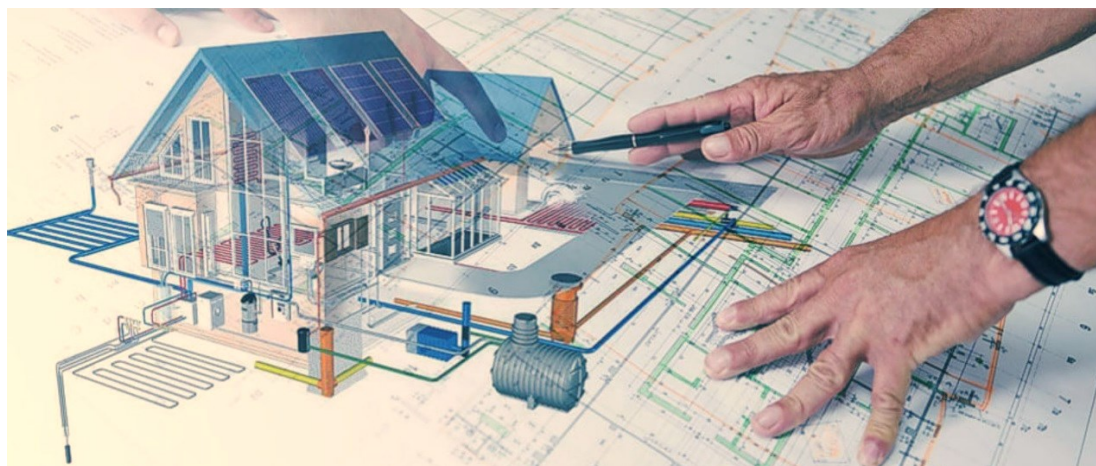


**Владимирский государственный университет**

**Н. А. МАРКОВ**

# **ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ**

**Учебно-практическое пособие**



**Владимир 2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Н. А. МАРКОВ

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

Учебно-практическое пособие

*Электронное издание*



Владимир 2024

ISBN 978-5-9984-1937-9

© ВлГУ, 2024

© Марков Н. А., 2024

УДК 628  
ББК 38.78

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент  
зав. кафедрой тепловых двигателей и энергетических установок  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*А. Ю. Абалев*

Кандидат технических наук  
начальник ПСО ООО «Климат-Сервис»  
*А. А. Суцинин*

**Марков, Н. А.**

Инженерные сети [Электронный ресурс] : учеб.-практ. пособие /  
Н. А. Марков ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Вла-  
димир : Изд-во ВлГУ, 2024. – 150 с. – ISBN 978-5-9984-1937-9. – Элек-  
трон. дан. (3,77 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. тре-  
бования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод  
CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Содержит лекционный и практический материал по дисциплине «Инженер-  
ные сети», охватывающий такие разделы, как «Микроклимат», «Водоснабжение»,  
«Вентиляция», «Внутренняя канализация», «Газоснабжение» и «Вертикальный  
транспорт». Представлены примеры расчетов внутреннего водопровода жилого  
здания, расходов хозяйственно-питьевого водопровода, естественной вентиляции  
жилого здания, а также контрольные вопросы.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
08.03.01 «Строительство» всех форм обучения. Может быть полезно специали-  
стам, работающим в сфере проектирования, монтажа и эксплуатации инженерных  
систем.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соот-  
ветствии с ФГОС ВО.

Табл. 12. Ил. 61. Библиогр.: 35 назв.

ISBN 978-5-9984-1937-9

© ВлГУ, 2024  
© Марков Н. А., 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ .....	7
Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ И МИКРОКЛИМАТА .....	9
1.1. Микроклимат помещения.....	9
1.2. Теоретические основы теплотехники .....	15
1.3. Единицы измерения тепловых величин.....	17
Практическое задание .....	18
Контрольные вопросы.....	20
Тема 2. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ .....	21
2.1. Система парового отопления.....	26
2.2. Воздушное отопление.....	29
2.2.1. Классификация системы воздушного отопления.....	30
2.2.2. Электрические системы отопления.....	33
2.3. Классификация систем водяного отопления .....	34
2.4. Система отопления высотных зданий .....	38
2.5. Отопительные приборы.....	39
2.5.1. Классификация отопительных приборов .....	40
2.5.2. Основные типы отопительных приборов.....	41
Практическое задание .....	46
Контрольные вопросы.....	49
Тема 3. ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ .....	50
Контрольные вопросы.....	54
Тема 4. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ.....	55
4.1. Классификация систем вентиляции .....	55
4.2. Естественное циркуляционное давление .....	56

Практическое задание .....	60
Контрольные вопросы.....	64
<b>Тема 5. СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ.....</b>	<b>66</b>
5.1. Свойства горючих газов .....	68
5.2. Сжиженные газы .....	68
5.3. Воспламенение газов .....	69
5.4. Газораспределительные сети в городах.....	71
и газораспределительные пункты .....	71
5.5. Одоризация газа .....	74
Практическое задание .....	76
Контрольные вопросы.....	78
<b>Тема 6. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....</b>	<b>79</b>
6.1. Нормы водопотребления .....	83
6.2. Устройство и оборудование водопроводной сети.....	86
6.2.1. Материал водопроводных труб и типы их соединений....	88
6.2.2. Арматура на наружных водопроводных сетях .....	90
6.2.3. Внутренний водопровод здания .....	92
6.3. Природные подземные и поверхностные источники.....	96
6.4. Зоны санитарной охраны .....	96
6.5. Водозаборные сооружения для забора подземных вод .....	98
6.6. Сооружения для забора поверхностных вод.....	100
Практическое задание .....	102
Контрольные вопросы.....	106
<b>Тема 7. НАРУЖНЫЕ ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ (КАНАЛИЗАЦИИ) ...</b>	<b>107</b>
7.1. Системы водоотведения .....	108
7.2. Ливневая канализация .....	109
7.3. Элементы наружной канализации.....	112
7.4. Внутренняя канализация зданий .....	113
Практическое задание .....	117
Контрольные вопросы.....	119

Тема 8. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ .....	121
Практическое задание .....	124
Контрольные вопросы.....	129
Тема 9. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ .....	130
Практическое задание .....	136
Контрольные вопросы.....	138
Тема 10. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ .....	139
10.1. Экономия тепловой энергии .....	139
10.2. Экономия электрической энергии.....	143
Контрольные вопросы.....	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	145
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	147

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Структура учебно-практического пособия и ключевые аспекты его содержания выстроены на основе лекционного материала по дисциплине «Инженерные сети» преподавателя кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики М. В. Гаврилова.

Михаил Васильевич всегда трепетно относился к обучению студентов. Его лекции отличались ясностью, краткостью, последовательностью и полнотой изложения. Он обладал способностью увлечь студентов своим предметом, пробудить у них интерес к инженерным наукам.

Автор выражает глубокую благодарность Михаилу Васильевичу Гаврилову, чьи лекции послужили отправной точкой в создании учебно-практического пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием городов и инфраструктуры возрастает потребность в проектировании, строительстве и обслуживании различных инженерных коммуникаций, таких как системы водоснабжения, канализации, теплоснабжения, кондиционирования воздуха, электроснабжения и вертикального транспорта в зданиях. Эти системы играют ключевую роль в обеспечении комфорта жилых и общественных зданий, а также устойчивости городской среды.

Отопление как один из ключевых аспектов инженерных сетей особенно важно в условиях климатических изменений и стремления к более эффективному использованию ресурсов и топлива. С точки зрения потребления топлива и его транспортирования до потребителей первостепенное значение играет газоснабжение населенных пунктов, в частности жилых зданий и предприятий. Удаление вредных веществ и налаженная работа систем вентиляции – необходимые параметры создания благоприятных условий в рабочей зоне и других помещениях. Для комфортного пребывания людей и их перемещения внутри здания предусматривается вертикальный транспорт. Без систем водоснабжения и внутренней канализации, водоотведения, электроснабжения проживание людей невозможно.

Все инженерные системы в той или иной степени зависят друг от друга и в совокупности определяют комфортные условия для проживания и работы людей в зданиях.

Специалисты в этой области играют ключевую роль в разработке, строительстве и обслуживании жизненно важных инфраструктурных систем, таких как водоснабжение, канализация, отопление и кондиционирование воздуха. Применение интеллектуальных инженерных решений помогает улучшить условия жизни в городах.

Дисциплина «Инженерные сети» содержит основные принципы инженерного обеспечения как отдельных зданий и сооружений, так и населенных пунктов, городов и территорий, включая водоснабжение, канализацию, теплогазоснабжение и вентиляцию.

В рамках курса студенты изучают основы проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания различных инженерных сетей, учатся применять различные инженерные технологии и методы для обеспечения эффективного функционирования этих систем, в том



числе нормативные и правовые аспекты, связанные с разработкой и эффективной работой систем, санитарные и строительные требования, экологические требования, получают практические знания и навыки в разработке схем и проектировании, анализе, а также теоретические знания о различных материалах, используемых в инженерных коммуникациях, их видах и способах их увязки в единые системы, оборудовании и арматуре.

Цели освоения дисциплины – знакомство студентов с основами устройства и расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования, теплоснабжения, газоснабжения, водоснабжения и водоотведения; формирование профессионального мировоззрения в области систем теплогазоснабжения и вентиляции, водоснабжения и водоотведения на основе знания об устройстве и функционировании этих систем.

Задачи изучения дисциплины:

– знакомство студентов с материалами, конструкциями систем теплогазоснабжения и вентиляции в зданиях и сооружениях, методами проектирования и расчета ограждающих конструкций зданий и систем теплогазоснабжения;

– развитие навыков правильного выбора и оценки материалов, а также конструктивных расчетов систем теплогазоснабжения и вентиляции.

# Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ И МИКРОКЛИМАТА

## 1.1. Микроклимат помещения

**Микроклимат** помещения – состояние внутренней среды помещения, оказывающей воздействие на человека, характеризуемое совокупностью трех режимов – теплового, влажностного и воздушного в их взаимосвязи.

*Основное требование* к микроклимату – поддержание благоприятных условий для людей, находящихся в помещении [24].

При метаболических процессах, происходящих в организме человека, выделяется энергия в форме тепла. Это тепло передается окружающей среде через конвекцию, излучение, теплопроводность и испарение, чтобы поддерживать постоянную температуру организма, которая составляет  $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обеспечивается физиологической системой терморегуляции. Поэтому для нормального функционирования и хорошего самочувствия человека необходимо сохранять тепловой баланс между выделяемым организмом теплом и теплом окружающей среды.

Интенсивность теплоотдачи человека зависит от микроклимата помещения, характеризующегося температурой внутреннего воздуха  $t_{в}$ , радиационной температурой помещения (осредненной температурой его ограждающих поверхностей)  $t_{R}$ , скоростью движения (подвижностью) и относительной влажностью  $\varphi_{в}$  воздуха.

