формирует управляющий сигнал на закрытие регулирующего клапана, когда значение температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, выше требуемого значения. Блок управления имеет возможность чередовать режимы поддержания комфортной и пониженной температуры теплоносителя в системе отопления по заранее установленной недельной программе.

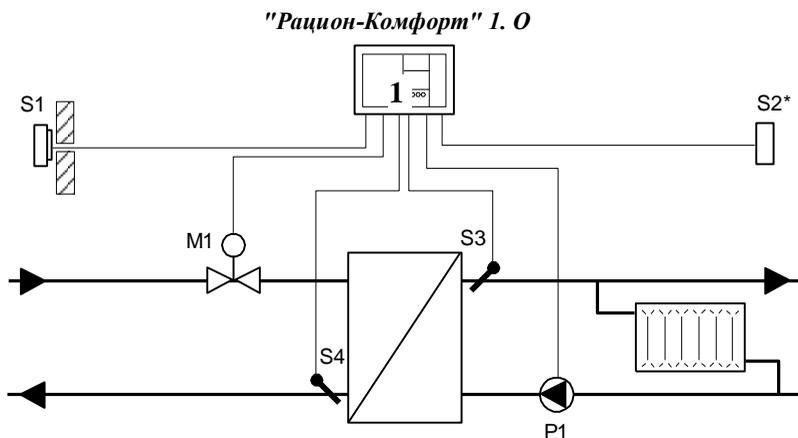


Рисунок 77 – Схема установки регулятора "Рацион – Комфорт" 1.0 для одной системы отопления с независимым присоединением к тепловой сети через пластинчатый теплообменник:

1 – блок управления; S1 и S2 – датчики температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно; S3 и S4 – датчики температуры горячего (для отопления) и охлажденного (сетового) теплоносителей соответственно; M1 – регулирующий клапан; P1 – циркуляционный насос

Принцип работы регулятора для системы вентиляции заключается в следующем. Блок управления с помощью датчика температуры определяет температуру воздуха в помещении или воздуховоде и сравнивает ее с заданным значением. Блок управления формирует управляющий сигнал на открытие регулирующего клапана, когда значение температуры воздуха ниже требуемого значения. Блок управления формирует управляющий сигнал на закрытие регулирующего клапана, когда значение температуры воздуха выше требуемого значения. Блок управления имеет возможность чередовать режимы поддержания комфортной и

пониженной температуры воздуха в помещении по заранее установленной недельной программе.

9.8 Тепловой пункт системы водяного отопления

Тепловой пункт согласно ТКП 45-4.02-183-2009 – это комплекс трубопроводов, запорной арматуры, оборудования и приборов, обеспечивающий присоединение систем теплоснабжения к тепловым сетям. Наиболее популярной схемой присоединения систем отопления жилых зданий к тепловым сетям является схема через *центральный тепловой пункт* (ЦТП), который обслуживает группу жилых и общественных зданий.

В последнее время получило распространение подсоединение жилых зданий к теплосетям через *индивидуальный тепловой пункт* (ИТП) [31] для одного здания или его части. В ИТП вода на нужды отопления и горячего водоснабжения приготавливается в пластинчатых теплообменниках (рисунок 78), установленных непосредственно в здании. Теплообменники пластинчатые предназначены для осуществления процессов теплообмена в системах отопления и горячего водоснабжения жилых, административных и промышленных зданий, а также могут быть использованы в различных технологических процессах [35, 36].

Теплообменники собираются из унифицированных узлов и деталей и по компоновке пластин (секций) могут быть следующих исполнений: **1х** – одноходовой; **2х** – двухходовой; **3хЦ** – трехходовой для ГВС с циркуляционной линией; **2хБГВ** – двухходовой для ГВС, подсоединенной к тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме.

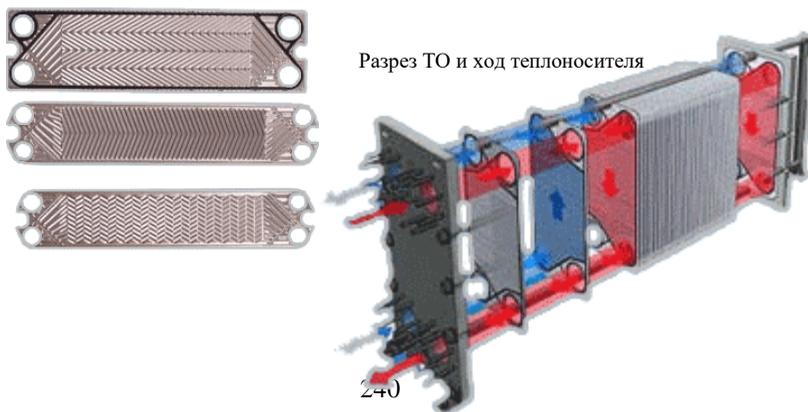


Рисунок 78 – Сборка пластинчатого теплообменника

Блочные тепловые пункты (БТП) предназначены для присоединения к тепловым сетям систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий различного назначения. БТП представляют собой комплекс, состоящий из оборудования, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов, арматуры, средств автоматизации и электротехнических изделий. БТП поставляются в полностью законченном виде укрупненными модулями. Отдельные пластины могут быть собраны на месте монтажа в различной конфигурации модулей (рисунок 79).

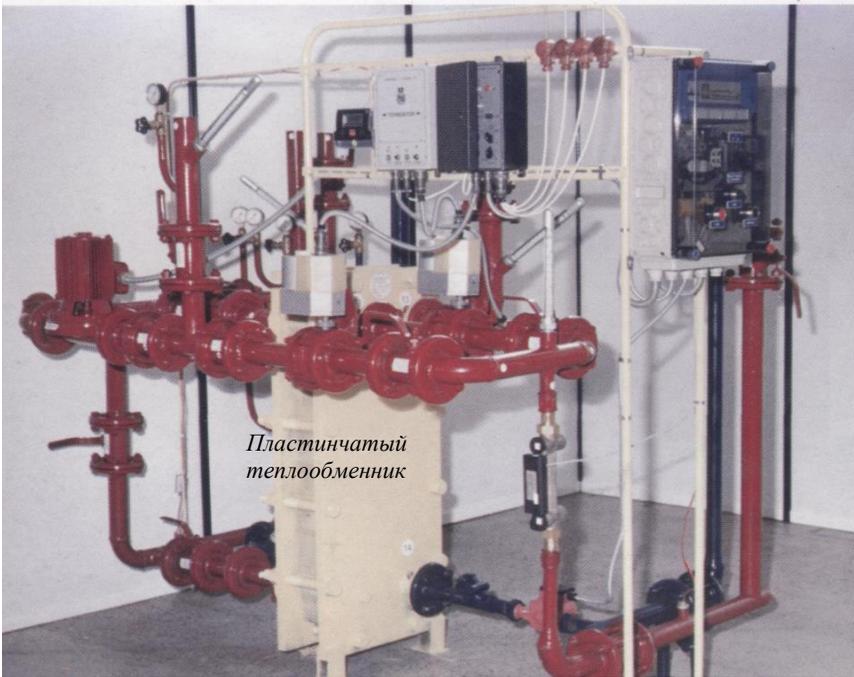


Рисунок 79 – Общий вид блочного индивидуального теплового пункта

[<http://stroyenergo.by/ru/blochnyye-teplovyye-punktvy/tehnicheskije-harakteristiki.html>].

(http://www.zavodpsi.com/produksija/21/завод_промстройиндустрия)

В комплект поставки БТП входит сопроводительная документация, необходимая для монтажа, наладки и сдачи теплового

пункта.

Состав и функциональные возможности БТП:

– *Узел учёта и регулирования тепловой энергии.* Учитывает фактический расход теплоносителя и тепла, регулирует (снижает) расход теплоносителя в соответствии с заданной программой поддержания температуры в системах отопления и горячего водоснабжения или в обратном трубопроводе.

– *Узел отопления.* Регулирует расход тепловой энергии в соответствии с расчётными данными, учитывающими погодные условия, время суток, дни недели и др. Поддерживает нормальный режим отопления при недостаточной подаче теплоносителя от тепловой сети (малых перепадах давления и низких температурах).

– *Узел горячего водоснабжения.* Поддерживает температуру в системе горячего водоснабжения в соответствии с заданной (55–60 °С). Работает с максимальным отбором тепловой энергии из тепловой сети.

– *Узел вентиляции.* Регулирует расход тепловой энергии в соответствии с погодными условиями и времени суток.

Эффективность применения:

– оптимизация теплотребления в производственных, административных, общественных и жилых зданиях за счёт учёта фактической температуры наружного воздуха и пониженного режима отопления в ночное время;

– автоматическое перекрытие подачи горячей воды и прекращение учёта расхода при возникновении аварийных ситуаций;

– встроенный узел учёта и регулирования тепловой энергии.

Методика и примеры теплотехнического расчета пластинчатых теплообменников, которые используются в блочном тепловом пункте, подробно описаны в [36].

Для обеспечения циркуляции воды в системах отопления и горячего водоснабжения в настоящее время используют циркуляционные насосы, которые при независимой системе теплоснабжения устанавливают на обратном трубопроводе перед теплообменником.

Существует два типа циркуляционных насосов – насосы с сухим ротором и насосы с мокрым ротором.

Насосы с сухим ротором представляют собой одноступенчатый насос с осевым расположением всасывающего и напорного

патрубок, которые можно монтировать в разрез трубы. Чаще всего они применяются в промышленных системах отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования и практически не используются в системах домов коттеджного типа. Отличаются повышенным уровнем шума. Имеют коэффициент полезного действия до 80 %.

Насосы с мокрым ротором применяются как в промышленных системах отопления и горячего водоснабжения, так и в системах домов коттеджного типа. У насосов с мокрым ротором ротор погружен в перекачиваемую жидкость, этой жидкостью смазываются подшипники скольжения и отводится тепло от двигателя. Поэтому электродвигатель такого насоса не имеет вентилятора, что в совокупности с конструкцией насоса значительно уменьшает уровень шума. Их КПД достигает только 50–60 %.

Согласно принятому в Европейском союзе постановлению к 2013 году все используемые циркуляционные насосы по шкале энергоэффективности должны соответствовать классу «А» – наивысшему классу энергосбережения.

Смесительные насосы для системы отопления устанавливаются:

а) на *перемычке* между подающим и обратным трубопроводами при располагаемом напоре перед узлом смешения, достаточным для преодоления гидравлического сопротивления СО и тепловых сетей после ЦТП, и при давлении в обратном трубопроводе тепловой сети после теплового пункта не менее чем на 0,05 МПа выше статического давления в СО;

б) *обратном трубопроводе* перед узлом смешения для понижения давления в обратном трубопроводе;

в) *подающем трубопроводе* для повышения давления в системе отопления.

Грязевики в тепловых пунктах следует предусматривать на подающем трубопроводе при вводе в тепловой пункт непосредственно после первой запорной арматуры и на обратном трубопроводе перед регулирующими устройствами, насосами, приборами учета расхода воды.

Средства автоматизации и контроля должны обеспечивать работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала и выполнять следующие функции:

– поддерживать заданную температуру воды, поступающую в

систему отопления и систему горячего водоснабжения;

- регулировать подачу теплоты в систему отопления в зависимости от изменения параметров наружного воздуха с целью поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях;

- поддерживать требуемый перепад давлений воды в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей на вводе ЦТП и ИТП при превышении фактического перепада давлений над требуемым более чем на 200 кПа;

- поддерживать минимальное заданное давление в обратном трубопроводе системы отопления при возможном снижении давления;

- включать и выключать подпиточные устройства для поддержания статического давления в системах теплоснабжения при их независимом присоединении;

- защищать систему отопления от опорожнения.

Системы централизованного теплоснабжения от ТЭЦ в крупных городах в некоторых случаях стали нецелесообразными: большая протяженность сетей приводит к значительным потерям теплоты, увеличению расхода на транспортировку теплоносителя, запаздываниям по температурному графику (теплоноситель доходит к потребителю через несколько часов после приготовления, а за это время может значительно измениться температура наружного воздуха). Кроме того, крупные ТЭЦ своими выбросами ухудшают экологию районов, в которых они расположены.

Теплосети требуют проведения плановых ремонтов. При проектировании нового строительства следует также учитывать, что в некоторых случаях прокладка теплосети с устройством прокола под транспортной магистралью может стоить дороже строительства индивидуальной (автономной) котельной, предназначенной для теплоснабжения одного здания или сооружения.

Поэтому в последние годы все чаще строят *индивидуальные крышные котельные*, располагаемые на покрытии здания непосредственно, на специально устроенном основании на покрытии или в верхнем техническом этаже (чердачном помещении) строящегося здания с легким малошумным полностью автоматизированным экологическим оборудованием. Они, в отличие от индивидуальных котельных, расположенных в подвалах, не

нуждаются в высоких трубах, уродующих архитектурный облик города.

Крышные котельные установки предназначены для выработки горячей воды, используемой в качестве теплоносителя в системах отопления и горячего водоснабжения отдельных жилых домов, административных и промышленных зданий. Котельная работает без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Тепловая мощность котельной не должна превышать потребности в теплоте того здания, для теплоснабжения которого она предназначена. Проектирование и строительство здания и котельной одностадийное. Все технологическое оборудование монтируется на раме. Вспомогательное оборудование установлено в подвальном помещении.

Котельная укомплектована коммерческими узлами учета электроэнергии, газа, холодной и горячей воды, вырабатываемого тепла, в ней предусматривается размещение оборудования, арматуры, приборов контроля, управления и автоматизации, посредством которого осуществляется:

- изменение и контроль параметров теплоносителя для отопления и горячего водоснабжения;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- отключение систем потребления теплоты;
- защита местных систем при аварийном повышении параметров теплоносителя;
- соблюдение норм пожарной безопасности Республики Беларусь при устройстве крышных котельных (НПБ РБ 2-97).

9.9 Схемы присоединения систем водяного отопления к сетям централизованного теплоснабжения

Система теплоснабжения представляет собой комплекс теплоиспользующих установок с подводящими от индивидуальных тепловых пунктов трубопроводами системы отопления, теплоснабжения, установок систем вентиляции и кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения и теплоиспользующих технологических потребителей.

Существует несколько распространенных схем присоединения

систем теплоснабжения к тепловым сетям:

- *зависимая* – теплоноситель из тепловой сети поступает непосредственно в систему теплоснабжения;

- *независимая* – схема присоединения системы отопления или теплоснабжения установок систем вентиляции и кондиционирования воздуха к тепловой сети через поверхностный подогреватель, при которой давление в системе обеспечивается подпиточным устройством, а циркуляция теплоносителя осуществляется циркуляционным насосом;

- *закрытая водяная система теплоснабжения* – вода, циркулирующая в тепловой сети, не отбирается из системы потребителями теплоты;

- *открытая водяная система теплоснабжения* – вода, циркулирующая в тепловой сети, отбирается из системы потребителями теплоты на цели горячего водоснабжения или технологические цели.