Область помещения, где человек проводит основное рабочее время, называется *обслуживаемой или рабочей зоной*. В этой зоне в первую очередь должен быть обеспечен комфорт.

Комбинации этих параметров микроклимата, при которых поддерживается тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции, называются комфортными или оптимальными.

*Оптимальные* условия микроклимата на рабочих местах устанавливаются в зависимости от времени года и категории работ, которые различаются по уровню энергозатрат организма (см. таблица 1.1).

При учете интенсивности труда все виды работ классифицируются на три категории: легкие, средней тяжести и тяжелые.

Таблица 1.1 – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

Помимо оптимальных значений, существуют допустимые комбинации параметров микроклимата, при которых человек может ощущать некоторый дискомфорт.

*Допустимые* значения показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям и экономическим причинам невозможно обеспечить оптимальные значения (см. Таблицу 1.2).

Таблица 1.2 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75
	IIб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75
	III (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*
	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75*
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*
	IIб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75*
	III (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75*

Требуемые параметры микроклимата зданий определены для теплого и холодного периода года. Холодный период определяется как период со среднесуточной температурой наружного воздуха, превышающей плюс 8 °С, а теплый период - как период со среднесуточной температурой наружного воздуха выше плюс 8 °С.

Тепловые условия в помещении в значительной степени зависят от температурных условий, которые характеризуются двумя условиями комфортности.

*Первое условие* комфортности температурной обстановки определяет диапазон комбинаций температур, при которых человек в центре рабочей зоны не ощущает перегрева или переохлаждения. Для спокойного состояния человека этот диапазон температур составляет от плюс 21 до плюс 23 °С, для легкой работы - от плюс 19 до плюс 21 °С, а для тяжелой работы - от плюс 14 до плюс 16 °С.

*Второе условие* комфортности определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей, когда человек находится в непосредственной близости к ним. Чтобы избежать нежелательного радиационного перегрева или переохлаждения головы, поверхности потолка и стен могут быть нагреты до допустимой температуры (1.1) или охлаждены до температуры (1.2):

$$t_{\text{нагр}}^{\text{доп}} \leq 19,2 + 8,7/\varphi \quad (1.1)$$

$$t_{\text{охл}}^{\text{доп}} \geq 23 - 5/\varphi, \quad (1.2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент облученности от поверхности человека от нагретой или охлажденной поверхности.

Зимой температура поверхности холодного пола может быть ниже температуры воздуха в помещении только на 2-2,5 °С из-за высокой чувствительности ног человека к переохлаждению. Однако она не должна превышать диапазон от плюс 22 до 34 °С в зависимости от назначения помещений.

Кроме того, существует *третье условие* комфортности, которое рассматривается как условное или индивидуальное. Оно заключается в том, что параметры внутреннего микроклимата должны иметь возможность индивидуальной регулировки, чтобы соответствовать субъективным ощущениям комфорта потребителя.

Основные нормативные требования к микроклимату помещений содержатся ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», СанПиН 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым

зданиям и помещениям», СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

### ***Режимы микроклимата помещений***

***Температурный режим*** помещения – это диапазон значений температуры, который поддерживается внутри помещения для обеспечения комфортных условий для проживания, работы или других деятельностей. Температурный режим помещения может быть регулируемым, что позволяет пользователю устанавливать желаемую температуру, или фиксированным, когда температура поддерживается на определенном уровне без возможности изменения.

$t_B$  – температура внутреннего воздуха помещения, К, °С;

$t_R$  – радиационная температура – осредненная температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций, К, °С.

Радиационная температура нагретых и охлаждаемых поверхностей помещения является важным показателем, обеспечивающим комфортное пребывание человека в помещении. Основные теплотери человеком происходят лучистой (радиационной) теплоотдачей зависящей от температуры окружающих его поверхностей и перепада температур ограждение – воздух. Холодные ограждения вызывают усиленное излучение тепла с поверхности тела человека. При обеспечении оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от радиационного охлаждения и остеклении поверхностями оконных проемов, в теплый период года – от попадания прямых солнечных лучей.

Ограждающие поверхности производственных помещения должны быть такими, чтобы интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не превышала 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м<sup>2</sup> – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50 % тела и 100 Вт/м<sup>2</sup> – при облучении 25 % поверхности тела. Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, «открытое» пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>, при этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование

средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Для оценки влияния температур поверхностей введено понятие радиационной температуры (1.3):

$$t_R = \sum \varphi_{\text{чи}} t_i, \quad (1.3)$$

где  $\varphi_{\text{чи}}$  – коэффициент облученности человека и поверхностей с температурами  $t_i$  при нахождении человека в середине помещения.

Совместное влияние и характеризуется температурой помещения. При небольшой подвижности воздуха можно принимать (1.4):

$$t_{\text{п}} = \frac{t_{\text{в}} + t_R}{2}, \quad (1.4)$$

**Влажностный режим** помещения – это уровень влажности в воздухе внутри помещения. Оптимальный уровень влажности обычно составляет от 40% до 60%. Высокий или низкий уровень влажности может создавать неприятные условия для проживания или работы, а также способствовать появлению плесени, образованию конденсата и другим проблемам. Чтобы поддерживать оптимальный влажностный режим в помещении, часто используют увлажнители или осушители воздуха.

В случае, если окружающий воздух в помещении не находится в насыщенном состоянии при определенной температуре и давлении, он способен поглощать влагу, выделяемую человеческим организмом во время дыхания и потоотделения.

Влияние влажности воздуха на теплообмен в организме человека зависит от параметров микроклимата, таких как температура воздуха и тепловое излучение. Высокая влажность при как высокой, так и низкой температуре оказывает неблагоприятное воздействие на самочувствие человека. Низкая влажность воздуха вызывает дискомфорт в слизистых оболочках глаз, носа и гортани, а также снижает фильтрационную способность верхних дыхательных путей. Оптимальным считается относительная влажность в диапазоне 30-60%, при этом верхняя граница влажности ограничена 75%.

Измерение относительной влажности в помещении должно проводиться в центре помещения на высоте 1,1 м от пола, и изменение от-

носительной влажности не должно превышать 7% для достижения оптимальных показателей. Относительная влажность воздуха также имеет важное значение в технологических процессах.

$\varphi_v$  – относительная влажность, %.

**Воздушный режим** помещения – процесс обеспечения поступления свежего воздуха и удаления отработанного воздуха внутри помещения.

Скорость движения воздуха оказывает значительное воздействие на организм человека. Даже при комфортной температуре воздуха отсутствие движения воздуха может вызывать ощущение духоты, так как это препятствует эффективной конвективной передаче тепла от организма человека. Увеличение скорости движения воздуха на более чем 0,2 м/с может вызвать ощущение "сквозняка". Поэтому в общественных зданиях скорость движения воздуха в зонах, где находятся люди, не должна превышать 0,2 м/с.

В производственных помещениях, при температуре воздуха 26-28 °С, скорость движения воздуха может варьироваться в зависимости от категории выполняемых работ и достигать значений от 0,1 до 0,5 м/с для тяжелого физического труда.

Вентиляция помещения важна для обеспечения внутренней атмосферы, улучшения качества воздуха и предотвращения скопления вредных веществ. Для обеспечения хорошего воздушного режима могут использоваться системы вентиляции, кондиционеры, окна и двери. Оптимальный воздушный режим помещения помогает улучшить комфорт и здоровье людей, находящихся внутри помещения.

$v$  – подвижность воздуха, м/с.

Параметры подразделяют на *оптимальные (комфортные)* и *допустимые*. Например, для жилой комнаты оптимальные параметры: температура – 22-24 °С, влажность 40-60 %, подвижность воздуха 0,2-0,3 м/с.

Существуют специальные инженерные системы, которые поддерживают параметры режимов микроклимата внутреннего воздуха, такие как центральные системы кондиционирования воздуха, напольно-потолочные и настенные кондиционеры, отдельные устройства типа воздухоочистителей и увлажнителей, а также системы «теплый пол».

Регулирование параметров режимов микроклимата помещения по отдельности осуществляется системами теплоснабжения (а именно системы отопления здания или помещения), вентиляции и кондиционирования.

## 1.2. Теоретические основы теплотехники

**Теплотехника** – это раздел физики и инженерии, изучающий передачу, преобразование и использование тепловой энергии.

**Тепловая энергия** – кинетическая часть внутренней энергии вещества, определяемая интенсивным хаотическим движением молекул и атомов, из которых это вещество состоит.

Теоретические основы теплотехники включают в себя изучение законов термодинамики, теплопередачи, теплоемкости, тепловых машин и циклов, а также принципов работы тепловых систем, включающих в себя котлы, теплообменники, турбины и другие устройства.

Теоретические основы также охватывают принципы работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также тепловых насосов.

Существуют три основных вида теплообмена: *теплопроводность*, *конвекция* и *лучистый теплообмен* или *тепловое излучение*.

**Теплопроводность** – вид теплопередачи, обусловленный хаотическим движением частиц материального тела с неоднородным распределением температур, при котором тепловая энергия переходит от более нагретых частей тела к менее нагретым.

**Плотность потока** или **интенсивность** энергии, передающейся посредством теплопроводности, пропорциональна градиенту температуры, передающейся через площадь поперечного сечения (1.5):

$$q = -\lambda \text{grad}t \text{ или } Q = -\lambda F \frac{\Delta T}{\Delta x}, (1.5)$$

где  $Q$ ,  $q$  – тепловой поток и плотность теплового потока, в Вт и Вт/м<sup>2</sup>,

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К),

$F$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.



Это соотношение называется законом теплопроводности Фурье; знак «минус» в нем указывает на то, что теплота передается в направлении, обратном градиенту температуры.

Из закона Фурье следует, что тепловой поток можно понизить, уменьшив одну из величин – коэффициент теплопроводности, площадь или градиент температуры. Для здания в зимних условиях последние величины практически постоянны, а поэтому для поддержания в помещении нужной температуры остается уменьшать теплопроводность стен, т.е. улучшать их теплоизоляцию.

**Конвекция** – вид теплообмена, при котором внутренняя энергия передаётся струями и потоками самого вещества. Данный вид теплопередачи характерен для более подвижных сред, таких как газы и жидкости, когда более нагретая часть среды поднимается, а менее нагретая опускается, создавая тем самым циркуляцию.

Определяется по формуле Ньютона-Рихмана (1.6):

$$Q = \alpha F(T_1 - T_2), (1.6)$$

где  $q$  – тепловой поток, (измеряемый в ваттах),

$F$  – площадь поверхности источника тепла (в  $m^2$ ),

$T_1$  и  $T_2$ , – температуры нагретого источника и его окружения (в кельвинах), К.

$\alpha$  – коэффициент конвективного теплопереноса (коэффициент теплоотдачи), Вт/( $m^2 \cdot K$ ), зависит от свойств среды, начальной скорости ее молекул, а также от формы источника тепла, и измеряется в единицах.

**Тепловое излучение** – это процесс, при котором тело излучает тепловую энергию в виде электромагнитных волн в инфракрасной области спектра, в результате теплового движения молекул вещества.

Формула для теплового излучения может быть выражена с помощью закона Стефана-Больцмана (1.7):

$$Q = \varepsilon \sigma F(T_1^4 - T_2^4), (1.7)$$

где  $Q$  – тепловой поток, Вт;

$\varepsilon$  – интегральная поглощательная способность тела;

$A$  – площадь поверхности излучающего тела,  $\text{м}^2$ ;  
 $T_1$  и  $T_2$  – температуры излучающего тела и окружения, поглощающего это излучение,  $\text{К}$ ;  
 $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана и равная  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

### 1.3. Единицы измерения тепловых величин

При проектировании систем теплогазоснабжения и водоснабжения не редко требуется знание перевода значений из одних единиц в другие, так как в газоснабжении и отоплении часто употребляют одни и те же величины в различных размерностях.

Так, например, для учета тепловой энергии в теплосчетчиках и коммунальных предприятиях приняты такие единицы измерения как  $\text{Гкал}/\text{ч}$ , а производимое тепло в центральных котельных вычисляется в  $\text{МВт}$ .

Для единиц измерения теплоемкости транспортируемого теплоносителя используют размерность  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ , а при использовании формул для расчета количества теплоносителя в трубопроводах системы централизованного теплоснабжения требуется переводить данную величину в  $\text{Вт}/(\text{ч} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ .

В системах водоснабжения основной единицей измерения является  $\text{л}/\text{с}$  (при расчете максимального водопотребления), однако при расчете тепловых сетей или сетей водоснабжения могут использоваться такие размерности как  $\text{м}^3/\text{ч}$  или  $\text{м}^3/\text{с}$ .

От правильного и точного использования перевода размерностей одних величин в другие сильно зависит не только эффективность работы системы теплогазоснабжения, но и учет основных параметров и, как следствие, затраты на ее эксплуатацию и обслуживание.

Ниже приведены основные используемые размерности величин, необходимые для систем теплогазоснабжения, вентиляции.

$$\begin{aligned}1 \text{ К} &= 1 ^\circ\text{С} + 273,15 \\1 \text{ Вт}/\text{ч} &= 3600 \text{ Дж} \\1 \text{ Гкал}/\text{ч} &= 1,163 \text{ МВт} \\1 \text{ кал} &= 10^{-3} \text{ ккал} = 4,184 \text{ Дж} \\1 \text{ л} &= 10^{-3} \text{ м}^3 \\1 \text{ л}/\text{с} &= 3,6 \text{ м}^3/\text{ч}\end{aligned}$$

Также стоит обратить внимание на десятичные приставки, используемые в системах измерения (СИ) наиболее употребляемые в проектируемых системах (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Единицы измерения

Приставка	Обозначение	Степень
кило-	к	$10^3$
мега-	М	$10^6$
гига-	Г	$10^9$

Многообразие систем измерения тепловой энергии связано с историческими и практическими соображениями, а также с разными предпочтениями и привычками в разных отраслях и странах. В результате этого могут использоваться различные единицы измерения для выражения тепловой энергии, такие как ватт-час (Вт·ч), джоули (Дж) и калории (кал).

Это связано с тем, что 1 ватт-час равен энергии, потребляемой при мощности 1 ватта в течение 1 часа, а 1 ватт равен 1 джоулю в секунду. Таким образом, чтобы перевести ватт-часы в джоули, нужно умножить на количество секунд в часе (3600).

Калория (кал) является устаревшей единицей измерения тепловой энергии, которая все еще используется в некоторых областях. Одна калория равна приблизительно 4,184 джоулям.

Поэтому при работе с тепловой энергией важно учитывать соответствующие единицы измерения и проводить необходимые переводы для обеспечения точности и согласованности в расчетах и измерениях.

### Практическое задание

Определить теплопроводность простой однородной стены из 2,5 пустотелого керамического кирпича толщиной 640 мм и размером 1 м<sup>2</sup> при разнице наружной температуры  $t_n = -34$  °С и внутренней 23 °С.

Последовательность выполнения расчета выглядит следующим образом:

1. Необходимо изучить свойство материала стены и найти значение коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) по справочным данным.
2. Перевести толщину стены в соответствующие формуле размерность.

3. Определить разность температур между внутренней и наружной поверхностью стены.

4. Использовать полученные значения для вычисления теплопроводности стены ( ):

Решение:

1. Коэффициент теплопроводности керамического пустотелого кирпича составляет в зависимости от плотности материала 0,34-0,47 Вт/(м·°С).

Принимаем для расчета осредненное значение равное:

$$\lambda = \frac{1}{2}(0,34 + 0,47) = 0,405 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

2. Толщина стены равняется при переводе 0,64 м.

3. Разность температур составляет:

$$\Delta t = 23 - (-34) = 57 \text{ }^\circ\text{C}$$

4. Подставляя в формулу для расчета теплового потока определим теплопроводность данной конструкции:

$$Q = -\lambda F \frac{\Delta T}{\Delta x} = -0,405 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{}^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ м}^2 \cdot \frac{57 \text{ }^\circ\text{C}}{0,64 \text{ м}} = 36 \text{ Вт}$$

Как видим, через 1 м<sup>2</sup> кирпичной кладки из пустотелого кирпича толщиной 640 мм передается посредством теплопроводности 36 Вт тепла от нагретого воздуха к холодному.

Меняя коэффициент теплопроводности, например, материал стены на менее плотный, или увеличивая толщину стены, можно снизить данные теплотери. Также стоит отметить, что площадь ограждающей конструкции пропорциональна потерям тепла через нее, и чем больше площадь, тем больше стоит обращать внимание на ее утепление.

## Контрольные вопросы

1. Какие режимы составляют микроклимат помещения зданий?
2. Основное требование к микроклимату помещений?
3. Для чего нужен тепловой баланс между теплотой, вырабатываемой организмом, и, теплотой отдаваемой окружающей среде?
4. От чего зависит интенсивность теплоотдачи человека? Какие параметры характеризуют микроклимат помещения?
5. Какие параметры микроклимата помещения различают?
6. Как называют часть помещения где человек находится основное рабочее время?
7. От чего зависят тепловые условия помещения?
8. Назовите два условия комфортности температурной обстановки.
9. Что такое температурный режим микроклимата помещения?
10. Что такое влажностный режим микроклимата помещения?
11. Что такое воздушный режим микроклимата помещения?
12. Что такое тепловая энергия и какими видами теплообмена она передается?
13. Опишите понятия и законы теплопроводности, конвекции и излучения.
14. В чем заключается многообразие системы измерения тепловой энергии и мер расхода и объема. Опишите основные единицы измерения для каждого.

## Тема 2. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

*Система отопления* – это комплекс инженерных систем и устройств, предназначенных для обогрева помещений и поддержания внутренней температуры воздуха на заданном уровне.

Система отопления включает в себя источники тепла (котлы, теплообменные аппараты, конвекторы или калориферы), системы распределения тепла (трубопроводы, насосы) и регулирования температуры в помещениях (термостаты, клапаны), и отопительные приборы (радиаторы, конвекторы и т.д.).

Система отопления создает и поддерживает на определенном уровне параметры теплового режима.

К системе отопления предъявляют следующие требования:

– *санитарно-гигиенические* требования включают поддержание требуемых температур во всех точках помещения в соответствии с соответствующими строительными нормами и правилами. Также важно поддерживать определенный уровень температур на внутренних поверхностях наружных ограждений и отопительных приборов;

– *экономические* требования направлены на минимизацию затрат на строительство и эксплуатацию системы отопления. Это достигается путем технико-экономического сравнения различных систем и выбора варианта с небольшим расходом металла;

– *строительные* требования гарантируют соответствие системы отопления архитектурно-планировочным и конструктивным решениям здания; размещение отопительных элементов должно быть увязано с конструктивными особенностями здания;

– *монтажные* требования направлены на использование промышленных методов монтажа и максимальное использование унифицированных узлов, которые производятся на заводах, что позволяет упростить монтаж и сократить количество типоразмеров;

– *эксплуатационные* требования включают простоту и удобство обслуживания, управления и ремонта системы отопления, а также обеспечение надежности, безопасности и бесшумности ее работы;

– *эстетические* требования связаны с сочетаемостью системы отопления с внутренней архитектурной отделкой помещения и минимальной занимаемой площадью.

Основные элементы системы отопления подразумевают под собой источник тепла (теплогенератор), теплопроводы, отопительные приборы.

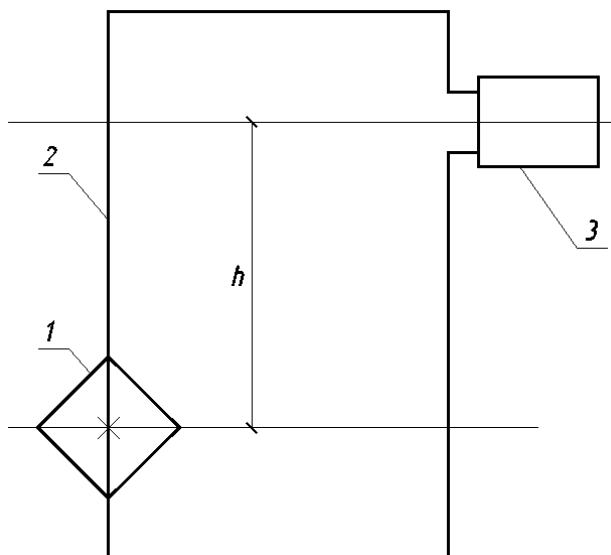


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема системы отопления:

1 – источник тепла (теплогенератор, теплообменник), 2 – теплопроводы, 3 – отопительный прибор

*Источник тепла* или *теплогенератор* в системе отопления – это устройство, которое генерирует тепло и обеспечивает его распределение по всей системе отопления. Это может быть котел на газе, мазуте, дровах, электрический котел, тепловой насос или другой вид системы отопления, который производит тепло.

Теплогенератор обычно поддерживает определенную температуру воды или воздуха, которая затем распределяется через систему отопления, обогревая помещения. Таким образом, является ключевым компонентом в системе отопления.

В зависимости от выбранного источника тепла, система можно подключить к центральной системе отопления, радиаторам, теплomu полу и другим элементам.

Теплопроводы подразделяют на *подающие* и *обратные*.

*Подающий теплопровод* – это часть теплосети, которая отвечает за подачу теплоносителя (обычно горячей воды или пара) от источника тепла к потребителям. Подающий магистральный теплопровод обычно используется в системах централизованного теплоснабжения для транспортирования теплоносителя до зданий и предприятий. Также

принято считать подающим теплопроводом любой трубопровод, имеющий более высокую температуру теплоносителя в системе по сравнению с обратной магистралью.