Следует правильно выбирать вид присоединения систем отопления к тепловой сети, чтобы обеспечить надежную их работу (<http://santehnik.org.ua/stati/otoplenie/prisoedinenie-sis-otopleniya-k-teploseti>).

Независимая схема присоединения систем отопления (рисунок 80) применяется в следующих случаях:

- для подключения высоких зданий (более 12 этажей), когда давления в тепловой сети недостаточно для заполнения отопительных приборов на верхних этажах;

- для зданий, требующих повышенной надежности работы систем отопления (музеи, архивы, библиотеки, больницы);

- для зданий, имеющих помещения, куда нежелателен доступ постороннего обслуживающего персонала;

- если давление в обратном трубопроводе тепловой сети выше допустимого давления для систем отопления (больше 0,6 МПа).

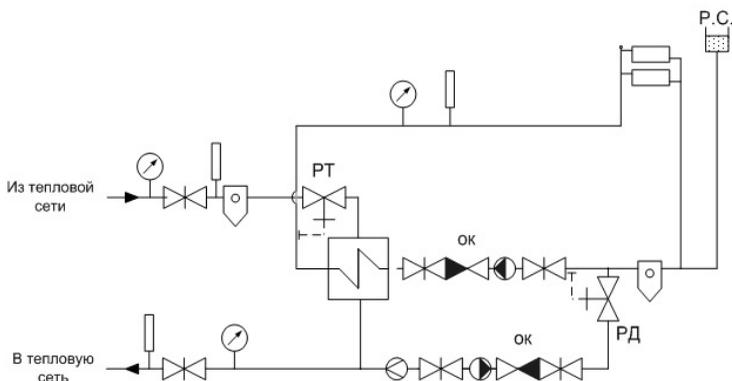


Рисунок 80 – Независимая схема присоединения систем отопления
к тепловым сетям:

РС – расширительный сосуд, РД – регулятор давления,
РТ – регулятор температуры; ОК – обратный клапан

Сетевая вода из подающей линии поступает в теплообменник и нагревает воду местной отопительной системы. Циркуляция в системе отопления осуществляется циркуляционным насосом, который обеспечивает постоянный расход воды через нагревательные приборы. Система отопления может иметь расширительный сосуд, в котором содержится запас воды для восполнения утечек из системы. Он обычно устанавливается в верхней точке и подключается к обратной линии на всасывающей линии циркуляционного насоса. При нормальной работе системы отопления утечки незначительны, что дает возможность заполнять расширительный бак раз в неделю. Подпитка производится из обратной линии по перемычке, выполняемой для надежности с двумя кранами и сливом между ними, или с помощью подпиточного насоса, если давления в обратной линии недостаточно для заполнения расширительного сосуда. Расходомер на линии подпитки позволяет учитывать водоразбор из тепловой сети и правильно производить оплату. Наличие подогревателя позволяет осуществлять наиболее рациональный режим регулирования. Это особенно эффективно при плюсовых температурах наружного воздуха и при центральном качественном регулировании в зоне излома температурного графика (см. рисунок 76).

Зависимые схемы присоединения систем отопления работают под давлением, близким к давлению в обратном трубопроводе тепловой сети. Циркуляция обеспечивается за счет перепада давлений в подающем и обратном трубопроводах. Этот перепад Δp должен быть достаточен для преодоления сопротивления системы отопления и теплового узла.

Если давление в подающем трубопроводе превышает необходимое, то оно должно быть снижено регулятором давления или дроссельной шайбой.

Достоинства зависимых схем по сравнению с независимыми:

- проще и дешевле оборудование абонентского ввода;
- может быть получен больший перепад температур в системе отопления;

- сокращен расход теплоносителя;
- меньше диаметры трубопроводов;
- снижаются эксплуатационные расходы.

Недостатки зависимых схем:

- жесткая гидравлическая связь тепловой сети и систем отопления и, как следствие, пониженная надежность;
- повышенная сложность эксплуатации.

Различают следующие схемы зависимого подключения:

- непосредственного присоединения;
- с элеватором;
- с насосом на перемычке;
- с насосом на обратной линии;
- с насосом на подающей линии;
- с насосом и элеватором.

Схема непосредственного присоединения систем отопления (рисунок 81) является простейшей и применяется, когда температура и давление теплоносителя совпадают с параметрами системы отопления. Для присоединения жилых зданий на абонентском вводе должна быть температура сетевой воды не более 95 °С, для производственных зданий – не более 150 °С.

Эта схема может применяться для подключения промышленных зданий и жилого сектора к котельным с чугунными водогрейными котлами, работающими с максимальными температурами 95–105 °С или после ЦТП.

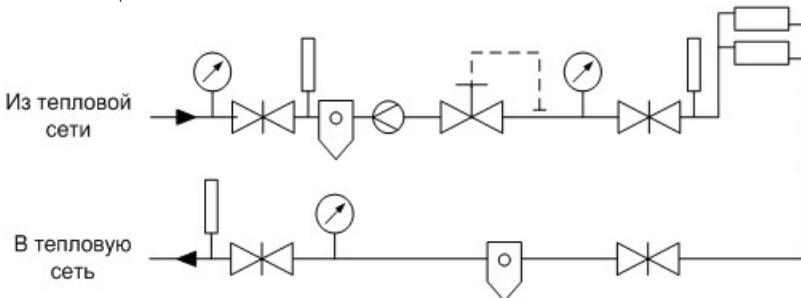


Рисунок 81 – Схема непосредственного присоединения СО к ТС

Здания присоединяются непосредственно, без смешения. Достаточно иметь задвижки на подающем и обратном трубопроводах системы отопления и необходимые КИП. Давление в тепловой сети в точке

присоединения должно быть меньше допустимого. Наименьшей прочностью обладают чугунные радиаторы, для которых постоянное давление не должно превышать 0,6 МПа. Иногда устанавливают регуляторы расхода.

Схема с элеватором (водоструйный насос) (рисунок 82) применяется, когда требуется снизить температуру теплоносителя для систем отопления по санитарно-гигиеническим показателям (например, со 130 до 90 °С). Кроме того, элеватор является побудителем циркуляции.

По этой схеме присоединяется большинство жилых и общественных зданий. Преимуществом этой схемы является ее низкая стоимость и, что особенно важно, высокая степень надежности элеватора.

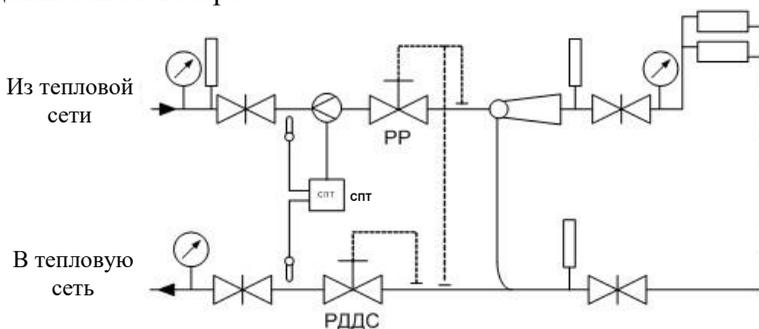


Рисунок 82 – Схема присоединения СО к ТС через элеватор: РДДС – регулятор давления до себя; СПТ – теплосчетчик, состоящий из расходомера, двух термометров сопротивления и электронного вычислительного блока

Достоинства элеватора:

- простота и надежность работы;
- нет движущихся частей;
- не требуется постоянное наблюдение;
- производительность легко регулируется подбором диаметра сменного сопла;
- большой срок службы;
- постоянный коэффициент смешения при колебаниях перепада давления в тепловой сети (в определенных пределах);
- вследствие большого сопротивления элеватора повышается гидравлическая устойчивость тепловой сети.

Недостатки элеватора:

– низкий КПД, равный 0,25–0,3, поэтому для создания перепада давления в системе отопления надо иметь до элеватора располагаемый напор в 8–10 раз больший;

– постоянство коэффициента смешения элеватора, что приводит к перегреву помещений в теплый период отопительного сезона, так как нельзя изменить соотношение между количеством сетевой воды и подмешиваемой;

– зависимость давлений в системе отопления от давлений в тепловой сети;

– при аварийном отключении тепловой сети прекращается циркуляция воды в отопительной установке, в результате чего создается опасность замерзания воды в системе отопления.

Принцип действия элеватора заключается в следующем: перегретая вода из подающей магистрали поступает в конусное съемное сопло, где скорость движения воды резко возрастает, в результате чего струя воды, выходящая из сопла в камеру смешивания, подсасывает охлажденную воду из обратного трубопровода через перемычку во внутреннюю полость элеватора (рисунок 83). При этом в элеваторе происходит смешение перегретой и охлажденной воды, поступающей из системы отопления. Таким образом, вода требуемой температуры поступает в нагревательные приборы системы отопления. Чтобы защитить элеватор от попадания крупных частиц в конус, что может частично или полностью прекратить его работу, перед элеватором обязательно устанавливают грязевик.

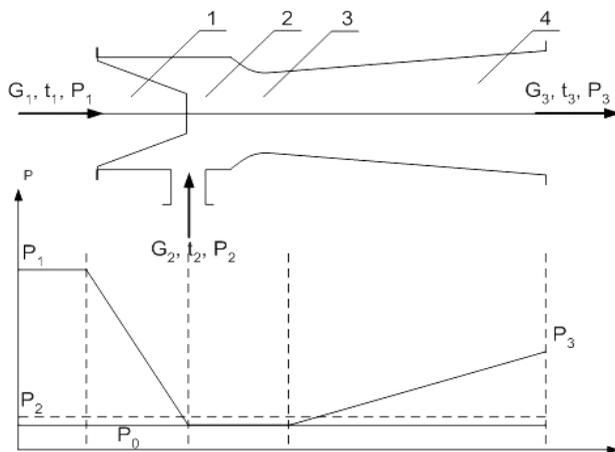


Рисунок 83 – Принцип действия элеватора:

1 – сопло; 2 – камера всасывания; 3 – камера смешения; 4 – диффузор
(<http://santehnik.org.ua/stati/otoplenie/elevatornij-uzel>)

Сетевая вода поступает в суживающееся сопло и на выходе приобретает значительную скорость благодаря срабатыванию перепада давления в сопле от P_1 до P_0 . В результате давление в камере всасывания становится ниже P_2 , и рабочая струя захватывает пассивные массы окружающей воды, передавая им часть своей энергии. Таким образом, происходит подсос воды из обратной линии. В камере смешения скорость потока выравнивается с некоторым возрастанием давления к концу камеры (примем это давление условно постоянным из-за незначительности его повышения). В диффузоре поток тормозится, скорость снижается, а давление возрастает до P_3 .

Основной характеристикой элеватора является коэффициент смешения (эжекции) – отношение количества эжектируемой воды G_2 к количеству воды, поступающей из тепловой сети G_1 :

$$U = G_2 / G_1. \quad (95)$$

Чаще применяется другое соотношение, выводимое из уравнения теплового баланса элеватора:

$$G_1 c_1 t_1 + G_2 c_2 t_2 = G_3 c_3 t_3. \quad (96)$$

При условии, что $G_3 = G_2 + G_1$,

$$U = (t_1 - t_3) / (t_3 - t_2). \quad (97)$$

Если тепловая сеть работает по графику 150–70 °С, а система отопления по графику 95–70 °С, то коэффициент смешения элеватора должен быть

$$U = (150 - 95) / (95 - 70) = 2,2. \quad (98)$$

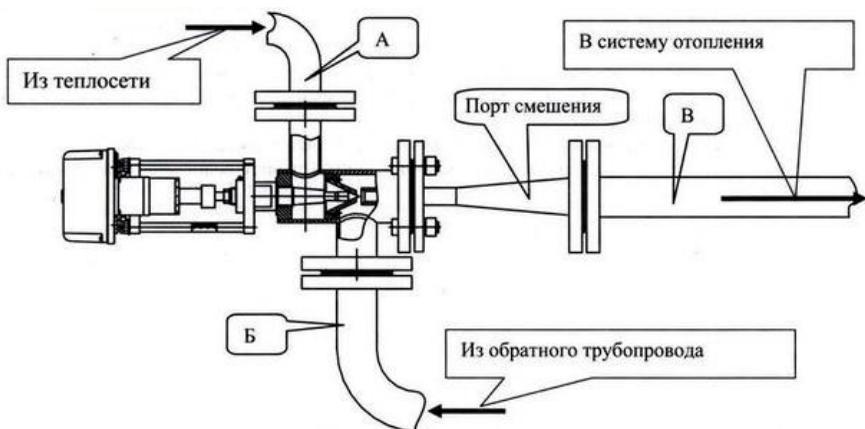
Это означает, что на каждую единицу массы высокотемпературной сетевой воды должно приходиться при смешении 2,2 массы охлажденной обратной воды после системы отопления.

Схемы с элеватором уже не в полной мере отвечают возросшим условиям надежности, качества и повышения экономичности систем теплоснабжения в целом. Кроме того, ограничивается возможность

автоматического регулирования систем отопления.

Однако в настоящее время стали широко применяться элеваторы с регулируемым соплом (рисунок 84), у которых коэффициент смешения может меняться в диапазоне от 2 до 5. Их применение позволяет в общественных и производственных зданиях понижать температуру в отапливаемых помещениях в ночное время и в выходные дни, что может обеспечить до 20–25 % экономии расходов тепловой энергии на отопление.

Регулирующий элеватор может быть установлен при реконструкции местных и центральных тепловых пунктов в системах теплоснабжения. Он осуществляет качественно-количественное регулирование смешения теплоносителя с регулируемым расходом



рабочего потока и коэффициентом рабочего сопла.

Рисунок 84 – Установка регулирующего гидрозелеватора в систему (<http://br-gomel.by/index.php/regulating-armature/el/179-rg-xxx>)

Если для надежной работы элеватора перепад давлений между подающей и обратной линиями на абонентском вводе недостаточен, то применяют смесительные насосы. Они снизят температуру воды, подаваемой в систему отопления, и обеспечат циркуляцию.

Схема с циркуляционным насосом на перемычке (рисунок 85) применяется при недостаточном перепаде давлений на абонентском вводе, а также в том случае, когда требуемая мощность теплового узла велика (более 0,8 МВт) и выходит за пределы мощности выпускаемых

элеваторов. При аварийном отключении тепловой сети насос осуществляет циркуляцию воды в отопительной установке, что предотвращает ее размораживание в течение относительно длительного периода (8 – 12 ч).