Теплопроводы могут быть как покрыты теплоизоляцией для минимизации теплопотерь в процессе передачи тепла от источника к потребителям, так и открыто расположенными при прокладке внутри зданий или в специальных коробах.

Соответственно *обратный* служит для возврата отдавшего тепло теплоносителя обратно к источнику тепла для нагрева.

Системы отопления могут быть классифицированы по различным критериям, включая источник тепла, типу и виду теплопередачи, способу распределения тепла.

По способу циркуляции теплоносителя системы отопления разделяют на системы с естественной циркуляцией теплоносителя (гравитационные системы) и системы с искусственной циркуляцией (насосные системы).

*Естественная циркуляция* в системе отопления происходит за счет разности плотности теплого и холодного воды. Когда теплоноситель в системе отопления нагревается, он становится менее плотным и поднимается, а холодный с более высокой плотностью опускается для его замещения. Это создает естественное движение в системе, которое позволяет теплой воде циркулировать и передавать тепло по всей системе.

Системы естественной циркуляции обычно имеют небольшие размеры и не требуют насоса для перемещения воды, что делает их более экономичными в установке и обслуживании. Однако, из-за ограничений в циркуляции, такие системы могут быть менее эффективными для обогрева больших зданий или в условиях с малым перепадом температуры.

Тем не менее, применение естественной циркуляции в системе отопления может быть целесообразным в небольших зданиях, где минимизация затрат на оборудование и использование энергии имеет особое значение и ее следует учитывать.

Исходя из Рисунка 2.1 определим давление естественной циркуляции  $\Delta P_e$  (2.1):

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{пр}} &= \rho_{\text{охл}} gh; \quad \Delta P_{\text{лев}} = \rho_{\text{гор}} gh \\ \Delta P_e &= \Delta P_{\text{пр}} - \Delta P_{\text{лев}} = \rho_{\text{охл}} gh - \rho_{\text{гор}} gh = gh (\rho_{\text{охл}} - \rho_{\text{гор}}), \end{aligned} \quad (2.1)$$



где  $\Delta P_e$  – создаваемое давление за счет естественной циркуляции, Па;

$\rho_{\text{охл}}, \rho_{\text{гор}}$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – разность высот источника тепла и отопительного прибора (Рисунок 2.1), м.

Система отопления с искусственной или принудительной циркуляцией отличается тем, что для распределения тепла используется механический нагнетатель, который помогает транспортировать теплоноситель по системе. Это позволяет более эффективно и равномерно распределять тепло по всему помещению.

Такие системы могут быть оснащены как циркуляционными насосами в случае систем отопления с водяным теплоносителем, так и вентиляторами в системах отопления с воздушным теплоносителем. Искусственная циркуляция обеспечивает более быстрое и равномерное распределение тепла, что делает систему более эффективной и комфортной для пользователей, а также позволяет транспортировать теплоноситель на большие расстояния.

При этом такая система требует дополнительного энергопотребления для работы насосов или вентиляторов, но зачастую эти затраты целесообразны за счет повышения эффективности отопления.

По взаимному расположению основных элементов классифицируют *местные* системы отопления, где источник тепла находится в самом отапливаемом помещении или в непосредственной близости и *центральные* – источник тепла находится вне отапливаемых помещений и распределяет тепло до нескольких потребителей.

*Местные* системы отопления обычно относятся к системам отопления, которые предназначены для отопления отдельного здания или помещения, при котором теплогенератор находится в непосредственной близости к ним.

Примеры местных систем отопления включают электрические радиаторы и конвекторы, инфракрасные обогреватели, печи, каминные системы и электрические теплые полы. Такие системы позволяют настраивать температуру в каждом помещении по отдельности и могут обеспечивать более гибкий и особенный контроль над температурой,

что делает их популярными в жилых зданиях, коммерческих помещениях и частных домах.

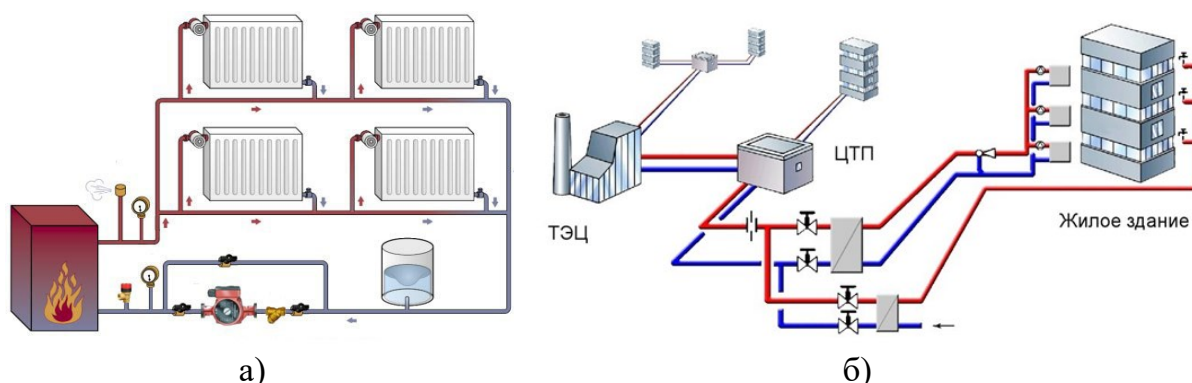


Рисунок 2.2 – Система отопления а) местная, б) центральная

Местные системы отопления также могут использоваться как более эффективная альтернатива централизованным системам в случае, когда отопление не требуется во всех помещениях одновременно или есть необходимость в индивидуальном управлении температурой.

*Центральная* система отопления – это система, которая предназначена для обогрева группы потребителей от удаленного источника генерации тепла.

Центральная система отопления классифицируется на *зависимую*, схема подключения отапливаемого здания к которой подключена напрямую и *независимую* (децентрализованную), в которой используются теплообменники.

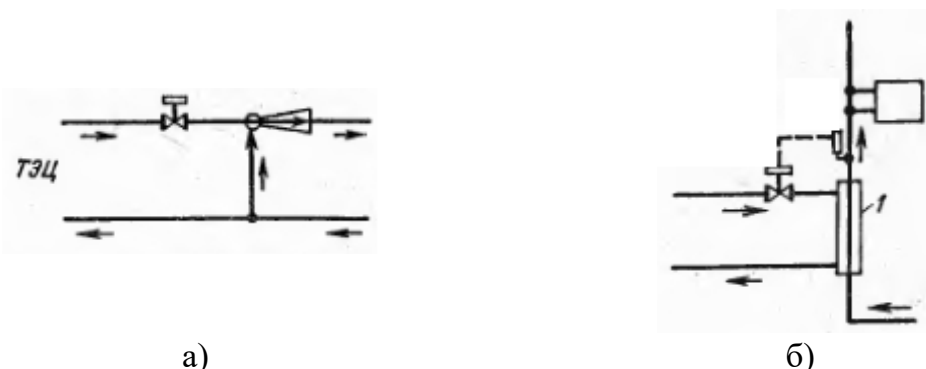


Рисунок 2.3 – Система отопления а) зависимая, б) независимая: 1 – теплообменный аппарат

По виду теплоносителя системы отопления разделяют на паровые, воздушные, электрические и водяные.

## 2.1. Система парового отопления

В системах *парового* отопления используют пар, создаваемый паровыми котлами, производящими перегретую воду для обогрева зданий. В таких системах вода нагревается до состояния пара и затем циркулирует через трубы к радиаторам или другим отопительным устройствам, где отдает тепло и конденсируется обратно в воду.

Паровые системы отопления имеют свои преимущества, например, они обеспечивают равномерное распределение тепла в помещении и быстро реагируют на изменения температуры. Однако, они также имеют свои недостатки, включая большие затраты на поддержание и ремонт паровых котлов, риски утечек пара и конденсата, а также ограниченную эффективность при использовании низкотемпературных радиаторов.

Использование паровых систем отопления позволяет уменьшить расход металла на отопительные приборы по сравнению с водяными системами, что объясняется большой величиной скрытой теплоты фазового превращения (2175 кДж/кг), а, следовательно, и более высоким коэффициентом теплоотдачи от пара к внутренней поверхности отопительного прибора, чем от воды к стенке, а также большей разностью температур в отопительном приборе паровой системы  $\Delta t = (130 - 20) \text{ }^\circ\text{C}$ , чем водяной  $\Delta t = (150 + 70)/2 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Сегодня паровые системы отопления чаще уступают место системам горячего водяного отопления из-за своей сложности и более высокой стоимости эксплуатации.

### *Классификация систем парового отопления*

По способу возврата конденсата классифицируют самотечные системы (замкнутые), при которых конденсат благодаря уклону трубопроводов самотеком возвращается из отопительных приборов в котел или в тепловую сеть, насосные системы (разомкнутые), когда конденсат поступает сначала в конденсаторный бак, а затем перекачивается насосом в котел или в тепловую сеть.

По месту расположения паропровода – с верхним расположением паропровода, с нижним расположением, с промежуточным расположением.

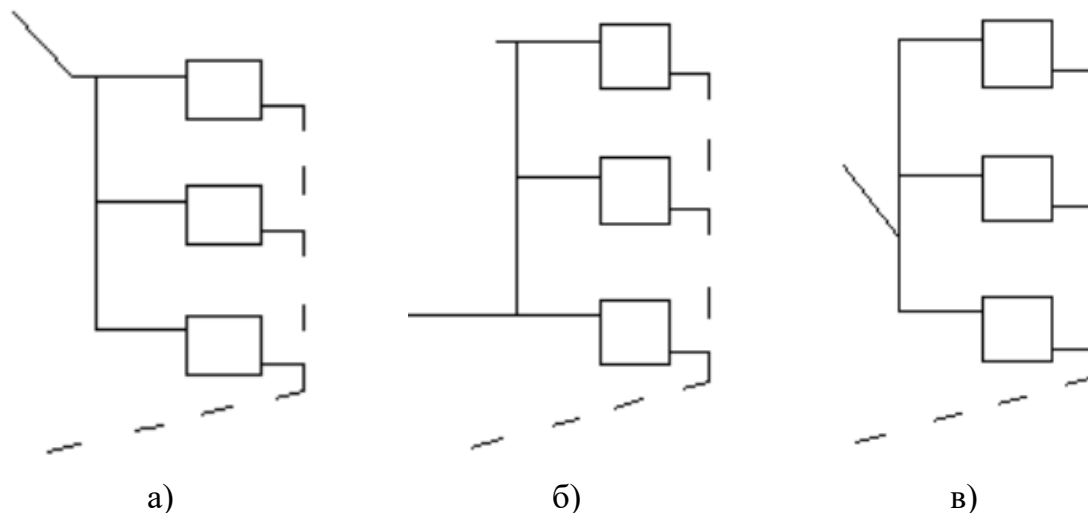


Рисунок 2.4 – Система парового отопления с: а) верхней разводкой, б) нижней разводкой, в) промежуточной

По величине начального давления пара, подаваемого в систему отопления, различают системы отопления высокого (более 0,07 МПа), низкого (0,005-0,07 МПа) давления и вакуумопаровые (< 0,1 МПа).

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ атм} \approx 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа} = 10 \text{ м в. ст.} = 735 \text{ мм рт. ст.}$$

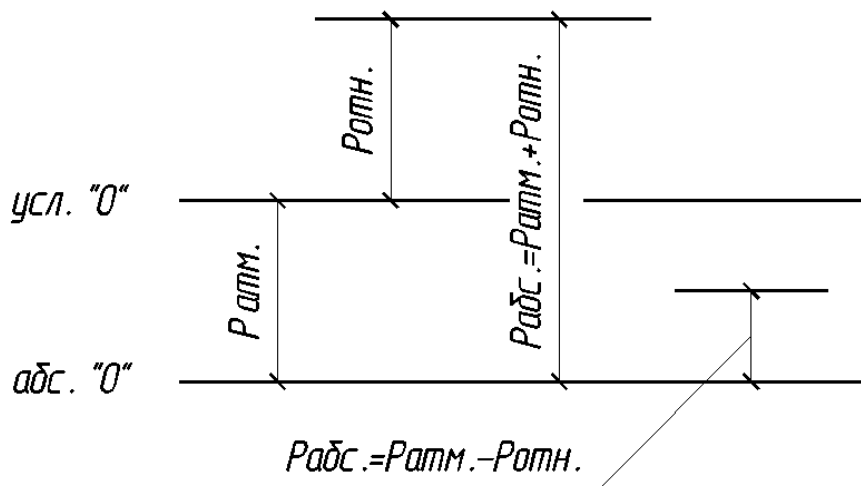


Рисунок 2.5 – Условное обозначение избыточного давления

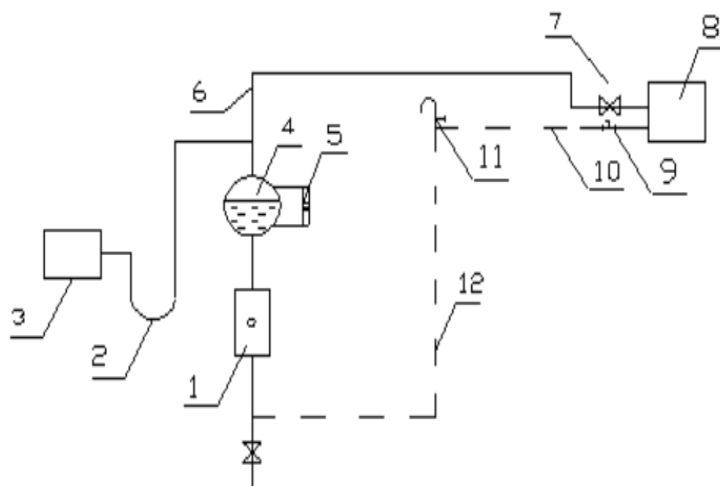


Рисунок 2.6 – Схема замкнутой системы парового отопления:

1 – Паровой котел, 2 – Гидравлический затвор, 3 – Устройство для выброса пара, 4 – Сепаратор (сухопарник), 5 – Водяная трубка, 6 – Паропровод, 7 – Паровой вентиль, 8 – Отопительный прибор, 9 – Тройник с пробкой, 10 – конденсаторопровод («сухой»), 11 – Воздушная трубка, 12 – Конденсаторопровод («мокрый»)

Сепаратор (4, Рис. 2.6) служит для отделения воды от пара. За счет столба конденсата высотой и осуществляется циркуляция теплоносителя. Паровой вентиль (7, Рис. 2.6) и тройник с пробкой (9, Рис. 2.6) служат для регулирования подачи пара в отопительный прибор, чтобы весь пар превращался в конденсат. Гидравлический затвор (2, Рис. 2.6) и устройство выброса пара (3, Рис. 2.6) срабатывают при повышении давления пара сверхдопустимого.

*Преимущества* системы парового отопления заключается в

- большом количестве тепла, образующемся при конденсации пара;
- капиталоемкости в результате уменьшения диаметра труб, за счет малой плотности пара и его движения с большой скоростью, и площади отопительных приборов;
- за счет высокой величины скрытой величины фазового превращения, и, как следствие, сравнительно низкой стоимости системы;
- быстром прогреве помещения;
- возможность использования систем в зданиях повышенной этажности из-за малой плотности пара.

*Недостатками* таких систем выделяют:

- низкие санитарно-гигиенические качества по причине высокой температуры поверхности отопительных приборов (более 100 °С);

как следствие, загрязнение воздуха продуктами «сухой возгонки» (разложения пыли при оседании на отопительный прибор);

- невозможности качественного регулирования теплоотдачи отопительным прибором;
- значительный шум при работе системы;
- сравнительно низким сроком службы в следствие большой коррозии (меньше в 1,5 раза чем у водяного отопления).

Паровое отопление применяют для тех помещений, где это допустимо по санитарным нормам, особенно в тех случаях, когда пар используется для технологических процессов. Кроме чего, запрещается использование таких систем где люди пребывают постоянно или длительно (более 2 часов).

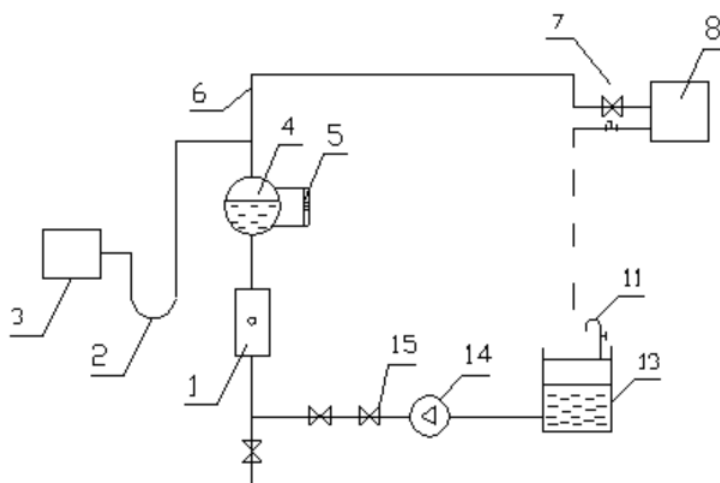


Рисунок 2.7 – Схема разомкнутой системы парового отопления:

- 1 – паровой котел, 2 – гидравлический затвор, 3 – устройство для выброса пара, 4 – сепаратор (сухопарник), 5 – водяная трубка, 6 – паропровод, 7 – паровой вентиль, 8 – отопительный прибор, 9 – тройник с пробкой, 10 – конденсатопровод («сухой»), 11 – воздушная трубка, 12 – конденсатопровод («мокрый»), 13 – конденсатосборный бак, 14 – насос, 15 – обратный клапан

## 2.2. Воздушное отопление

Использование наружного воздуха в качестве теплоносителя для обогрева помещений позволяет объединить в одной системе двух функций – системы отопления и системы вентиляции, что является экономически выгодным. Чтобы компенсировать тепловые потери,

температура воздуха, подаваемого в помещении должна быть выше расчетной температуры воздуха помещения (2.2).

$$t_{\text{п}} = t_{\text{в}} + \frac{3,6 \cdot Q}{c_{\text{в}} G}, \quad (2.2)$$

$Q$  – теплотери помещения (Вт);

$G$  – количество приточного воздуха (кг/ч);

$c_{\text{в}}$  – массовая теплоемкость воздуха (кДж/кг, °с).

*Воздушные* системы отопления используют воздух для передачи тепла в здания. Такие системы включают воздушные отопительные аппараты, обычно установленные на потолках или стенах помещений.

### **2.2.1. Классификация системы воздушного отопления**

Системы воздушного отопления классифицируют по различным характеристикам, например:

- 1) по характеру перемещений подогреваемого воздуха:
  - а) с естественным побуждением
  - б) с механическим побуждением (с использованием вентилятора).
- 2) по месту нагревания воздуха:
  - а) местные системы – воздух нагревается в местном отопительном агрегате,
  - б) центральные (воздух нагревается в центральном отопительном агрегате и распространяется по многим помещениям)
- 3) по виду первичного теплоносителя:
  - а) водяной;
  - б) паровой;
  - в) электрический.
- 4) по схеме вентилирования отапливаемых помещений (Рисунок 2.8):
  - а) прямоточные;
  - б) схемы с полной циркуляцией;
  - в) схема с частичной рециркуляцией.

*Достоинством* прямоточной системы воздушного отопления является высокое качество воздуха, а *недостатком* – не экономичность

и потребление большого количества энергии для нагревания приточного холодного воздуха.

Воздушные обогреватели (калориферы) нагревают воздух и циркулируют его через вентиляционные отверстия или воздушные каналы, распределяя теплый воздух по всему помещению.

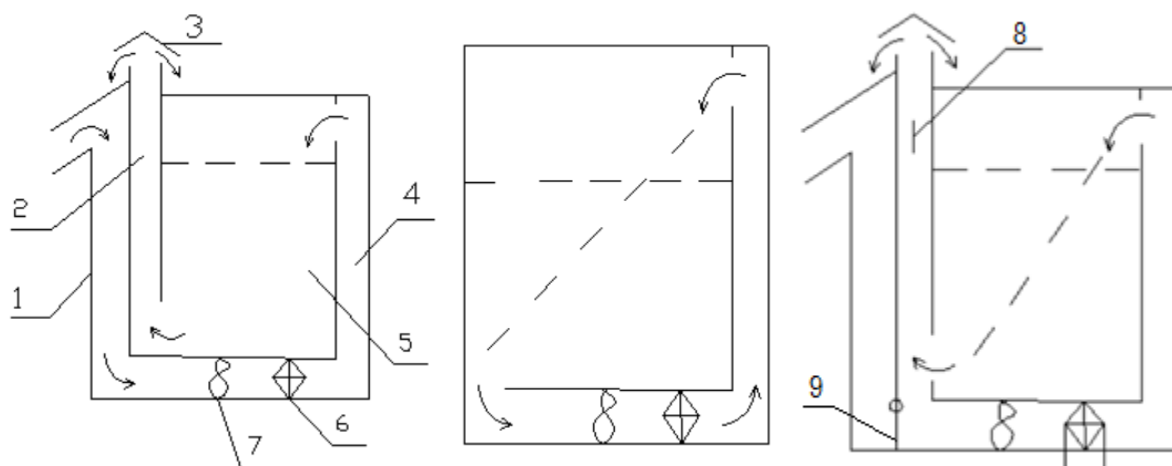


Рисунок 2.8 – Система воздушной вентиляции а) прямоточные б) с полной рециркуляцией, в) с частичной рециркуляцией: 1 – воздухозаборная шахта, 2 – вытяжная шахта, 3 – вентиляционный зонт, 4 – воздуховод, 5 – рабочая зона, 6 – калорифер 7 – вентилятор, 8 – утепленный обратный клапан, 9 – поворотный регулирующий клапан.