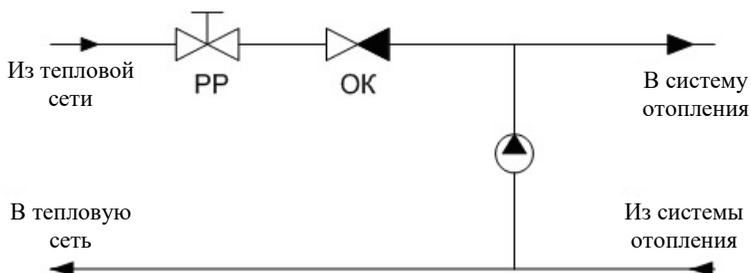


Рисунок 85 – Схема присоединения СО к ТС с насосом на перемычке

Такая схема установки насоса обеспечивает наименьший расход электроэнергии на перекачку, так как насос подбирается по расходу подмешиваемой воды. Замена элеваторов насосами является прогрессивным решением, потому что позволяет примерно на 10 % снизить расход сетевой воды и уменьшить диаметр трубопроводов. Применяется для ЦТП.

Схема с насосом на подающей линии (рисунок 86) применяется при недостаточном давлении в подающей магистрали (в зданиях повышенной этажности).

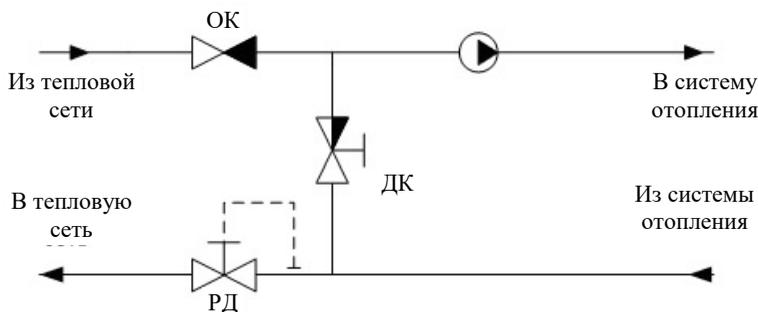


Рисунок 86 – Схема присоединения СО к ТС с насосом на подающей линии

Расчетный напор насоса должен соответствовать недостающему

напору, а производительность выбирается равной полному расходу воды в отопительной установке. При нестабильном гидравлическом режиме тепловой сети обратный клапан на подающей линии заменяют регулятором давления после себя (РДПС), на который подается импульс при остановке подкачивающих насосов.

Схема с насосом на обратной линии (рисунок 87) применяется при недопустимо высоком давлении в обратной линии. Насосы работают в режиме «подмешивание-подкачка», при этом снижается давление в обратной линии и увеличивается перепад между подающим и обратным трубопроводами. Регулятор подпора на обратной линии необходим при статическом режиме, когда насосы работают в качестве циркуляционных. В этом случае регуляторы давления на подающей и обратной линиях принудительно закрываются, и происходит отсечка абонентского ввода от тепловой сети. Для регулирования сниженного давления в обратной линии на перемычке устанавливается дроссельный регулировочный клапан (ДК), с помощью которого регулируется коэффициент подмешивания.

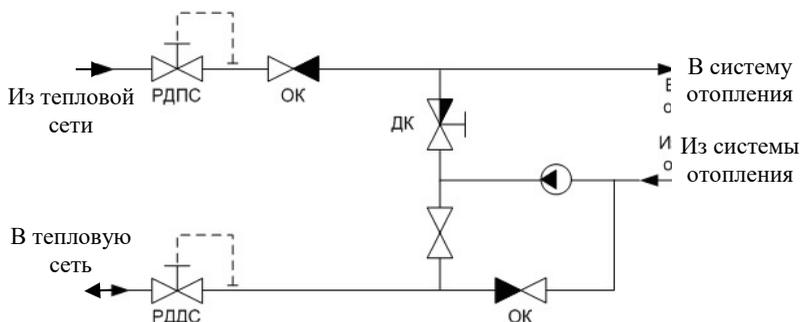


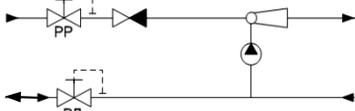
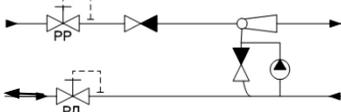
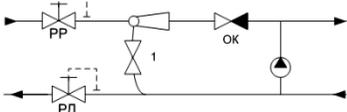
Рисунок 87 – Схема присоединения СО к ТС с насосом на обратной линии

При использовании насосного смешения на тепловых пунктах наряду с рабочим насосом необходимо устанавливать резервный. Кроме того, требуется повышенная надежность в электроснабжении, так как отключение насоса приводит к поступлению перегретой воды из тепловой сети в местную отопительную систему, что может привести к ее повреждению. В случае аварии в тепловой сети, чтобы сохранить воду в местной

системе отопления, дополнительно устанавливаются обратный клапан на подающей линии и регулятор давления на обратном трубопроводе.

Схемы с насосом и элеватором. Отмеченные недостатки устраняются в схемах с элеватором и центробежным насосом. В этом случае выход из строя центробежного насоса приводит к снижению коэффициента смешения элеватора, но не снизит его до нуля, как при чисто насосном смешении. Эти схемы применимы, если разность напоров перед элеватором не может обеспечить необходимого коэффициента смешения, т.е. она меньше 10–15 м вод. ст., но больше 5 м вод. ст. В действующих тепловых сетях такие зоны обширны. Схемы позволяют вести ступенчатое температурное регулирование в зоне высоких температур наружного воздуха. Установка центробежного насоса с нормально работающим элеватором при включении насоса позволяет увеличить коэффициент смешения и снизить температуру воды, подаваемой в систему отопления.

Возможны 3 схемы включения насоса по отношению к элеватору:

Схема	Описание
<p data-bbox="171 209 262 233">Схема 1</p> 	<p data-bbox="568 236 978 347">Схема 1 применяется, если потери напора в остановленном насосе невелики и не могут заметно снизить коэффициент смешения элеватора</p>
<p data-bbox="171 432 262 456">Схема 2</p> 	<p data-bbox="568 456 978 512">Если это условие не выполняется, применяют схему 2</p>
<p data-bbox="171 624 262 647">Схема 3</p> 	<p data-bbox="568 647 978 727">При малых перепадах давления необходимо прикрывать задвижку 1 в схеме 3</p>

9.10 Теплоснабжение строительных площадок

Временное теплоснабжение на строительной площадке осуществляется в следующих целях: обеспечение тепловой энергией технологических процессов (подогрев воды и заполнителей на бетонно-растворных узлах, отопление тепляков, прогрев бетона, оттаивание грунта и пр.); отопление и сушка строящихся объектов; отопление, вентиляция и горячее водоснабжение временных санитарно-бытовых и административно-хозяйственных строений (разделок, столовых, душевых и т.п.).

Источниками временного теплоснабжения строительной площадки могут быть существующие или проектируемые теплосети, калориферы и воздухонагреватели различных типов и мощностей, ТЭНы, газобаллонные установки, передвижные теплогенераторы, мобильные котельные (рисунок 88). Системы временного теплоснабжения, как правило, рассчитаны только на период строительства и подлежат демонтажу по окончании строительства.

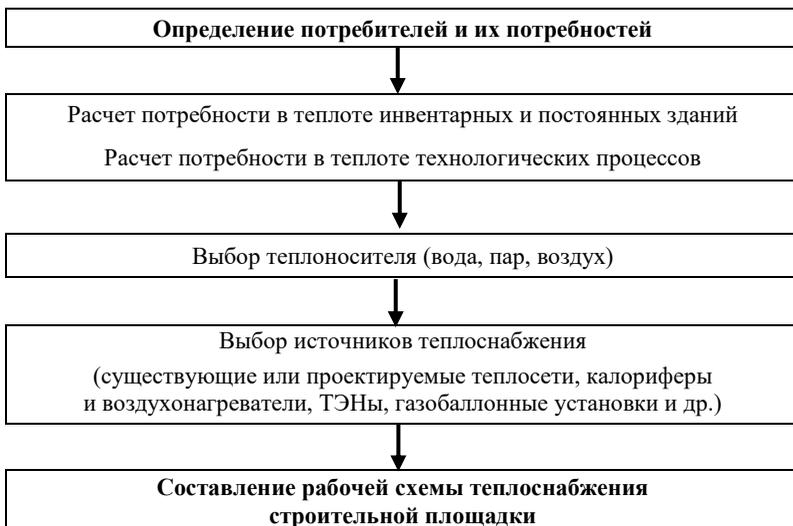


Рисунок 88 – Блок-схема теплоснабжения строительной площадки

Проектирование временного теплоснабжения выполняют в следующем порядке:

- рассчитывают потребность в тепловой энергии по отдельным потребителям и суммарный расход по объекту в целом;
- определяют источники снабжения теплотой и подсчитывают потребность в топливе;
- рассчитывают и проектируют трассы теплопроводов;
- подбирают локальные агрегаты и приборы для отопления, сушки, подогрева, подачи пара и т.п.

Уточнение и детализацию проекта производят при разработке ППР.

Потребность теплоты для технологических процессов определяется теплотехническим расчетом или берется из справочников.

Общая потребность в тепле определяется как сумма теплопотребностей на производственные и технологические нужды.

Расчет потребности в тепловой энергии на технологические нужды для выполнения работ в зимних условиях производят по действующим нормам принятой технологии производства работ.

Общую потребность в теплоте $Q_{\text{общ}}$ (Вт) определяют

суммированием расхода по отдельным потребителям с введением повышающих коэффициентов: k_1 – на неучтенные расходы теплоты и k_2 – потери (ориентировочно принимают $k_2 = 1,15$):

$$Q_{\text{общ}} = (Q_{\text{от}} + Q_{\text{техн}} + Q_{\text{суш}}) k_1 k_2, \quad (100)$$

где $Q_{\text{от}}$ – количество тепла на отопление зданий и тепляков;

$Q_{\text{техн}}$ – то же на технологические нужды;

$Q_{\text{суш}}$ – то же на сушку зданий.

Объемы работ подбирают по рабочей документации. Обеспечение производственных предприятий рассчитывают с учетом их эксплуатационной характеристики интенсивности работы. Расход теплоты для отопления зданий $Q_{\text{от}}$ (Вт) рассчитывают в ППР. Определение количества теплоты и воздуха для зданий требует специальных расчетов, учитывающих необходимое количество теплоты для испарения влаги из материалов и нагревания подаваемого в помещение воздуха.

Температуру воздуха внутри здания следует принимать в соответствии с СНБ.

Определение вида теплоносителя (вода, пар, воздух) производится в зависимости от наличия постоянных теплопроводов, производственной необходимости и затрат на эксплуатацию источников.

В городских условиях, как правило, оптимальным вариантом подачи тепловой энергии является использования наружных сетей постоянных теплотрасс. Если они не готовы, следует использовать временные теплосети. Расчет диаметров трубопроводов производят на период максимальной подачи теплоты. Временные теплосети выполняют, как правило, тупиковыми, реже по кольцевой схеме, бесканально в траншеях с засыпкой изоляцией из шлака, керамзитогравия и т.п. или с применением скорлупной изоляции.

В этом случае ставится блочный автоматизированный тепловой пункт (БАТП), который временно снабжает теплотой и горячей водой строящееся здание (рисунок 89). БАТП обеспечивает учет потреблений тепловой энергии, качественную регулировку теплоносителя даже в том случае, если используются тепловые пушки, а при их отключении нет завышения температуры обратной воды.

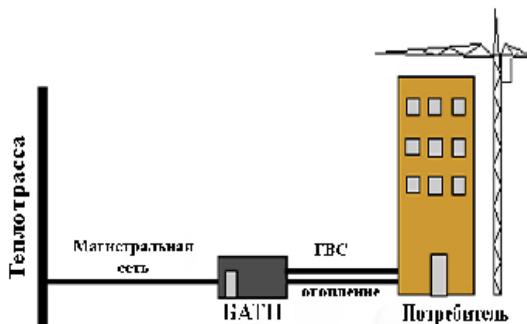


Рисунок 89 – Схема временного обеспечения вновь строящегося здания от теплотрассы с использованием БАТП

При отсутствии такой возможности рекомендуется применять различные инвентарные котельные, котлы и электробойлерные. Для сушки помещений могут быть использованы газовые горелки инфракрасного излучения, воздушно-отопительные агрегаты.

9.11 Нетрадиционные способы теплоснабжения жилых зданий

Основным путем экономии энергии в строительстве является возведение зданий с эффективным использованием энергии, в котором предусмотрены оптимальные на перспективу инженерные методы и средства по эффективному использованию и экономии энергии, применению нетрадиционных теплоисточников.

Для рационального использования энергии при положительной технико-экономической оценке предлагаются проектировать системы отопления зданий с применением низкотемпературного, солнечного, геотермального источников, а также сбросной теплоты [22]. Наиболее актуальны такие системы теплоснабжения для усадебных жилых домов [11].

Источником теплоты для *тепловых насосов* является окружающая среда, энергетический уровень которой различен в зависимости от места расположения объекта и времени суток и года. Так, температура грунта в течение года постоянна и имеет значение около 10 °С, в качестве возможного источника энергии можно использовать грунтовые воды, температура которых не ниже 8 °С. Поэтому низкотемпературные системы отопления являются

особенно подходящими объектами для использования тепловой насосной установки.

Воздушный тепловой насос представляет собой устройство, отвечающее за поглощение низкопотенциальной теплоты окружающего воздуха и её дальнейшую передачу в систему теплоснабжения в виде нагретого воздуха или воды (рисунок 90).



Рисунок 90 – Схема работы воздушного теплового насоса
(<http://www.ecogroup.com.ua/spravochnik/vse-o-teplovykh-nasosakh/vozduzhnyi-teplovoi-nasos>)

Эффективность работы тепловых насосов увеличивается с понижением температуры воды в подающем трубопроводе, поэтому наиболее приемлемыми для них являются низкотемпературные системы теплоснабжения, в том числе системы подогрева пола.

Тепловые насосы различаются, главным образом, по среде, с которой осуществляется теплообмен: воздух, вода, грунт. Например, в ТКП 45-4.02-74-2007 приведены такие схемы [14]:

- "грунт–вода" с теплообменником в земле в виде скважины;
- "вода–вода" с подъемным и приемным колодцами;
- "воздух–воздух" с теплообменником-воздухоохладителем.

В системах *солнечного отопления* используется гелиосистема, которая позволяет улавливать солнечную радиацию и

преобразовывать ее в тепловую энергию (рисунок 91).