Поэтому системы с рециркуляцией воздуха, в которых приточный холодный воздух нагревается за счет смешения с внутренним теплым, позволяют снизить энергозатраты, но при этом снижается и качество воздуха, подающегося в помещение.

В зависимости от положения поворотного клапана (8, рис. 2.8,в) схема может быть прямоточной (когда он перекрывает канал вытяжной шахты и расположен горизонтально) или с рециркуляцией воздуха (когда он расположен в вертикальном положении). Также клапан может занимать промежуточное положение и быть регулирующим, позволяя изменять количество наружного воздуха или воздуха помещения для смешения.

В схеме воздушного отопления с *рекуперацией* (Рис. 2.9) тепло выбрасываемого воздуха используется для нагрева холодного поступающего воздуха через рекуператор или теплообменник. Таким образом



такие системы не только позволяют снизить энергозатраты, но и позволяют сохранить качество воздуха, избегая его смешивания с внутренним «использованным» воздухом.

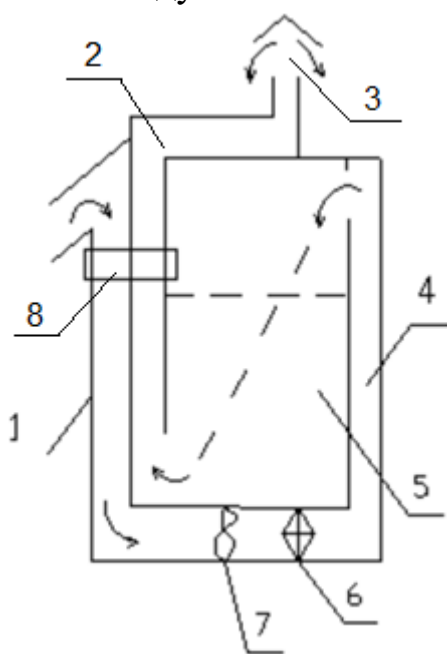


Рисунок 2.9 – Система воздушной вентиляции с рекуперацией:  
1 – воздухоразборная шахта, 2 – выбросная шахта, 3 – вентиляционный зонт, 4 – воздуховод, 5 – рабочая зона, 6 – калорифер 7 – вентилятор, 8 – рекуператор тепла

*Достоинствами* воздушного отопления с рекуперацией воздуха является:

- высокое качество воздуха (такое же как в прямоточной схеме);
- сравнительно низкие затраты (уступает только схемам с полной рециркуляцией).

С целью локализации проникновения количества воздуха при открывании двери у ворот применяются специальные устройства – тепловые завесы. В ночное или не рабочее время эти системы могут использоваться как дежурное отопление.

Преимущества воздушных систем отопления включают их относительно низкую стоимость и простоту установки. Они также могут обеспечивать равномерное распределение тепла и легко управляются с помощью термостатов.

Однако, *недостатком* воздушных систем является то, что воздух может стать сухим из-за нагрева, что может привести к дискомфорту и

проблемам со здоровьем. Также, воздушные системы обогрева требуют регулярной очистки и обслуживания, чтобы избежать накопления пыли и других загрязнений.

Кроме того, воздушные системы не всегда являются эффективными в больших помещениях или в зданиях с большими потерями тепла.

### ***2.2.2. Электрические системы отопления***

*Электрические* системы отопления работают за счет преобразования электрической энергии в тепло. Эти системы могут включать в себя различные методы, такие как электрические радиаторы, инфракрасные обогреватели, теплые полы и другие.

Одним из преимуществ электрических систем отопления является их относительная простота установки и гибкость. Электрические обогреватели могут быть установлены практически в любом помещении, так как они не требуют подключения к центральному отоплению или трубам. Они также обеспечивают индивидуальное управление температурой в отдельных зонах, что может быть полезно для экономии энергии.

Кроме того, электрические системы отопления имеют длительный срок службы, требуют минимального обслуживания и не производят выбросов вредных веществ, так как они не используют горючие материалы.

Однако, основным недостатком электрических систем отопления является их относительно высокая стоимость в использовании. Электричество обычно является более дорогим источником тепла, чем газ или другие виды топлива. Кроме того, электрические системы могут быть менее эффективными в более крупных помещениях или зданиях с плохой теплоизоляцией.

В целом, электрические системы отопления могут быть хорошим выбором для небольших помещений или для отопления отдельных зон в зданиях.

В силу ряда преимуществ системы *водяного* отопления получили наиболее широкое распространение из-за сравнительно низкой стоимости (дешевле только воздушное), достаточно высокой теплоемкости

воды (немного больше, чем у воздуха, уступает только пару), бесшумности работы, большому сроку службы (по сравнению с паровым отоплением – в 1,5 раза), возможности регулирования теплоотдачи отопительных приборов.

### 2.3. Классификация систем водяного отопления

Системы водяного отопления классифицируют в зависимости от направления объединения отопительных приборов, по количеству трубопроводов стояка, по месту расположения подающей магистрали, по способу соединения стояка с отопительными приборами, направлению движения теплоносителя в подающей и обратной магистрали.

1) по направлению объединения отопительных приборов разделяют на вертикальные и горизонтальные (Рисунок 2.10).

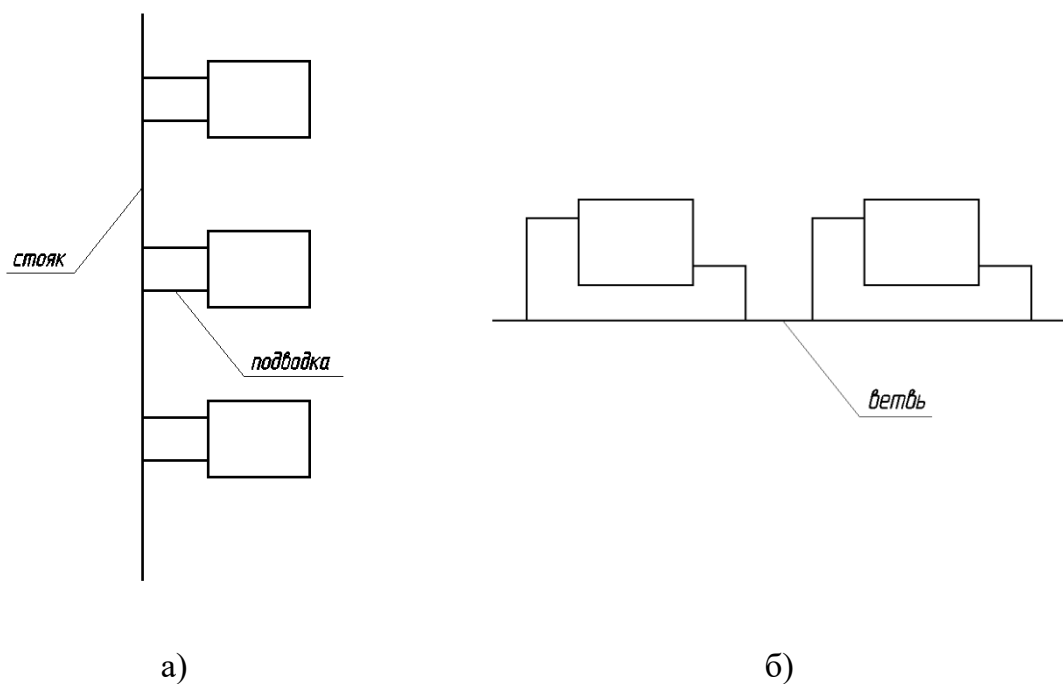


Рисунок 2.10 – Система отопления с а) вертикальным расположением отопительных приборов б) горизонтальным расположением отопительных приборов

*Стояк* в системе отопления – это вертикальный трубопровод, через который циркулирует горячая вода или пар от котла или другого источника тепла к отопительным приборам или другим отопительным приборам в здании. Стояки обычно устанавливаются вдоль стен здания или в специальных технических шахтах.

Стойки играют важную роль в распределении тепла в здании, поскольку они являются основной магистралью системы отопления. Они обеспечивают равномерное распределение тепла по всему зданию, и могут иметь разные диаметры в зависимости от количества и требуемой скорости теплоносителя, который им необходимо транспортировать.

Стойки обычно изготавливаются из стальных или медных труб, но в последние годы также стали применяться и пластиковые трубы. Важно, чтобы стойки были установлены корректно и обеспечены необходимыми системами безопасности, чтобы избежать утечек или других проблем в работе системы отопления.

*Подводка* к отопительным приборам обычно означает трубы и трубопроводы, через одну из которых подается горячая вода или пар от стойка или ветви системы отопления к радиаторам, конвекторам или теплому полу для обогрева помещений, а через другую - удаляется.

2) по количеству стояков разделяют на однотрубные, двухтрубные (Рисунок 2.11).

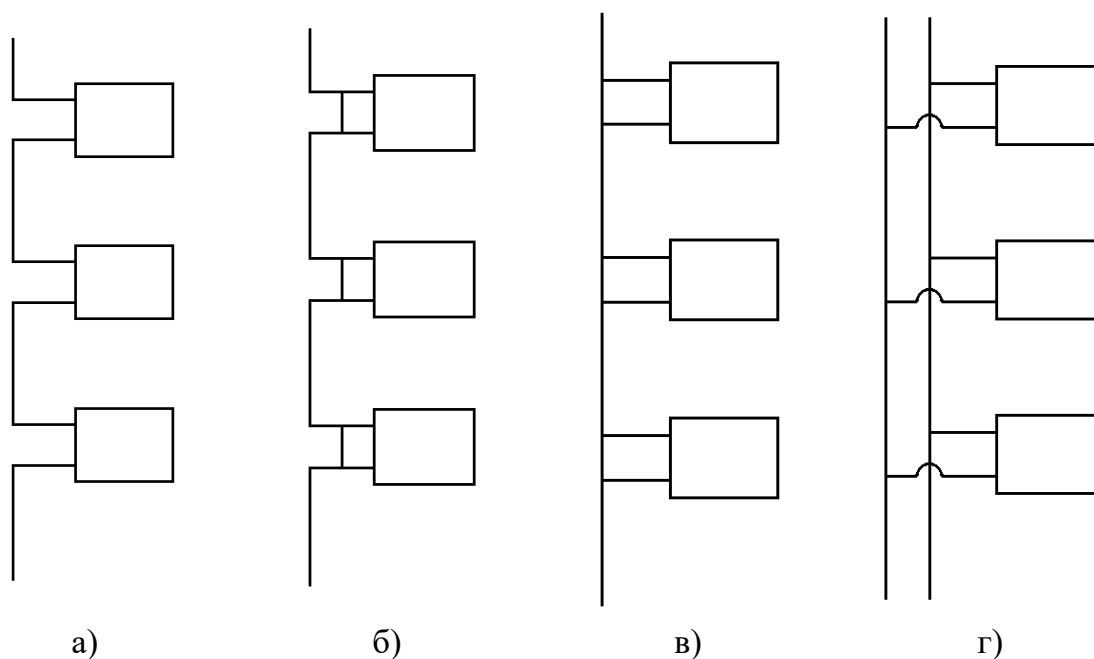


Рисунок 2.11 – Вертикальная система отопления а) с проточными стояками, б) со смещенными замыкающимися участками на подводках, в) с осевыми замыкающимися участками на подводках, г) с двухтрубным стояком

При однотрубной вертикальной схеме системы отопления на подводках к отопительным приборам может устанавливаться перемычка.