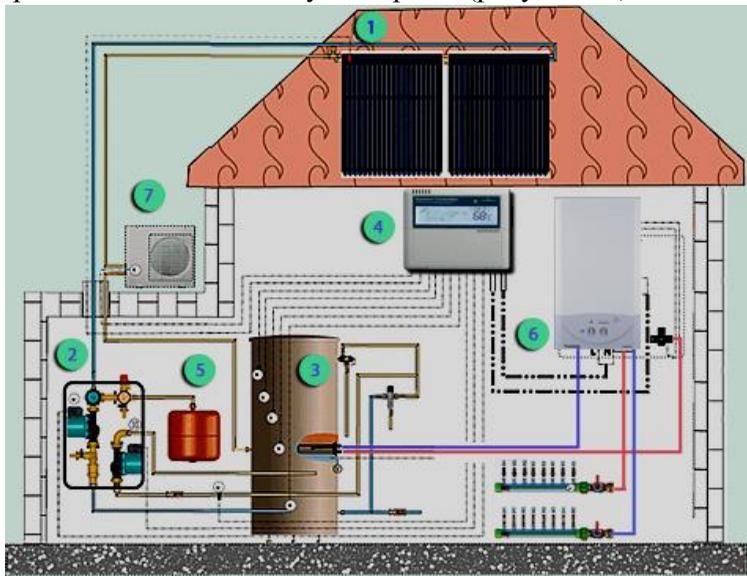


Рисунок 91 – Комбинированная система теплоснабжения: 1 – солнечный коллектор; 2 – рабочая станция (циркуляционный насос, индикатор давления, защитный клапан, измеритель потока и пр.); 3 – бак-аккумулятор; 4 – контроллер управления системой водонагрева и отопления; 5 – расширительный бак; 6 – отопительный котел; 7 – тепловой насос (воздух–вода)
(http://termostar.ru/pages/view_page/53)

В качестве теплоисточника низкотемпературных систем отопления может использоваться теплота подземных нагретых вод. Такое отопление называют *геотермальным*. Однако в Беларуси из-за отсутствия геотермальных источников такой вид отопления не находит применения.

Системы отопления с использованием природных и вторичных энергоресурсов (например, *сбросной теплоты*) требуют капитальных вложений и оригинальных решений по утилизации теплоты, отводимой в настоящее время в атмосферу или водоемы от различных технологических установок. Использование этого колоссального количества теплоты экономически выгодно, так как затраты на утилизацию значительно меньше, чем на выработку такого же количества теплоты.

9.12 Энергосбережение в теплоснабжении зданий и сооружений

Значительные затраты на эксплуатацию современных систем отопления, вентиляции и кондиционирования заставляют искать новые пути экономии средств и совершенствования процессов производства, передачи и потребления тепловой энергии в зданиях.

Так, энергосбережение в тепловых сетях касается вопросов повышения качества воды для систем теплоснабжения, использования современных теплообменников на тепловых пунктах, установки приборов расхода воды и учета теплоты, применения современных технологий тепловой изоляции, замены элеваторных узлов на смесительные установки с датчиками температуры и расхода.

В настоящее время следует экономически обосновать и договориться между производителями и потребителями тепловой энергии, администрациями и предприятиями о том, при какой тепловой мощности потребителей экономичнее применять централизованную или децентрализованную систему теплоснабжения.

Энергосбережение в зданиях и сооружениях включает в себя различные устройства вентилируемых наружных стен, вентилируемых окон, трехслойного или теплоотражающего (в инфракрасном излучении) остекления, дополнительного утепления наружных ограждений, теплоизоляции стен за отопительным прибором, застекленных лоджий. Кроме того, для энергосбережения в зданиях и сооружениях возможно применение воздушного отопления от гелиоустановок, а также с использованием теплонасосных установок и энергии низкого потенциала (конденсата, воды, воздуха).

В промышленных зданиях и сооружениях в дополнении к этому возможно применение газовых инфракрасных излучателей, периодического режима отопления, локального обогрева рабочих площадок теплотой рециркуляционного воздуха из верхней зоны помещения, прямого испарительного охлаждения воздуха, вращающихся регенеративных воздуховоздушных утилизаторов теплоты (рекуператоров).

Энергосбережение за счет использования альтернативных (нетрадиционных и возобновляемых) источников энергии опирается

на применение солнечных коллекторов и электростанций, тепловых насосов, гелиоустановок, фотоэлектрических и ветроэнергетических установок.

Энергосбережение за счет использования вторичных энергоресурсов (ВЭР) включает утилизацию теплоты уходящих топочных газов и воздуха, установку контактных теплообменников, использование холодильных установок в качестве нагревателей воды, использование теплоты сепараторов пара и пара вторичного вскипания конденсата, рециркуляцию сушильного агента.

Также немаловажную роль в энергосбережении играет нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – это установление плановой нормы их рационального потребления. Основная задача нормирования – это разработка и применение в планировании, производстве и эксплуатации технически и экономически обоснованных и прогрессивных норм расхода в целях осуществления режима экономии ТЭР, оптимального распределения и наиболее эффективного их использования. Прогрессивность и экономичность норм расхода ТЭР заключается в обязательном учете планируемых энергосберегающих мероприятий на основе внедрения новых технологий, материалов и оборудования, создания оптимальных режимов потребления ТЭР за счет автоматизации технологических процессов, модернизации систем выработки, транспорта и потребления ТЭР.

Под нормой расхода тепловой энергии или топлива понимается их максимально-допустимое количество, расходуемое за определенный период (месяц, квартал, сезон, год) на принятую единицу измерения на отдельные виды потребления технически исправными системами, устройствами и оборудованием, эксплуатируемыми с соблюдением действующих правил и инструкций, обеспечением нормативных режимов работы, параметров теплоносителей и воздуха в помещениях.

Нормирование расхода тепловой энергии и топлива производится применительно к наиболее распространенным конструкциям зданий и сооружений на следующие направления: отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилищного фонда.

Разработка технически обоснованных норм расхода должна производиться в соответствии с требованиями Положения о нормировании расхода топлива, тепловой и электрической энергии в Республике Беларусь.

Корректировка норм не допускается, если перерасход ТЭР

обусловлен нарушением правил эксплуатации и неисправностью оборудования.

10 ГАЗОСНАБЖЕНИЕ

10.1 Свойства газа

Природные газы, добываемые из недр земли, представляют собой смесь, состоящую из горючих газов, балластных газов и примесей.

Горючие газы состоят из метана (CH_4), предельных ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) и непредельных (C_nH_{2n}) углеводородов. В сумме предельные и непредельные углеводороды называются тяжелыми углеводородами. Водород (H_2) и оксид углерода (CO) в природных газах отсутствуют.

Балластные газы состоят из азота N_2 , углекислого газа CO_2 и кислорода O_2 . Примеси, входящие в состав природных газов, состоят в основном из водяных паров (H_2O), сероводорода (H_2S) и пыли.

Природные газы лишены цвета, запаха, вкуса. Горючий газ в своем составе имеет горючие и негорючие вещества. Углекислый газ, кислород, азот и водяной пар относят к негорючим газам, а углеводороды, водород, сероводород – к горючим. При добыче газа из него извлекают токсичный газ – сероводород с концентрацией не более $0,02 \text{ г/м}^3$.

Горючие газы, которые используются в качестве топлива, имеют ряд показателей, к которым можно отнести: состав, теплота сгорания, плотность, температура горения и воспламенения, границы взрываемости и давление при взрыве.

Содержание метана в природных газах достигает 98 %, поэтому его свойства практически полностью определяют свойства природных газов. Метан – бесцветный нетоксичный газ без запаха и вкуса. Высшая теплота сгорания метана $Q_v = 39,8 \text{ МДж/м}^3$, низшая – $Q_n = 35,8 \text{ МДж/м}^3$. Плотность природного газа полностью зависит от его состава и находится в пределах от $0,73$ до $0,85 \text{ кг/м}^3$.

По сравнению с твердым и жидким топливом природный газ выигрывает благодаря своим особенностям:

- легкий способ добыwania и транспортировки, относительная дешевизна;
- высокая теплота сгорания;
- облегчаются условия автоматизации рабочих процессов;
- не требуется подготовки топлива к сжиганию;
- облегчается труд обслуживающих работников и улучшаются санитарно-гигиенические условия его работы;
- отсутствие золы и выноса твердых частичек в атмосферу.

Использование природного газа требует особой внимательности и осторожности по причине возможных утечек в местах присоединения арматуры и через неплотности в соединениях газопровода.

Важно знать, что наличие в помещении более 20 % газа приводит к удушью, а при его скоплении в закрытом объеме от 5 до 15 % может вызвать взрыв газозоудшной смеси. Неполное сгорание газообразного топлива несет за собой образование токсичного угарного газа CO, который даже при небольших концентрациях приводит к удушению.

Поэтому для своевременного обнаружения утечек газа ему искусственно придают специфический запах (одоризируют) путем ввода в него специальных компонентов (одоранты). Они должны отвечать ряду требованиям, среди которых резкий, специфический, стойкий, медленно исчезающий запах, физиологическая безвредность, отсутствие агрессии на металл и некоторые др. Указанным требованиям в большей степени удовлетворяют некоторые сернистые соединения: этилмеркаптан, сульфид, метилмеркаптан и др. Например, этилмеркаптан – прозрачная бесцветная жидкость с резким запахом и относительной плотностью 0,83 кг/м³.

Газ одоризируют на головных сооружениях на барботажных одоризационных установках по принципу насыщения отведенного потока газа парами одоранта в барботажной камере и затем смешения его с основным потоком в газопроводе.

10.2 Устройство газовых сетей

Система газоснабжения природным газом включает в себя газовый промысел, магистральный газопровод (МГ), компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС) и газопроводы города:

высокого давления (ГВД), среднего давления (ГСД) и низкого давления (ГНД), а также газораспределительные пункты [18, 30, 48].

Газопровод – инженерное сооружение, предназначенное для доставки природного газа потребителям с помощью трубопроводного транспорта.

Магистральные газопроводы предназначены для транспортировки газа на большие расстояния и в зависимости от рабочего давления делятся на два класса: первый – при p от 2,5 до 10 МПа, второй – от 1,2 до 2,5 МПа.

Через определённые интервалы на магистрали установлены *газокомпрессорные станции* для преодоления трения и местных сопротивлений в газопроводе и поддержания давления в трубопроводе на заданном уровне. Для проведения ремонтных работ на магистральных газопроводах устанавливают запорную арматуру.

На подходе к городу сооружают *газораспределительные станции* (ГРС), из которых газ после замера его количества и снижения давления подается в распределительные сети города. ГРС – конечный участок магистрального газопровода и является границей между городскими и магистральными газопроводами.

Газопроводы распределительных сетей предназначены для доставки газа от газораспределительных станций к конечному потребителю.

В зависимости от рабочего давления транспортируемого газа используются газопроводы:

- высокого давления I категории – $0,6 < p < 1,2$ МПа;
- высокого давления II категории – $0,3 < p < 0,6$ МПа;
- среднего давления – $0,005 \text{ МПа} < p < 0,3$ МПа;
- низкого давления – p до $0,005$ МПа включительно.

Газопроводы низкого давления используются для газоснабжения жилых домов, общественных зданий и мелких коммунально-бытовых предприятий.

Газопроводы среднего и высокого давления служат для снабжения газом средних промышленных предприятий, коммунально-бытовых предприятий (бани, механические прачечные, хлебозаводы и др.).

Газопроводы высокого давления I категории снабжают газом в основном ТЭЦ, ГРЭС, крупные промышленные предприятия. Полная классификация газопроводов, входящих в систему газоснабжения, приведена в таблице 30.

Распределительными следует считать наружные газопроводы,

которые начинают свое расположение от ГРП, обеспечивающих газоснабжение до вводов в здание. Ввод – это участок газопровода, проходящий от места присоединения к распределительному газопроводу до здания, включая отключающее устройство на вводе в здание.

Газопроводом-вводам следует считать газопровод от места присоединения к распределительному газопроводу до отключающего устройства на вводе. Вводы бывают уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые и др.

Таблица 30 – Классификация газопроводов, входящих в систему газоснабжения [18]

Классификационный показатель	Газопроводы
Местоположение относительно планировки населенных пунктов	Наружные (уличные, внутриквартальные, межцеховые) и внутренние (расположенные внутри зданий и помещений)
Местоположение относительно поверхности земли	Подземные (подводные), надземные (надводные), наземные
Назначение в системе газоснабжения	Распределительные, газопроводы-вводы, продувочные, сбросные, импульсные, межпоселковые
Давление газа	Высокого, среднего и низкого давления
Материал труб	Металлические (стальные, медные и др.) и неметаллические (полиэтиленовые и др.)
Вид транспортируемого газа	Природного газа, попутного газа и сжиженного углеводородного газа

Межпоселковыми газопроводами следует считать распределительные газопроводы, прокладываемые вне территории населенных пунктов.

При проектировании газоснабжения городов и населенных пунктов используют следующие системы распределения газа по давлению:

- одноступенчатая с подачей потребителям газа одного давления;
- двухступенчатая с подачей потребителям газа по газопроводам двух давлений;
- трехступенчатая с подачей потребителям газа по газопроводам трех давлений (рисунок 89).

Связь между газопроводами, имеющими разное давление и входящими в систему газоснабжения, устанавливается через ГРП и газорегуляторные установки (ГРУ).

Городское газовое хозяйство начинается с кольца высокого давления 1,2 МПа, которое питается от нескольких контрольно-

регуляторных пунктов (рисунок 92).

Затем через газорегуляторные пункты газ последовательно поступает в газопроводы с более низким давлением и, наконец, от сети низкого давления – в жилые дома, общественные здания и коммунальные бытовые предприятия. ГРС устанавливают на конечном участке магистрального газопровода на входе в город. После ГРС давление газа может снижаться до величины, необходимой городу.

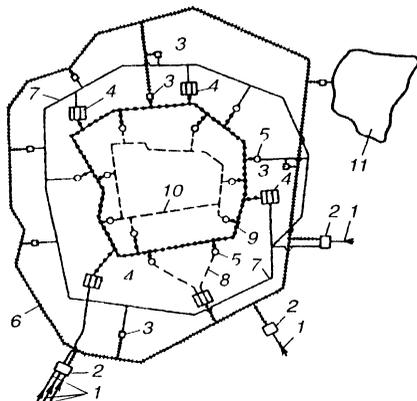


Рисунок 92 – Принципиальная многоступенчатая схема газоснабжения большого города:

- 1 – магистральные газопроводы;
- 2 – ГРС; 3 – КРП; 4 – газгольдерные станции;
- 5 – сетевые ГРП;
- 6 – кольцо газопроводов высокого давления;
- 7 – кольцо газопроводов среднего давления;
- 8 – газопроводы высокого давления 0,6 МПа;
- 9 – газопроводы низкого давления;
- 10 – перемычка;
- 11 – подземное хранилище газа

Газопроводы могут прокладываться *надземным и подземным* способами. Как правило, на территории города и населенных пунктов газопроводы прокладывают подземным способом. Исключение составляют территории промышленных предприятий, где их можно прокладывать по эстакадам и различным переходам сверху проезжей части заводской автотрассы.

Надземные газопроводы прокладывают с учетом компенсации температурных удлинений, которые зависят от расчетной температуры воздуха.

Подземные газопроводы прокладывают, главным образом, по городским проездам, а также в зоне зеленых насаждений. Расположение стальных газопроводов по глубине должна быть более 0,8 м до верха газопровода или футляра, а при отсутствии транспорта в месте его прохождения возможно уменьшение до 0,6 м.

Расстояние по горизонтали между подземными газопроводами и другими сооружениями должно находиться в пределах от 1 до 10 м в зависимости от вида коммуникаций и типа газопровода.

По высоте установка газопровода в местах скопления людей

допускается от 2,2 м, в местах проезда автотранспорта – от 5 м. А на территории полного отсутствия прохода людей и проезда автотранспорта допускается размещение газопроводов на низких опорах от 0,35 м в высоту от земли до низа трубы. Газопроводы помещаются в футляр в местах входа и выхода из земли. Расстояния между опорами надземных газопроводов, возможность общей прокладки газопроводов с электрокабелями и проводами, прокладка газопроводов по железнодорожным и автомобильным мостам в обязательном порядке принимаются проектной организацией строго в соответствии с действующими нормативными документами.

Для отключения отдельных участков газопроводов или отключения потребителей устанавливается запорная арматура, размещаемая в колодцах.

10.3 Прокладка внутридомовых газопроводов

Внутренними называются газопроводы, прокладываемые внутри здания от вводного газопровода или ввода до места подключения прибора.

Максимальное давление газа в газопроводах, прокладываемых внутри зданий, используется:

- для производственных зданий промышленных предприятий и для отдельно стоящих котельных – 0,6 МПа;
- предприятий бытового обслуживания производственного характера – 0,3 МПа;
- предприятий бытового обслуживания непроизводственного характера и общественных зданий – 5 КПа;
- жилых зданий – 3 КПа.

Основными элементами системы газоснабжения дома являются ответвления от городских (уличных) газопроводов, дворовые газопроводы, вводы, стояки, квартирные газопроводы.

Ответвления служат для подачи газа из уличного газопровода к зданию. Газовые стояки служат для подачи газа в квартирные разводки. Прокладка стояков в жилых домах производится в кухнях, которые проходят через все этажи вертикально. Выполняют стояки из стальных труб на сварке.

Квартирная разводка служит для подачи газа от стояков к газовым приборам. Все разводящие линии прокладывают с уклоном не менее 0,001 к стояку и приборам. Перед каждым газовым прибором на опуске должен быть установлен кран. При открытой прокладке должны

соблюдаться определенные расстояния от строительных конструкций и смежных коммуникаций.

Газопроводы не должны пересекать оконные и дверные проемы. В жилых зданиях газопроводы крепят к стенам с помощью крючков, вбитых в стену, или кронштейнов.

10.4 Бытовое и промышленное газовое оборудование

Устройства, использующие тепловую энергию, получаемую от сжигания газа для получения горячей воды для хозяйственных нужд и отопления помещений, называют газовыми приборами, которые подразделяют:

- на устройства для приготовления пищи – многорезочные напольные, настольные, туристические *газовые плиты*;
- устройства для нагрева воды – проточные и емкостные *водонагреватели*;
- отопительные котлы с использованием воздуха или воды в качестве теплоносителя.

Основным элементом любой газовой плиты является газовая горелка – устройство, в котором происходит смешивание воздуха и горючего газа. Горелки оборудованы поворотными регуляторами подачи газа, с помощью которых задается необходимая интенсивность нагрева за счет изменения расхода газа. Ручки-регуляторы выведены на переднюю или (реже) верхнюю панель плиты. Количество конфорок может варьироваться от двух (настольные и переносные плиты) до шести.

Варочные панели различаются не только по числу горелок, но и по вырабатываемой каждой горелкой мощности. Большинство горелок имеет мощность 1,5–2 кВт; существуют также горелки пониженной (порядка 1 кВт) и повышенной (свыше 3 кВт) мощности. Многие импортные газовые плиты оснащаются четырьмя конфорками, две из которых – со стандартными горелками, одна – повышенной мощности, одна – пониженной. Встречаются другие варианты комплектации варочных поверхностей: с двумя стандартными горелками и двумя горелками повышенной мощности или же с пятью конфорками.

Многие производители не ограничиваются конфорками мощностью 1–3,5 кВт. Сравнительно недавно в мире газовых плит появились двух- и трехконтурные конфорки. В них можно получать два или три контура пламени, расположенных один внутри другого.

Благодаря этому производится более интенсивный нагрев по всей площади конфорки. Управление всеми контурами осуществляется с помощью одной ручки. Многоконтурные конфорки отличаются очень широким диапазоном вырабатываемой мощности.

Также в газовых плитах устанавливают системы электроподжига (электрозажигания) и газ-контроля.

Электроподжиг может быть ручным и автоматическим: в первом случае после поворота переключателя мощности конфорки необходимо нажать на кнопку поджига, при этом напряжение подается на все свечи одновременно. При автоматическом электроподжиге воспламенение газа происходит при повороте ручки переключателя мощности конфорки.

Газ-контролем называется автоматический отсекающий подачу газа в виде специальной термоэлектрической системы, которая блокирует подачу газа, если огонь случайно погаснет или газ изначально не подождет (не сработал электроподжиг).

Помимо числа конфорок и их мощности, газовые плиты различаются по своим габаритным размерам, конструкции духовки (электрическая или газовая) и материалу, из которого изготовлена варочная панель.

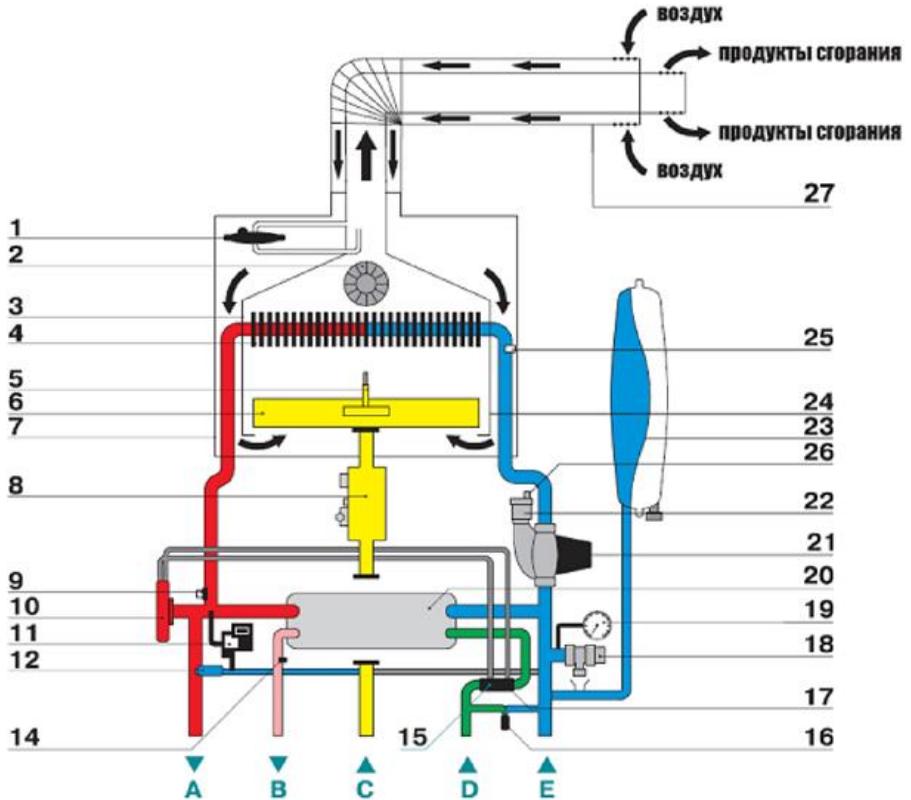
Приготовление горячей воды для хозяйственных целей осуществляется *газовыми водонагревателями* (проточными и емкостными). В последнее время чаще всего используют комбинированные нагреватели, поскольку они обеспечивают и отопление дома, и подачу горячей воды. Наиболее популярным прибором подобного типа является АГВ (автоматический газовый нагреватель).

По принципу устройства газовые котлы делятся на два типа: с открытой и закрытой камерой сгорания.

В котлах *с открытой камерой сгорания* (с естественной тягой) воздух для горения забирается непосредственно из помещения, в котором находится котел, а отработанные газы выбрасываются в дымоход, который должен быть предусмотрен в помещении. Неудобства такого варианта заключаются в том, что если котёл расположен в жилой комнате, то при недостаточной вентиляции помещения возможны ощущения духоты и нехватки кислорода. Поэтому котлы с открытой камерой сгорания лучше устанавливать в специальных помещениях – котельных.

Котёл с закрытой камерой сгорания (рисунок 93) будет потреблять кислород снаружи помещения, через специальный коаксиальный дымоход.

Коаксиальный дымоход построен по принципу «труба в трубе». Воздух для горения газового топлива забирается не из помещения, а с улицы, через наружную трубу, продукты сгорания выбрасываются через внутреннюю трубу коаксиального дымохода в атмосферу. Такое устройство позволяет не устанавливать дополнительные системы



ВЕНТИЛЯЦИИ.

Коаксиальный дымоход

1 - для работы современной газовой котла Gefest-Rihters камерой сгорания (<https://www.teploby.com>);
 2 - вытяжной вентилятор; 3 - колпак дымового коллектора;
 4 - главный теплообменник; 5 - датчик контроля пламени (электрод розжига); 6 - горелка;
 7 - герметичное пространство; 8 - пропорциональный газовый клапан; 9 - датчик температуры контура отопления; 10 - трёхпозиционный клапан; 11 - датчик протока контура отопления;

12 – автоматический клапан байпаса; 14 – датчик температуры воды горячего водоснабжения; 15 – контроллер ограничения подачи воды (10 л/мин); 16 – клапан для подпитки водой контура отопления; 17 – датчик протока ГВС; 18 – предохранительный клапан; 19 – манометр для замера давления воды; 20 – теплообменник контура горячего водоснабжения; 21 – циркуляционный водяной насос; 22 – автоматический клапан отвода воздуха; 23 – расширительный бак; 24 – камера сгорания; 25 – датчик защиты теплообменника от перегрева; 26 – колпачок автоматического отвода воздуха; 27 – коаксиальная труба; А – выход горячей воды для отопления; В – выход воды контура горячего водоснабжения; С – вход газа; D – вход холодной воды; Е – вход охлажденного теплоносителя (воды) из системы отопления

Повышается безопасность дымохода, так как продукты сгорания, проходя по внутренней трубе, остужаются за счет того, что по наружной трубе поступает холодный воздух.

Повышается КПД отопительного прибора, так как поступающий холодный воздух для горения согревается о выхлопную трубу.

Высокий КПД говорит о лучшем дожигании газового топлива, что повышает экологичность отопительного прибора.

Повышается комфорт в помещении, отапливаемом газовым котлом с закрытой камерой сгорания, так как весь цикл горения происходит снаружи помещения.

Поэтому можно заключить, что оборудование с коаксиальным дымоходом более производительное, экологичное и нацеленное на комфорт его владельцев. Однако для циркуляции воздуха по такому дымоходу необходим вентилятор, а установка вентилятора автоматически делает котёл энергозависимым.

Каждый газовый прибор или установка должны удовлетворять техническим требованиям, наиболее важными из которых являются полезная теплопроизводительность $Q_{пол}$, кДж/ч, которая характеризуется коэффициентом полезного действия, %,

$$\eta = \frac{Q_{i\dot{e}}}{BQ_i} \cdot 100\%, \quad (101)$$

где B – расход газа, м³/ч;

Q_n – низшая теплота сгорания газа, кДж/м³.

В практике использования газа различают номинальные и предельные технические показатели газовых бытовых установок.

Паспортные данные установки всегда указываются при номинальной нагрузке. Предельная нагрузка обычно не превышает номинальную более чем на 15–20 %.

К промышленному газовому оборудованию и трубопроводной арматуре относятся: регуляторы давления, предохранительные клапаны, газовые фильтры, газорегуляторные пункты,

транспортибельные котельные установки, системы автоматического контроля загазованности, подогреватели газа для магистрального газопровода, счетчики газа, пункты газорегуляторные блочной конструкции и др.

Выделим основные группы.

Запорные устройства: задвижки, краны и вентиля. Функциональное назначение – перекрытие потока среды в трубопроводе для технологических нужд. Традиционно применяемые задвижки постепенно вытесняются шаровыми кранами.

Устройства ограничения расхода: заслонки, дисковые затворы. Функциональное назначение — частичное или полное ограничение расхода газа путем изменения проходного сечения трубопровода. Ставятся обычно перед горелками промышленных котлов, управляются исполнительным механизмом или вручную.

Регуляторы давления газа. Функциональное назначение — поддержание требуемого давления в газораспределительных сетях независимо от интенсивности потребления газа. При регулировании давления происходит снижение начального, или входного (более высокого), давления на конечное, или выходное (более низкое).

Клапаны предохранительные служат для предотвращения недопустимого понижения или повышения давления в газораспределительных сетях, делятся на запорные и сбросные.

Фильтры газовые необходимы для очистки газа от механических примесей. Применение фильтров позволяет повысить герметичность запорных устройств, работоспособность регуляторов давления и предохранительных клапанов, счетчиков и измерительных диафрагм.

Устройства учета: счетчики газа, расходомеры. Функциональное назначение – определение объема природного газа, прошедшего через участников системы газораспределения для проведения взаимных расчетов. Счетчики газа по пропускной способности делятся на бытовые (до 10 м³/ч), коммунально-бытовые (от 10 до 40 м³/ч) и промышленные (свыше 40 м³/ч).

Самым распространенным оборудованием в газораспределительных сетях являются технологические линии, собранные из вышеописанной арматуры, – *газорегуляторные пункты и пункты учета расхода газа.*

Газорегуляторный пункт шкафной (ГРПШ) – это полностью готовое изделие заводской сборки, где собрана технологическая линия из запорных устройств, фильтра, регулятора давления и предохранительных клапанов, помещенная в металлический шкаф.