В зависимости от положения (со смещением или соосности со стояком) она позволяет повысить коэффициент затекания теплоносителя.

Однотрубные горизонтальные системы позволяют снизить затраты на материал, но при этом не равномерны в распределении тепла относительно начального и конечного отопительного прибора ветви. Так, температура отопительного прибора, стоящего первым, всегда будет выше, чем последующих. Для равномерного распределения теплоносителя в такой системе необходима точная увязка каждого из приборов и установка регулирующей арматуры.

Простой в данном аспекте будет устройство двухтрубной системы, где температура теплоносителя в подающем трубопроводе к каждому из отопительных приборов будет распределяться равномерно и приблизительно равна, как следствие, средняя температура каждого из отопительных приборов на ветви или стояке будет одинаковой.

3) по месту расположения подающей магистрали разделяют на систему отопления с *верхней разводкой* (подающая расположена вверху, а обратная внизу) и *нижней разводкой* (обе магистрали расположены внизу).

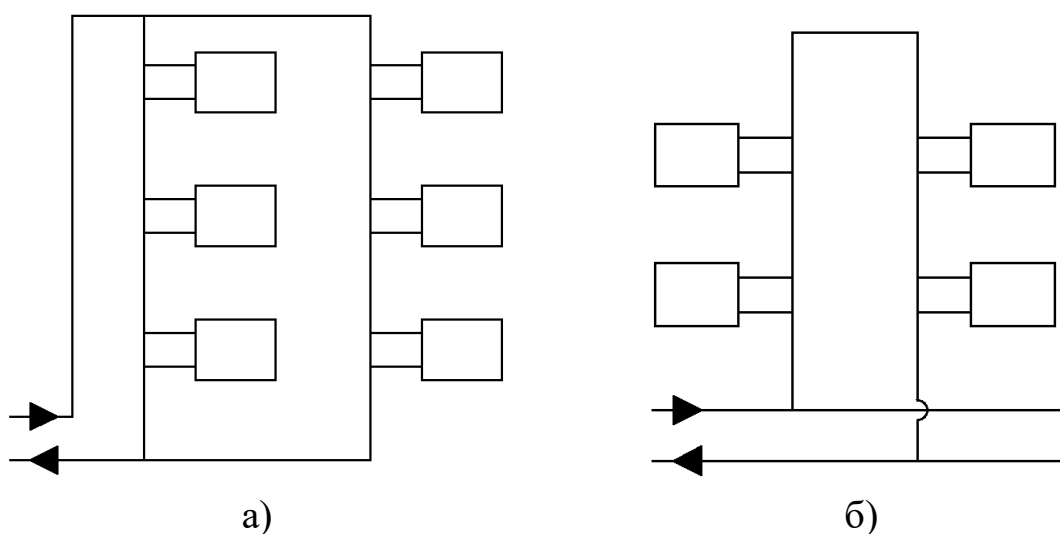


Рисунок 2.12 – Система отопления а) с верхней разводкой, б) с нижней разводкой

Нижняя разводка предусматривается в том случае, когда в здании отсутствует чердак или техническое помещение.

4) по направлению движения теплоносителя в подающей и обратной магистралях – со встречным движением теплоносителя, с попутным движением теплоносителя (рис. 2.13).

Встречное движение теплоносителя характеризуется различными потерями по длине на участках, что требует дополнительной увязки. При попутном движении теплоносителя, потери по длине, на участках равны, а следовательно, и распределение количества теплоносителя по участкам будет равно.

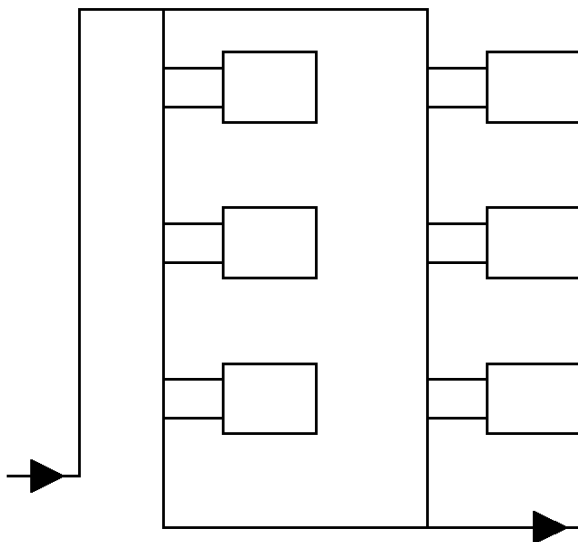


Рисунок 2.13 – Система отопления с попутным движением теплоносителя

5) по температуре теплоносителя классифицируют на высокотемпературные ( $t$  более  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и низкотемпературные ( $t$  менее  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Использование высокотемпературной воды в системах отопления значительно снижает их металлоемкость и стоимость (в среднем на 20-30 %). Причем, металлоемкость отопительных приборов снижается за счет сокращения требуемой поверхности нагрева в связи с повышением средней температуры воды в отопительных приборах, а экономия металла на трубопроводах достигается за счет уменьшения их диаметра в связи с сокращением количества циркулирующей в системе отопления воды и увеличением располагаемого перепада давлений в ней (при непосредственном присоединении к системе централизованного теплоснабжения).

Тем не менее, применение высокотемпературной воды в упомянутых ранее системах отопления возможно только в промышленных и некоторых других зданиях, где допускается повышенная температура на поверхности отопительных приборов (более  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

В жилых и в большинстве общественных зданий, в которых температура поверхности отопительных приборов не допустима свыше  $95$

°С, вода с высокой температурой не используется в системах отопления.

Поэтому с целью снижения стоимости системы и, как следствие, снижения материалоемкости в жилых и общественных зданиях предлагаются новые типовые местные системы отопления, что позволяет использовать такой теплоноситель при условии, что температура поверхности отопительных приборов будет соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям.

## 2.4. Система отопления высотных зданий

Особенностью системы отопления высотных зданий является большое гидростатическое давление в нижней части системы. Если высота стояка 150 м, то гидростатическое давление в нижней его части будет составлять 15 атм.

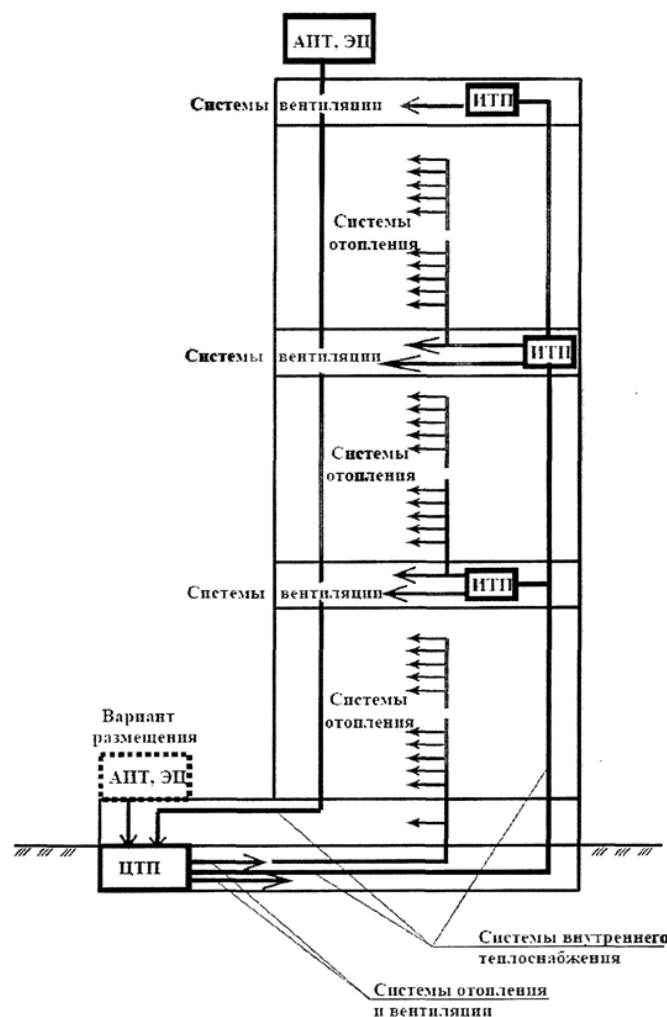


Рисунок 2.14 – Отопление высотных зданий: 1 – воздухоборник (воздухоотводчик), 2 – теплообменник, 3 – циркуляционный насос

Большинство отопительных приборов рассчитано на рабочее давление в 6 атм.

Если система отопления данного здания подключена по зависимой схеме, то это большое давление будет передаваться системе отопления других зданий. Поэтому высотные здания, как правило, подключают по независимой схеме (через теплообменники)

В системе отопления высотных зданий обычно применяют зонирование, т.е. всё здание разбивается на зоны. Высота одной зоны обычно составляет 50-55 м.

Таких зон, в зависимости от высоты зданий может быть несколько. Рассмотрим схему двух зон (высота 100-110 м).

Среднее рабочее давление, на которое рассчитан теплообменник, составляет 15-17 атмосфер. В зданиях высотой более 170 м применяют пароводяное отопление, где первичным теплоносителем является пар, а вторичным вода.

## 2.5. Отопительные приборы

Отопительные приборы выполняют ключевую функцию в системе отопления, передавая тепло от теплоносителя в отапливаемое помещение.

Приборы обычно размещаются под окнами, вдоль световых проемов, витрин и витражей. При размещении приборов под окнами, вертикальные оси приборов должны совпадать с осью оконного проема. В жилых зданиях, гостиницах и общежитиях возможно смещение осей приборов от осей проемов для унификации приборных узлов.