Предназначение ГРПШ – поддержание требуемого давления в газораспределительных сетях. Гамма выпускаемых промышленностью газорегуляторных пунктов весьма широка – от домовых ГРПШ-6 пропускной способностью 6 м³/ч и весом 3 кг до блочных ГРП пропускной способностью 35 000 м³/ч и весом до 9 т.

Пункты учета расхода газа (ПУРГ) – это технологическая линия, содержащая устройство учета расхода.

10.5 Газовое отопление

Газовое отопление – это вид отопления, при котором топливом служат горючие газы, сжигаемые в отопительных котлах (излучателях, каминах и др.), установленных в помещениях.

Основное предназначение газового отопления – обогрев помещений теплым воздухом. Целесообразность широкого использования газа для отопления промышленных и коммунально-бытовых предприятий, а также в котельных централизованного теплоснабжения, особенно в крупных городах, в значительной мере определяется тем, что продукты его сгорания почти не загрязняют воздушный бассейн города, подача газа к потребителям происходит по трубопроводам, не загружается транспорт.

Газовое отопление имеет **два основных недостатка** – взрывоопасность газозвушных смесей и токсичность самого газа (особенно продуктов его сгорания), в связи с чем необходимо предусматривать систему безопасности, а также предъявлять повышенные требования при эксплуатации установок газового отопления. Внедрение автоматики и дистанционного управления при сжигании газа создаёт благоприятные условия для безопасности его применения. Котельные, работающие на газовом топливе, могут располагаться в верхнем этаже отапливаемого здания. Газ может использоваться также в комбинированных установках, которые обеспечивают зимой отопление зданий, а летом – их охлаждение.

Газовое отопление включает в себя газопроводы, подводящие газ к отопительным приборам, запорно-регулирующую арматуру и автоматически действующие приборы безопасности пользования газом.

Под термином "газовое отопление" понимают системы, работающие на газе:

- настенные и напольные котлы;
- газовые нагреватели;
- газовые нетеплоемкие отопительные приборы;
- газозвушные теплообменники;
- газозвушные излучатели;

– газовые горелки инфракрасного излучения.

Газовые печи наиболее экономичны среди других видов печей (их КПД примерно в 1,3 раза выше КПД печей на твердом топливе), работа их может быть полностью автоматизирована. В печах устраивают горелочное устройство, главные элементы которого – основная и запальная горелки и автоматика безопасности. Основная горелка – эжекционная, первичный воздух (50 % необходимого для полного сжигания) проходит в горелку, остальная часть воздуха подмешивается к пламени непосредственно в топке. Автоматика безопасности предназначена для прекращения подачи газа на основную и запальные горелки в следующих случаях: при отсутствии тяги в дымоходе печи, погасании пламени на запальной горелке, падении давления газа перед горелкой ниже допустимого предела.

Газовые водонагреватели служат источником теплоты в квартирной системе отопления и представляют собой напольный или подвесной шкаф из листовой стали. В его конструкцию входят теплообменник в виде сварного штампованного радиатора, размещенного горизонтально и имеющего со стороны задней стенки аппарата трубы для входа и выхода воды, горелочные устройства с эжекционной горелкой, блоки автоматики.

Газовые нетеплоемкие отопительные приборы используют для обогрева жилых помещений в южных районах – камины радиационного и конвективного действия. *Камин радиационного действия* состоит из горелки инфракрасного излучения с керамической насадкой теплообменника, через который проходят продукты сгорания, отходящие от горелки и нагревающие воздух; дымоотводящего патрубка, в котором установлен регулятор тяги, и блока автоматики безопасности, отключающего подачу газа в горелку при погасании пламени. Камин конвективного действия устанавливается у наружной стены помещения и состоит из трех отсеков: собственно камеры сгорания, камеры уходящих газов и воздушного канала.

В системах воздушного отопления воздух может нагреваться в *газовоздушных теплообменниках*, когда теплота сгорания газа частично или полностью передается холодному воздуху. Смесительные газоздушные теплообменники применяют для совместного отопления и вентиляции производственных помещений. Все нагреватели оснащены автоматикой регулирования температуры смеси, а также автоматикой безопасности.

В системах *газовоздушного отопления с излучателями* функцию отопительных приборов выполняют теплоизлучающие трубы,

проложенные в верхней зоне (не ниже 5 м от поверхности пола) помещения. Внутри замкнутого контура теплоизлучающих труб циркулирует смесь нагретого воздуха с продуктами сгорания. Теплоотдача с поверхности труб в помещение происходит преимущественно излучением (58 %).

11 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа на тему «Отопление и вентиляция жилого здания» предназначена для закрепления теоретических знаний по курсу «Инженерные сети и оборудование зданий и сооружений» [38].

В состав курсовой работы входит расчетно-пояснительная записка с теплотехническим расчетом основных ограждающих конструкций, описанием конструкции и расчетом систем отопления и вентиляции здания объемом до 10 тыс. м³ при централизованном теплоснабжении и графическая часть с планами здания, схемами систем отопления и вентиляции.

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена в соответствии с нормами, предъявляемыми к технической документации, и включать в себя основные разделы в указанной ниже последовательности:

Введение

1 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

2 Расчет системы отопления здания

3 Расчет системы вентиляции здания

Заключение

Список литературы

Рекомендуемый объем – не менее 25 страниц.

В разделе «*Введение*» приводятся:

– назначение систем отопления и вентиляции для жизнедеятельности человека;

– краткое описание проектируемого здания (назначение, число этажей, характеристика основных конструкций, наличие подвала и чердака, строительный объем);

– краткая характеристика запроектированных устройств (источник теплоснабжения, теплоноситель и вид системы центрального отопления, тип отопительных приборов, вид системы вентиляции);

– климатологические данные местности строительства (расчетные температуры и скорость ветра);

– метеорологические условия в помещениях (расчетные температуры и относительная влажность воздуха).

В разделе «*Теплотехнический расчет ограждающих конструкций*» приводятся расчеты термического сопротивления наружной стены, чердачного и подвального перекрытий и толщины теплоизоляционного слоя для этих ограждений.

В разделе «*Отопление здания*»:

– расчет теплопотерь помещений;

– определение удельной тепловой характеристики здания;

– описание системы отопления и ее основных конструктивных элементов;

– расчет нагревательных приборов;

– гидравлический расчет трубопроводов.

В разделе «*Вентиляция здания*»:

– определение воздухообмена в помещениях;

– выбор системы вентиляции и ее конструирование;

– аэродинамический расчет одной из систем вентиляции.

В «*Заключении*» приводятся полученные данные по расчетам и сравниваются с нормативными, в том числе и с приведенным потреблением тепловой энергии.

Список литературы должен содержать только литературу,

которая непосредственно использована студентом и на которую имеются ссылки в тексте курсовой работы. Список должен быть составлен по правилам библиографии [24].

Графическая часть должна быть оформлена в соответствии с правилами, изложенными в [25], и содержать:

а) план подвала (технического подполья) с размещением теплового пункта, теплопроводов и оборудования отопительно-вентиляционных систем;

б) план первого этажа с размещением отопительных приборов, теплопроводов, вентиляционных каналов;

в) план чердака с размещением теплопроводов (при верхней разводке), вентиляционных каналов и оборудования отопительно-вентиляционных систем;

г) характерный разрез с нанесением элементов систем отопления и вентиляции;

д) аксонометрические схемы систем отопления и вентиляции.

Графическая часть выполняется, как правило, **в масштабе 1:100**, чертежи отдельных узлов и деталей – в масштабе 1:20, 1:50.

Все контуры строительных конструкций выполняются линией одинаковой толщины, контуры оборудования систем отопления и вентиляции – основной жирной линией. На листе, где размещаются планы здания, **должна быть указана ориентация главного фасада здания** по отношению к странам света.

Планы с системами отопления и вентиляции этажа изображаются в виде разреза горизонтальной плоскостью, проходящей под перекрытием или покрытием данного этажа.

На планы, разрезы и узлы наносят: разбивочные оси здания и расстояния между ними; размер здания по периметру; отметки чистых полов этажей и основных площадок; диаметры теплопроводов систем отопления; обозначения стояков систем отопления; привязку к разбивочным осям здания отопительно-вентиляционных установок; диаметры (сечения) воздухопроводов и каналов и их привязку к разбивочным осям здания.

Теплопроводы, расположенные друг над другом, на планах систем условно изображают параллельными линиями.

Элементы систем отопления, вентиляции и теплоснабжения на планах и разрезах указывают условными графическими

обозначениями или в виде упрощенных графических изображений.

Все помещения нумеруются слева направо по часовой стрелке. Номерные знаки проставляются в середине помещения, под чертой – его теплопотери. Помещения подвала нумеруются на планах, начиная с 1; помещения первого этажа – с 101, второго – с 201 и т.д.; лестничные клетки – ЛК.

На основании размещения элементов систем отопления и вентиляции на планах этажей, подвала, чердака строятся аксонометрические схемы проектируемых систем.

Схемы систем выполняются в аксонометрической фронтальной изометрической проекции в масштабе 1:100. На схемах систем отопления условными графическими обозначениями показывают: трубопроводы и их диаметры, отметки уровня осей трубопроводов, уклоны трубопроводов, запорно-регулирующую арматуру, подающие и обратные стояки систем отопления, отопительные приборы, контрольно-измерительные приборы и другие элементы систем.

На схемах системы вентиляции нумеруются, например, «ВЕ-1», «ВЕ-2» и т.д., и указывают: воздуховоды, их диаметры (сечения) и количество проходящего воздуха, м³/ч; отметки уровня оси круглых и низа прямоугольных воздуховодов; оборудование вентиляционных установок.

***Примечание** – Состав курсовой работы может изменяться в зависимости от задания и особенностей преподавания дисциплины в том или ином университете.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебник содержит современные знания и структурированную информацию, необходимую будущему инженеру-строителю зданий и сооружений для возможности разбираться и находить приемлемые решения в направлении создания или реконструкции инженерных сетей по отоплению, вентиляции, теплоснабжению.

Важным инструментом современного учебного процесса является использование презентационного материала, поэтому на лекциях, практических и лабораторных занятиях [39] студентам более подробно раскрываются отдельные темы с использованием мультимедийных материалов.

Изучив предложенные темы, читатель сможет ориентироваться в применении прогрессивных проектно-технических решений и энергоэффективных систем жизнеобеспечения в строительстве по сложившейся на настоящее время теории и практике.

Однако наука и промышленность находятся в постоянном развитии, и поэтому уже на своем рабочем месте необходимо будет самосовершенствоваться и внедрять современные технологии и материалы (например, для тепловой модернизации построенных зданий и сооружений, при использовании альтернативных источников энергии и др.).

Данный учебник по дисциплине «Инженерные сети и оборудование (Теплогазоснабжение, отопление и вентиляция)» содержит необходимый и достаточный объем информации для того, чтобы в дальнейшем специалист мог самостоятельно углублять и наращивать знания в тех или иных областях этой отрасли строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно-техническая

- 1 **СНБ 4.02.01–03**. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2003–16–10. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 78 с.
- 2 **СНБ 2.04.02–2000**. Строительная климатология. – Введ. 2000–08–12. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 37 с.
- 3 **СНБ 3.02.04–03**. Жилые здания. – Введ. 2003–21–12. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 35 с.
- 4 **СТБ 1281–2001**. Конвекторы отопительные: Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 12 с.
- 5 **СТБ 1293–2001** Трубы полимерные для систем отопления и горячего водоснабжения. Технические условия.– Введ. 2001–10–29. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2002. – 17 с.
- 6 **СТБ 2251–2012** Трубы-оболочки из полиэтилена для ПИ труб и изделий к ним. Технические условия – Введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 12 марта 2012 г. № 14.
- 7 **СТБ 2252–2012**. Трубы стальные, предварительно термозолированные пенополиуретаном. Технические условия. – Введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 12 марта 2012 г. № 14.
- 8 **СанПиН 10–13 РБ 99**. Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. – Введ. 1999–21–12. – Минск, 2000.
- 9 **П1-04 к СНБ 2.04.01–97**. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий. Пособие к строительным нормам. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2004. – 32 с.
- 10 **П1-03 к СНБ 4.02.01–03** Проектирование и устройство систем отопления из полимерных труб. – Введ. 2003–12–30. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2005. – 54 с.
- 11 **ТКП 45-2.04-43–2006** Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. – Введ. 29.12.2006. –Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006. – 32 с.
- 12 **ТКП 45-1.04-14–2005** Техническая эксплуатация жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок проведения. – Введ. 2005–10–10. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006. – 40 с.
- 13 **ТКП 45-1.03-85–2007** Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Правила монтажа. – Введ. 2007–12–07. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 32 с.
- 14 **ТКП 45–4.02-74–2007** Системы отопления и вентиляции усадебных жилых домов. Правила проектирования. – Введ. 2007–11–08. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2008. – 17 с.
- 15 **ТКП 45–4.02-89–2007** Тепловые сети бесканальной прокладки из стальных труб, предварительно термозолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Правила проектирования и монтажа. – Введ. 2007–12–21. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. – 43 с.
- 16 **ТКП 45-4.02-182–2009** (02250) Тепловые сети. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2007–12–21. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009. – 17 с.

Беларусь, 2009. – 58 с.

17 **ТКП 45-4.02-184–2009** (02250) Тепловые сети бесканальной прокладки из полимерных труб, предварительно термоизолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Правила проектирования и монтажа. – Введ. 2010-07-01. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009. – 14 с.

18 **ТКП 45-4.03-267–2012** (02250) Газораспределение и газопотребление. – Введ. 2012-07-18. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2012. – 97 с.

19 **ГОСТ 30494–96** Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М., 1996. – 20 с.

20 **ГОСТ 10944–97**. Краны регулирующие и запорные ручные для систем водяного отопления зданий. Общие технические условия. – Введ. 2001-04-01. – М.: МНТКС, 2001. – 15 с.

21 **Закон** Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. «Об энергосбережении» // Ведымаці Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь. – 1998. – № 31–32. – С. 470.

Учебно-справочная

22 **Амерханов, Л. Н.** Теплотехника: учеб. для вузов. – 2-е изд. / Л. Н. Амерханов, Б. Х. Драганов. – М.: Энергоиздат, 2006. – 432 с.

23 Об инфракрасном обогреве помещений / А. П. Ахрамович [и др.] // Энергоэффективность. – 2005. – № 6. – С. 8–10.

24 Панели лучистого отопления / А. П. Ахрамович [и др.] // Энергоэффективность. – 2005. – № 9. – С. 8–9; № 10. – С. 12–13.

25 **Болотских, Н. Н.** Особенности лучистого отопления производственных помещений // Науковий вісник будівництва: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2010. – Вип. 57. – С. 320–328.

26 **Бухаркин, Е. Н.** Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений: учеб. / Е. Н. Бухаркин, В. М. Овсянников, К. С. Орлов; под ред. Ю. П. Соснина. – М.: Высшая школа, 2001. – 415 с.

27 **Варфоломеев, Ю. М.** Отопление и тепловые сети: учеб. / Ю. М. Варфоломеев, О. Я. Какоркин. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 480 с.

28 Внутренние санитарно-технические устройства (Справочник проектировщика). В 3 ч. Ч I / В. Н. Богословский [и др.]; Отопление / И. Г. Староверова, Ю. И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990.

29 Водяное отопление / авт.-сост. В. И. Назаров. – М.: Спектр-Трейддинг: Траст-Пресс, 2000. – 221 с.

30 Газоснабжение: учеб. для студентов вузов по специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция» / А. А. Ионин [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 472 с.

31 **Голубков, Б. Н.** Кондиционирование воздуха, отопление и вентиляция: учеб. для вузов / Б. Н. Голубков, Б. И. Пятачков, Т. М. Романова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 232 с.

32 Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учеб. для вузов / В. М. Гусев [и др.]. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 343 с.

33 **Еремкин, А. И.** Тепловой режим зданий: учеб. пособие / А. И. Еремкин, Т. И. Королева. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 363 с.

34 **Ионин, А. А.** Надежность систем тепловых сетей / А. А. Ионин. – М.: Стандарт, 1989. – 268 с.

35 Каталог выпускаемой продукции ЗАО "Стройэнерго". – Электронный ресурс: <http://stroyenergo.by>. – Дата доступа 1.10.2013.

36 **Копко, В. М.** Пластинчатые теплообменники в системах централизованного теплоснабжения. Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие / В. М. Копко, М. Г. Пшоник. – Минск: БНТУ, 2005. – 197 с.

37 **Михневич, Н. Н.** Вентиляция и кондиционирование воздуха / Н. Н.

Михневич. – Минск: БНТУ, 2006. – 56 с.

38 **Невзорова, А. Б.** Инженерные сети и оборудование (отопление и вентиляция жилого здания): учеб.- метод. пособие по курсовому проектированию / А. Б. Невзорова, А. В. Терещенко. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 67 с.

39 **Невзорова, А. Б.** Инженерные сети и оборудование (отопление и вентиляция): лаб. практ. / А. Б. Невзорова, О. К. Новикова, А. В. Терещенко. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 35 с.

40 **Невский, В. В.** Поквартирные системы отопления многоэтажных зданий: пособие / В. В. Невский. – М.: ООО «Данфосс», 2008. – 36 с.

41 **Озерская, А. Р.** О необходимости и возможностях поквартирного учета и регулирования тепла / А. Р. Озерская // Энергоэффективность. – 2006. – № 5. – С. 11–12.

42 **Покотилов В. В.** Пособие по расчету систем отопления / В. В. Покотилов. – Минск, Вена: HERZArmaturen, 2006. – 144 с.

43 **Рыженко, В. И.** Современные печи: справочник / В. И. Рыженко. – М.: Ониск 21 век, 2006. – 192 с.

44 **Синицин В. Н.** Тепло вашего дома / В. Н. Синицин // Мир климата. – 2005. – № 13. – <http://www.mir-klimata.apic.ru>

45 Система индивидуального (поквартирного) расчета за тепло. – Минск: ИП «ВитерраЭнергосервис», 2005. – 2 с.

46 **Сканави, А. Н.** Отопление: учеб. для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.

47 **Соколовский, Л.** Энергосбережение в строительстве. htm / Л. Соколовский // Строительство и недвижимость. – 2005. – № 14.

48 **Тихомиров, К. В.** Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: учеб. для вузов / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеенко. – М.: Стройиздат, 1991. – 340 с.

49 Теплооснабжение, отопление и вентиляция: учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования / Б. М. Хрусталеv [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.

50 **Яковлев, Б. В.** Повышение эффективности систем теплофикации и теплооснабжения / Б. В. Яковлев. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.

51 Перечень работ по проектированию систем отопления / ЧУП «Интергазсервис» <http://www.igs.by/proektnye-raboty/proektirovanie-sistem-otopleniya.html>. – Дата доступа 04.01.2013.

Интернет-ресурсы

<http://www.abok.ru/>

<http://www.gaz-dom.ru/infogaz22.html>

<http://www.alternative-climate.ru>

<http://www.climatexpo.ru>

<http://www.teplo-com.ru>

<http://www.heating-systems.ru>

<http://www.besthome.ru>

<http://www.s-pribor.ru>

<http://www.teletherm.ru/kotelnye/krysh.php>

<http://www.vashdom.ru>

<http://www.str-st.ru>

<http://www.gazovik-gaz.ru/about/articles/10/>

<http://www.buildingseq.ru/>. Обзор инженерного оборудования зданий.

«Классификация и принципы расчета». © 2013

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Контрольные вопросы

- 1 Назовите способы переноса теплоты в пространстве и теплообмена между телами.
- 2 Какой процесс теплообмена называется теплопередачей?
- 3 Что понимают под первым и вторым условиями комфортности?
- 4 Какими параметрами характеризуется микроклимат помещения?
- 5 Чем отличаются оптимальные метеорологические условия от допустимых ?
- 6 Какие инженерные системы служат для создания микроклимата?
- 7 Какой основной параметр характеризует холодный период года? теплый?
- 8 Запишите формулу для требуемого термического сопротивления теплопередаче наружного ограждения и поясните входящие в нее величины.
- 9 Как влияет влажность воздуха в помещении на теплозащитные качества ограждений?
- 10 По какой формуле рассчитываются теплопотери помещений?
- 11 Что понимают под добавочными теплопотерями и как они учитываются?
- 12 Что такое инфильтрация воздуха?
- 13 Какие могут быть теплопоступления в помещения и как они учитываются в тепловом балансе помещения?
- 14 Запишите выражение для определения тепловой мощности системы отопления.
- 15 В чем смысл удельной тепловой характеристики здания и как она определяется?
- 16 Какие требования предъявляются к системам отопления?
- 17 По каким признакам разделяются системы отопления?
- 18 Какие теплоносители используются для систем топления? Их достоинства и недостатки.
- 19 По каким признакам классифицируются системы водяного отопления?
- 20 Почему теплопроводы необходимо прокладывать с уклонами?
- 21 Какая запорно-регулирующая арматура используется в системах водяного отопления?
- 22 Как определяется естественное циркуляционное давление?
- 23 Цель гидравлического расчета теплопроводов систем водяного отопления, порядок расчета.
- 24 Какие основные требования предъявляются к отопительным приборам?
- 25 Где размещают и как устанавливают отопительные приборы?
- 26 Назовите методы регулирования теплоотдачи отопительных приборов?
- 27 В каких случаях применяются системы парового отопления и почему?
- 28 Назовите преимущества и недостатки систем воздушного отопления.
- 29 В каких случаях следует применять системы воздушного отопления?
- 30 Что понимают под воздухообменом и под кратностью воздухообмена?
- 31 В чем преимущества и в каких случаях применяют рециркуляционные воздушонагреватели?
- 32 В каких случаях необходимо устройство воздушно-тепловых завес у

наружных входов в здание и каково их назначение?

33 Какие достоинства и недостатки имеет печное, электрическое и газовое отопление?

34 Какой может быть вентиляция по способу организации воздухообмена?

35 Каким образом можно устроить естественную вентиляцию?

36 Какие этапы включает в себя аэродинамический расчет воздухопроводов?

37 Какие типы вентиляторов и нагревательных устройств применяют в системах вентиляции?

38 Что понимают под местной и приточной вентиляцией?

39 Назовите основные меры противопожарной защиты зданий.

40 Для чего служат системы кондиционирования воздуха, их разновидности?

41 Что такое условное топливо и какие условия необходимы для эффективного горения топлива?

42 Из каких основных звеньев состоят системы централизованного теплоснабжения?

43 Какова роль газа в топливном балансе страны, основы газоснабжения городов.

44 Какие необходимо соблюдать условия для экономии теплоты?

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

**Расчетная температура воздуха и кратность воздухообмена
в помещениях жилых зданий (по СНБ 3.02.04–03)**

Помещение	Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С	Кратность воздухообмена или количество удаляемого воздуха из помещения	
		приток	вытяжка
1 Жилая комната в квартире или в общежитии	18(20)	По расчету для компенсации удаляемого	3 м ³ /ч – на 1 м ² жилых комнат
2 Кухня в квартире или в общежитии: с электроплитами	18	По расчету для приточно-вытяжной механической вентиляции	Не менее 60 м ³ /ч
с газовыми плитами			Не менее: 60 м ³ /ч – при двухконфорочных плитах; 75 м ³ /ч – при трёхконфорочных плитах; 90 м ³ /ч – при четырёхконфорочных плитах
4 Ванная	25	–	25 м ³ /ч
5 Уборная индивидуальная	18	–	25 м ³ /ч
6 Совмещенный санитарный узел	25	–	50 м ³ /ч
7 Совмещенный санитарный узел с индивидуальным нагревом	18	–	50 м ³ /ч
8 Вестибюль, общий коридор, лестничная клетка в квартирном доме	16	–	–
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В угловых помещениях квартир и общежитий расчетную температуру воздуха следует принимать на 2 °С выше указанной в таблице.</p> <p>2 Значение в скобках относится к квартирам для престарелых и инвалидов.</p> <p>3 В лестничных клетках домов с поквартирным отоплением температура воздуха не нормируется.</p> <p>4 Расчетная производительность вытяжной вентиляции, определяемая по норме для кухонь и санитарных узлов, не должна быть ниже расчетного воздухообмена квартиры (жилой ячейки общежитий), определяемого по норме для жилых комнат.</p>			

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

**Нормативные удельные расходы тепловой энергии на
отопление и вентиляцию жилых зданий (по СНБ 4.02.01–03)**

Объекты нормирования	Нормативный удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию	
	q_d , Вт·ч/(м ² ·°С·сут)	q_v , Вт·ч/(м ³ ·°С·сут)
Жилые дома (9 этажей и более) с на- ружными стенами:		
из многослойных панелей	21,7	7,8
монолитного бетона	22,2	7,9
штучных материалов	22,9	8,2
Жилые дома (6–8 этажей) с наружными стенами:		
из многослойных панелей	23,0	8,2
штучных материалов	24,4	8,7
Жилые дома (4–5 этажей) с наруж- ными стенами:		
из многослойных панелей	22,5	8,0
штучных материалов	24,0	8,6
Жилые дома (2–3 этажа) с наружными стенами из штучных материалов	29,6	10,6
Коттеджи, жилые дома усадебного типа, в том числе с мансардами	35,4	12,6

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

**Данные для гидравлического расчета трубопроводов
систем водяного отопления**

Удельные потери давления на трение R , Па/м	Количество проходящей воды G , кг/ч (над чертой), и скорость движения воды v , м/с (под чертой), по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262-75*) условным проходом d , мм						
	15	20	25	32	40	50	70
1	<u>16,5</u> 0,023	<u>36</u> 0,028	<u>69</u> 0,034	<u>148</u> 0,041	<u>210</u> 0,045	<u>409</u> 0,052	<u>788</u> 0,06
1,4	<u>19</u> 0,027	<u>44</u> 0,034	<u>84</u> 0,041	<u>180</u> 0,049	<u>249</u> 0,052	<u>496</u> 0,064	<u>948</u> 0,073
1,8	<u>22</u> 0,031	<u>50</u> 0,039	<u>108</u> 0,051	<u>197</u> 0,054	<u>287</u> 0,06	<u>571</u> 0,073	<u>1077</u> 0,082
2	<u>24</u> 0,033	<u>53</u> 0,042	<u>111</u> 0,054	<u>203</u> 0,057	<u>304</u> 0,064	<u>606</u> 0,078	<u>1137</u> 0,087
2,4	<u>26</u> 0,037	<u>59</u> 0,046	<u>120</u> 0,057	<u>223</u> 0,062	<u>338</u> 0,071	<u>671</u> 0,087	<u>1258</u> 0,096
2,8	<u>28</u> 0,041	<u>64</u> 0,05	<u>130</u> 0,064	<u>244</u> 0,068	<u>368</u> 0,077	<u>729</u> 0,096	<u>1377</u> 0,106
3,2	<u>31</u> 0,044	<u>72</u> 0,058	<u>140</u> 0,068	<u>263</u> 0,073	<u>396</u> 0,083	<u>774</u> 0,102	<u>1438</u> 0,114
3,6	<u>33</u> 0,047	<u>80</u> 0,062	<u>143</u> 0,071	<u>281</u> 0,078	<u>422</u> 0,089	<u>818</u> 0,108	<u>1576</u> 0,121
4	<u>35</u> 0,05	<u>85</u> 0,065	<u>146</u> 0,073	<u>299</u> 0,082	<u>448</u> 0,094	<u>861</u> 0,115	<u>1667</u> 0,128
6	<u>44</u> 0,063	<u>103</u> 0,08	<u>169</u> 0,082	<u>373</u> 0,103	<u>559</u> 0,118	<u>1081</u> 0,144	<u>2090</u> 0,16
8	<u>55</u> 0,082	<u>113</u> 0,088	<u>199</u> 0,097	<u>424</u> 0,112	<u>642</u> 0,135	<u>1236</u> 0,161	<u>2470</u> 0,178
10	<u>59</u> 0,087	<u>126</u> 0,097	<u>225</u> 0,109	<u>490</u> 0,136	<u>726</u> 0,151	<u>1445</u> 0,182	<u>2744</u> 0,21
12	<u>63</u> 0,093	<u>140</u> 0,108	<u>248</u> 0,12	<u>567</u> 0,149	<u>809</u> 0,17	<u>1583</u> 0,201	<u>3011</u> 0,23
14	<u>67</u> 0,098	<u>151</u> 0,117	<u>269</u> 0,131	<u>579</u> 0,16	<u>876</u> 0,184	<u>1720</u> 0,218	<u>3246</u> 0,248
16	<u>70</u> 0,103	<u>163</u> 0,126	<u>289</u> 0,141	<u>621</u> 0,172	<u>937</u> 0,197	<u>1858</u> 0,236	<u>3428</u> 0,266
18	<u>74</u> 0,108	<u>174</u> 0,135	<u>309</u> 0,15	<u>663</u> 0,184	<u>997</u> 0,21	<u>1974</u> 0,251	<u>3718</u> 0,284
20	<u>77</u> 0,114	<u>184</u> 0,142	<u>332</u> 0,161	<u>705</u> 0,195	<u>1058</u> 0,222	<u>2090</u> 0,265	<u>3953</u> 0,302
24	<u>84</u> 0,124	<u>204</u> 0,157	<u>360</u> 0,175	<u>778</u> 0,215	<u>1106</u> 0,245	<u>2291</u> 0,291	<u>4327</u> 0,331
28	<u>91</u> 0,135	<u>221</u> 0,171	<u>391</u> 0,19	<u>840</u> 0,233	<u>1261</u> 0,265	<u>2645</u> 0,312	<u>4702</u> 0,35

Окончание приложения Г

Удельные потери давления на трение R , Па/м	Количество проходящей воды G , кг/ч (над чертой), и скорость движения воды v , м/с (под чертой), по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262-75*) условным проходом d , мм						
	15	20	25	32	40	50	70
32	<u>98</u> 0,145	<u>237</u> 0,183	<u>416</u> 0,202	<u>902</u> 0,25	<u>1357</u> 0,284	<u>2740</u> 0,334	<u>5043</u> 0,383
36	<u>106</u> 0,156	<u>256</u> 0,195	<u>441</u> 0,214	<u>964</u> 0,267	<u>1444</u> 0,304	<u>2814</u> 0,356	<u>5350</u> 0,409
40	<u>112</u> 0,164	<u>267</u> 0,206	<u>467</u> 0,226	<u>1026</u> 0,284	<u>1525</u> 0,321	<u>2973</u> 0,376	<u>5657</u> 0,433
50	<u>126</u> 0,186	<u>297</u> 0,23	<u>530</u> 0,257	<u>1146</u> 0,318	<u>1710</u> 0,36	<u>3336</u> 0,422	<u>6339</u> 0,485
60	<u>139</u> 0,205	<u>324</u> 0,25	<u>593</u> 0,288	<u>1270</u> 0,35	<u>1866</u> 0,393	<u>3699</u> 0,468	<u>6971</u> 0,533
70	<u>151</u> 0,223	<u>351</u> 0,271	<u>635</u> 0,308	<u>1369</u> 0,379	<u>2022</u> 0,426	<u>3988</u> 0,504	<u>7534</u> 0,576
80	<u>162</u> 0,239	<u>388</u> 0,291	<u>677</u> 0,328	<u>1467</u> 0,406	<u>2178</u> 0,458	<u>4276</u> 0,54	<u>8066</u> 0,618
90	<u>173</u> 0,255	<u>404</u> 0,312	<u>719</u> 0,348	<u>1554</u> 0,43	<u>2309</u> 0,486	<u>4543</u> 0,574	<u>8567</u> 0,655
100	<u>183</u> 0,269	<u>430</u> 0,332	<u>759</u> 0,369	<u>1632</u> 0,452	<u>2431</u> 0,512	<u>4788</u> 0,605	<u>9035</u> 0,691
120	<u>201</u> 0,295	<u>469</u> 0,362	<u>835</u> 0,405	<u>1786</u> 0,494	<u>2674</u> 0,563	<u>5250</u> 0,664	<u>9899</u> 0,757
140	<u>216</u> 0,318	<u>507</u> 0,392	<u>904</u> 0,438	<u>1939</u> 0,537	<u>2855</u> 0,609	<u>5686</u> 0,719	<u>10584</u> 0,81
160	<u>229</u> 0,338	<u>546</u> 0,422	<u>972</u> 0,471	<u>2079</u> 0,575	<u>3095</u> 0,651	<u>6093</u> 0,77	<u>11269</u> 0,862
180	<u>243</u> 0,358	<u>584</u> 0,451	<u>1028</u> 0,499	<u>2201</u> 0,609	<u>3294</u> 0,693	<u>6473</u> 0,818	<u>11953</u> 0,914
200	<u>256</u> 0,377	<u>614</u> 0,474	<u>1084</u> 0,526	<u>2325</u> 0,643	<u>3513</u> 0,739	<u>6823</u> 0,862	<u>12638</u> 0,967
220	<u>270</u> 0,397	<u>643</u> 0,497	<u>1141</u> 0,553	<u>2448</u> 0,678	<u>3684</u> 0,775	<u>7159</u> 0,904	<u>13323</u> 1,01
240	<u>283</u> 0,417	<u>673</u> 0,52	<u>1197</u> 0,591	<u>2572</u> 0,712	<u>3808</u> 0,801	<u>7476</u> 0,944	<u>14008</u> 1,07
260	<u>296</u> 0,436	<u>702</u> 0,542	<u>1240</u> 0,602	<u>2671</u> 0,739	<u>3955</u> 0,834	<u>7782</u> 0,983	<u>14693</u> 1,12
280	<u>310</u> 0,456	<u>732</u> 0,565	<u>1284</u> 0,623	<u>2720</u> 0,767	<u>4113</u> 0,865	<u>8076</u> 1,02	<u>15215</u> 1,16
300	<u>319</u> 0,47	<u>756</u> 0,584	<u>1327</u> 0,644	<u>2869</u> 0,794	<u>4260</u> 0,896	<u>8359</u> 1,05	<u>15749</u> 1,2
320	<u>329</u> 0,484	<u>780</u> 0,602	<u>1372</u> 0,655	<u>2969</u> 0,821	<u>4408</u> 0,928	<u>8634</u> 1,08	<u>16266</u> 1,2
340	<u>338</u> 0,499	<u>804</u> 0,621	<u>1415</u> 0,686	<u>3067</u> 0,849	<u>4546</u> 0,957	<u>8900</u> 1,1	<u>16768</u> 1,2
360	<u>348</u> 0,513	<u>828</u> 0,64	<u>1458</u> 0,708	<u>3153</u> 0,873	<u>4684</u> 0,986	<u>9157</u> 1,15	<u>17252</u> 1,3

ПРИЛОЖЕНИЕ E

(справочное)

Основные термины и определения

Жилые здания

Отметка земли планировочная – уровень земли на границе отмостки.

Секция жилого здания – часть здания, где входы в жилые помещения организованы из одной лестничной клетки непосредственно или через коридор, при этом в многосекционных жилых домах секции здания отделены друг от друга глухими стенами или перегородками.

Тамбур – проходное помещение, служащее для защиты от проникновения холодного воздуха, дыма и запахов при входе в здание, лестничную клетку или другие помещения.

Чердак – пространство, заключенное между конструкцией крыши, перекрытием верхнего этажа здания и, как правило, наружными стенами. Чердак называется «холодным», когда утеплитель над верхним этажом расположен в пределах его перекрытия, и «теплым», когда утеплитель расположен в пределах конструкции крыши над чердаком, при этом воздух, выходящий из вентиляционной системы здания и открыто проходящий через пространство чердака, используется в качестве дополнительного источника теплоты для обогрева верхнего этажа в холодный период года.

Этаж надземный – этаж при отметке пола помещений не ниже планировочной отметки земли.

Этаж подвальный – этаж при отметке пола помещений ниже планировочной отметки земли более чем на половину высоты помещений.

Этаж технический – этаж для размещения инженерного оборудования и прокладки коммуникаций. Он может быть расположен в нижней («техническое подполье»), верхней («технический чердак») или в средней части здания.

Климатология

Климатические параметры – числовые значения метеорологических элементов, осредненные за достаточно продолжительный период времени.

Метеорологические элементы – название ряда характеристик состояния воздуха и атмосферных процессов, например: скорость ветра, температура воздуха, количество осадков, относительная влажность и др.

Среднее годовое значение элемента – среднее арифметическое средних месячных значений элемента за 12 месяцев.

Направление ветра – направление, преобладающее по розе ветров.

Прямая солнечная радиация – солнечная радиация, поступающая на поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнечного диска.

Повторяемость – отношение числа случаев со значениями элемента, входящими в данный интервал, к общему числу членов ряда.

Обеспеченность – интегральная (суммарная) повторяемость значений климатического параметра не меньше (равно и выше) или не больше (равно и ниже) определенных пределов.

Термодинамика и теплопередача

Градиент температур – вектор, направленный в сторону повышения температуры.

Изотермическая поверхность – геометрическое место точек с одинаковой температурой.

Теплопроводность (кондукция) – перенос теплоты вдоль толщи и протяженности материала при непосредственном соприкосновении тел или их частей с различной температурой.

Конвекция – перенос теплоты за счет перемещения в пространстве массы газообразного, жидкого или сыпучего веществ. Конвекция возникает за счет разности плотностей (естественная) либо при помощи посторонних побудителей движения (искусственная).

Конвективный теплообмен – теплоотдача от жидкости или газа к стенке или теплоотдача от стенки к жидкости или газу.

Тепловое излучение (радиация) – перенос теплоты от одних тел к другим электромагнитными волнами.

Поток излучения Q – количество энергии, излучаемой в единицу времени произвольной поверхностью (Вт).

Коэффициент теплопроводности λ – количество теплоты, переносимой через 1 м^2 изотермической поверхности в единицу времени при градиенте температуры, равном единице (Вт/(м·°C)). Этот коэффициент является параметром вещества и характеризует его способность проводить теплоту. Для расчетов значения λ принимают по справочным таблицам.

Коэффициент теплоотдачи α – количество теплоты, которой обменивается среда и 1 м^2 поверхности твердого тела при разности температур между ними в один градус за единицу времени (Вт/(м²·°C)). Сложная величина, учитывающая факторы, обуславливающие протекание конвективного теплообмена и характеризующая интенсивность переноса тепла.

Тепловой поток – вектор, направленный в сторону понижения температуры.

Термическое сопротивление R – величина, обратная коэффициенту теплопередачи, определяет интенсивность падения температуры в стенке $R = 1/k$ ((м²·°C)/Вт).

Сопротивление теплопередаче ограждения R_0 – величина, состоящая из суммы сопротивления теплообмену у внутренней поверхности ограждения $1/\alpha_{в}$, суммы термических сопротивлений отдельных слоев ограждения $R_t = \sum R_i$ и сопротивления теплообмену у наружной поверхности ограждения $1/\alpha_{н}$: ($R_0 = 1/\alpha_{в} + \sum R_i + 1/\alpha_{н}$).

Коэффициент теплопередачи ограждения k – это количество теплоты, переданного в единицу времени через 1 м^2 поверхности стенки от одной среды к другой при разности их температур в один градус, (Вт/(м²·°C)).

Сложный теплообмен – сочетание элементарных видов теплообмена (теплопроводности, конвекции и излучения).

Теплопередача – суммарный процесс теплообмена, в котором теплопередача

соприкосновением является необходимой составной частью, например, передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку.

Теплоустойчивость – это свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры при периодических изменениях тепловых воздействий на его поверхностях.

Отопление и вентиляция

Вентиляция – организация обмена воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

Длина циркуляционного кольца – сумма длин всех расчетных участков.

Естественное давление в СО – давление, которое возникает в результате охлаждения воды в приборах и трубопроводе.

Искусственное давление – давление, создаваемое в СО циркуляционным насосом.

Избытки явной теплоты – превышение для данных эксплуатационных условий и микроклимата помещений количества явной теплоты, поступающей в помещение (здание, сооружение), над количеством явной теплоты, выводимой или уходящей из помещения (здания, сооружения).

Канальная система естественной вентиляции – система, в которой подача наружного воздуха или удаление загрязненного осуществляется по специальным каналам, предусмотренным в конструкциях здания, или приставным воздуховодам.

Качественное регулирование теплоотдачи – изменение температуры теплоносителя t_t , подаваемого в нагревательные (отопительные) приборы.

Количественное регулирование теплоотдачи – изменение количества теплоносителя $G_{пр}$, поступающего в нагревательные (отопительные) приборы.

Отопление – обогрев помещений с целью возмещения в них тепловых потерь и поддержания устанавливаемой нормами или другими требованиями температуры воздушной среды.

Переходные условия – условия, при которых температурный режим наружного воздуха характеризуется среднесуточной температурой, равной $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расширительный бак (сосуд) – емкость цилиндрической формы со съемной крышкой и патрубками для присоединения соединительной, контрольной, переливной и циркуляционной труб. Предназначается для вмещения прироста объема воды при ее нагревании, а также для удаления через него воздуха в атмосферу как при заполнении системы водой, так и в период ее эксплуатации.

Расчетный участок – длина теплопровода или воздуховода с постоянным расходом теплоносителя (или с постоянной тепловой нагрузкой) постоянного диаметра или сечения.

Рециркуляция – частичный или полный возврат в обслуживаемые помещения воздуха (при необходимости с предварительной подготовкой), удаляемого из них вытяжными системами вентиляции.

Сборный воздуховод – участок воздуховода, к которому присоединяются воздухопроводы, проложенные на одном этаже.

Система отопления – совокупность взаимосвязанных технических элементов и устройств, предназначенных для передачи в обогреваемые помещения требуемого количества теплоты и поддержания в них заданной температуры воздушной среды.

Система квартирного отопления – система отопления отдельной квартиры от собственного источника тепловой энергии или с отдельным вводом теплоносителя от внешнего источника теплоты, оборудованная теплосчётчиками.

Система кондиционирования воздуха – совокупность технических средств, предназначенных для специальной обработки воздуха, перемещения и распределения его в обслуживаемых помещениях, автоматического контроля и управления параметрами с заданной точностью и обеспеченностью.

Уклон – отношение падения (наклона) на участке в миллиметрах на 1 м длины трубы, например, 0,003 означает уклон 3 мм на 1 м трубы.

Циркуляционное кольцо – замкнутый контур теплопроводов, состоящий из цепочки *тепловой пункт (элеватор) – трубопровод горячей воды – отопительный прибор – трубопровод охлажденной воды – тепловой пункт (элеватор)*.

Рабочее давление – давление теплоносителя в системе отопления, которое устанавливается в процессе функционирования системы и складывается из статического давления столба теплоносителя и динамического давления, создаваемого работой циркуляционных насосов.

Испытательное давление – избыточное давление теплоносителя в системах отопления, которое создается для выявления возможных протечек и скрытых дефектов в приборах и трубопроводах. Его величина в 1,5 раза больше рабочего.

Гидравлический удар – скачкообразное увеличение давления в системе отопления, значительно превышающее рабочее. Может вызвать разрушение отопительных приборов, трубопроводов и других элементов системы. Его причиной могут стать, аварии устройств и магистралей, ошибки обслуживающего персонала и т.д. Причиной гидравлического удара может стать, например, резкое открытие шарового крана.

Учебное издание

НЕВЗОРОВА Алла Брониславовна

**ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ,
ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**

Учебник

Редактор *Н. А. Дашкевич*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 19.05.2014 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 16,28. Уч.-изд. л. 16,31. Тираж 700 экз.
Зак № 369. Изд. № 44.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/104 от 01.04.2014.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34