Параметры теплоносителя (температура, давление) в системах отопления с использованием труб из термостойких полимерных материалов не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в соответствующих нормативных документах, но не более 90°C и 1,0 МПа.

Требования, предъявляемые к отопительным приборам:

– *теплотехнические* – заключаются в том, что теплота, передаваемая отопительным прибором от теплоносителя в помещение при



максимально возможном коэффициенте теплопередачи (не менее 9-10 Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

– *санитарно-гигиенические* – отопительный прибор и его поверхности не приводили к скоплению пыли и позволяли эффективно и доступно ее удалять;

– *техничко-экономические* – обеспечение минимума приведенных затрат, определяемого технико-экономическим сравнением вариантов различных отопительных приборов, небольшого расхода металла и технологическое серийное производство;

– *архитектурно-строительные* – минимальная площадь, занимаемая отопительным прибором, соответствие интерьеру помещения;

– *монтажные* – обеспечение удобства монтажа;

– *эксплуатационные* – простота и удобство обслуживания, управления и ремонта, надежность, безопасность и бесшумность действия;

– *эстетические* – хорошая сочетаемость с внутренней архитектурной отделкой помещения, минимальная площадь.

### **2.5.1. Классификация отопительных приборов**

По преобладающему способу передачи тепла различают *радиационные* отопительные приборы – преобладает радиация, т.е. излучение, *конвективные* и *конвективно-радиационные*.

*Радиационные* передают посредством излучения более 50% общего теплового потока. К данному типу можно отнести тепловые панели из металла, камня, бетона и других твердых материалов. К ним относится и все чаще применяемая для отопления – система теплых полов.

*Конвективные* передают тепло посредством конвекции не менее 75%. К ним относят конвекторы, ребристые трубы и воздухонагреватели – калориферы. Они используются для нагрева воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования.

*Конвективно-радиационные* передают посредством конвективного теплообмена не менее 50% общего теплового потока. Такими свойствами обладают секционные, гладкотрубные и панельные радиаторы.

По материалу разделяют на металлические (стальные, чугунные, алюминиевые и т.д.), неметаллические (керамические, бетонные и т.д.), комбинированные.

По высоте отопительного прибора различают высокие (более 650 мм), средние (400-600 мм), низкие (200-400 мм) и плинтусного типа, располагаемые вдоль наружных стен по полу помещения.

По величине тепловой инерции – инерционные, малоинерционные, безинерционные.

*Панельно-лучистым* называется отопление здания при котором средняя температура всех поверхностей  $t_R$ , обращенных в помещение, превышает температуру внутреннего воздуха, то есть выполняется условие  $t_R > t_B$ .

Рассматриваемая лучистая система отопления осуществляется с помощью совмещенных и приставных бетонных панелей, в массив которых заделаны греющие элементы (трубы), так же подвесных панелей в виде металлического экрана прикрепленного к греющим трубам.

### **2.5.2. Основные типы отопительных приборов**

*Чугунный секционный радиатор* (Рисунок 2.15) изготавливают из серого чугуна литьем, состоит из отдельных секций (одно-, двух-, трех-колончатые). Наиболее распространены двухколончатые.



а)



б)



в)

Рисунок 2.15 – Секционный радиатор: а) одноколончатый, б) двухколончатый, в) трехколончатый

Секции соединяют между собой с помощью ниппелей – гайка, имеющая левую и правую резьбу.

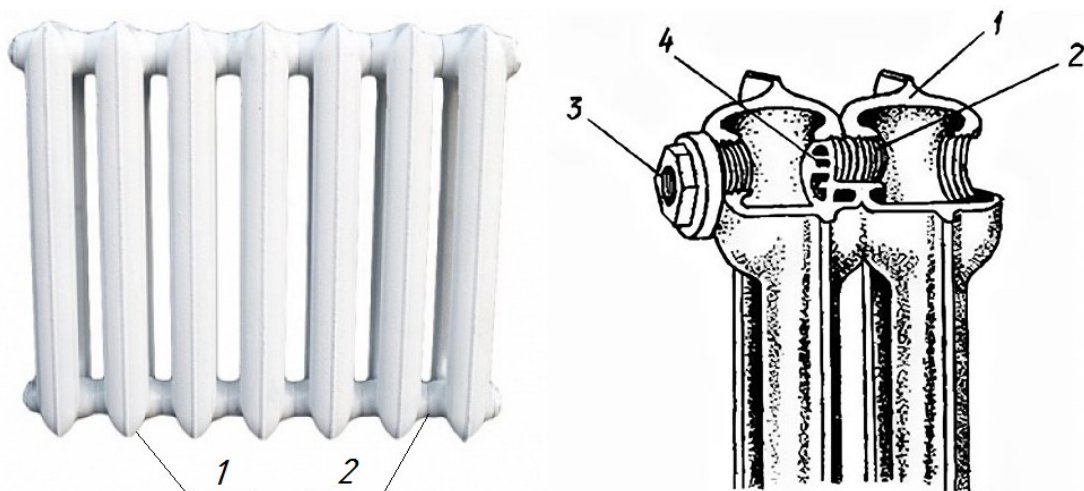


Рисунок 2.16 – Чугунный секционный радиатор: 1 – секция, 2 – ниппель, 3 – радиаторная пробка, 4 – выступ под радиаторный ключ

Достоинствами чугунных радиаторов можно выделить их долговечность (в среднем 30 лет), в следствии низкой коррозирующей способности, возможности набора реальной площади поверхности прибора близко к расчетной за счет установки сборки секций, высокие теплотехнические характеристики.

Недостатками – вес и громоздкость и трудность при обслуживании и уборке.

Стальные панельные радиаторы состоят из двух стальных пластин, толщиной от 1,3 до 1,5 мм, полученных штамповкой и сваренных по периметру автоматической сваркой.

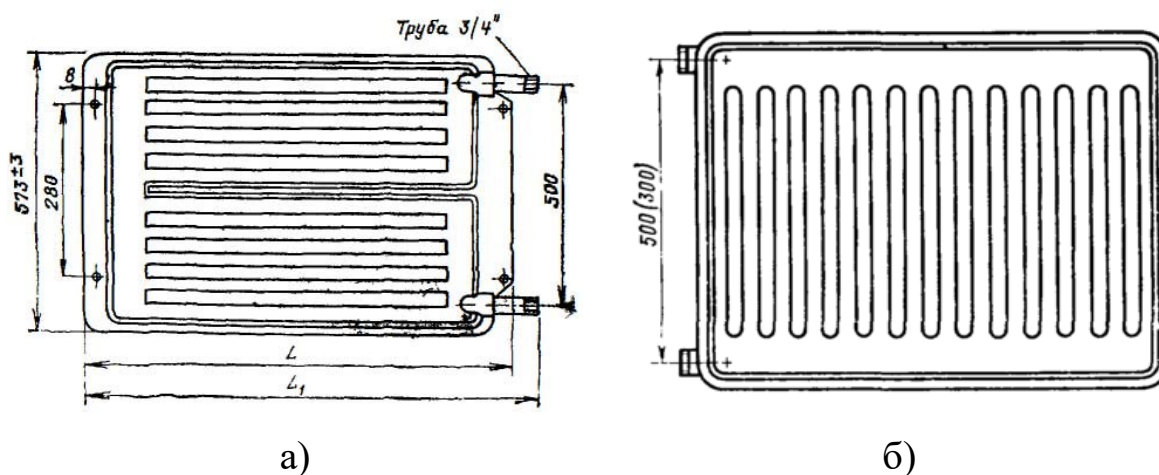


Рисунок 2.17 – Стальной панельный радиатор: а) горизонтальный, б) вертикальный

Достоинства панельных радиаторов в их простоте производства, санитарно-технических качествах, высоких теплотехнических свойствах, эстетичном виде и небольшом весе.

Недостатками панельных радиаторов можно выделить низкий срок службы (в среднем 3-7 лет).

*Гладкотрубные* отопительные приборы выполняются из труб диаметром 100 мм и обычно используются в системах отопления и кондиционирования воздуха в производственных зданиях (Рисунок 2.18). Также их разновидностью могут быть полотенцесушители (диаметр труб, как правило, 32 мм), устанавливаемые в санитарных узлах. Назначение гладких стальных труб, как отопительных приборов, заключается в том, чтобы пропустить горячую или холодную воду (или другие охладители) через трубы для передачи тепла или холода воздуху в помещении. Таким образом, гладкие стальные трубы используются для равномерного распределения тепла или холода и обеспечения комфортных условий внутри здания.



Рисунок 2.18 – Гладкие стальные трубы (регистры)

Положительными характеристиками гладких стальных труб являются высокие санитарно-гигиенические качества, достаточно высокие теплотехнические характеристики, простота изготовления, низкая стоимость.

Минусами – громоздкость, большие материалозатраты, плохой эстетический вид.

Поверхность *чугунных ребристых труб* (Рисунок 2.19) имеет большую площадь соприкосновения с воздухом, что улучшает теплоотдачу, позволяя эффективнее нагревать внутреннюю среду и придает прибору компактность. Такие трубы часто используются в центральных отопительных системах, где важна высокая теплоотдача для обеспечения комфортной температуры в помещениях.



Рисунок 2.19 – Чугунная ребристая труба

Положительными характеристиками чугунных ребристых труб являются высокие теплотехнические характеристики, долговечность.

Минусами – низкие санитарно-гигиенические качества, применяется в производственных и сельскохозяйственных зданиях.

Присоединение гладких или ребристых труб, устанавливаемых в несколько ярусов или рядов, рекомендуется выполнять по последовательной схеме для движения теплоносителя сверху вниз.

*Бетонная отопительная панель* (рис. 2.20) представляет собой бетонную панель, внутри которой находится змеевик (металлический, пластмассовый, стеклянный). Панели обычно делают приставными. Размещают под окнами, у боковых стен на лестничных клетках, полу.

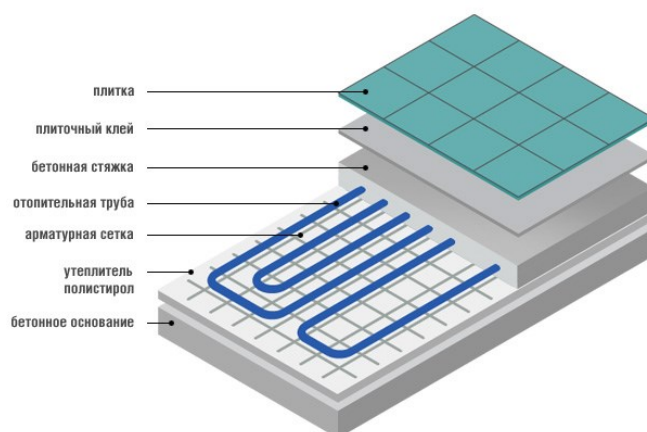


Рисунок 2.20 – Бетонная отопительная панель

Положительными качествами можно выделить высокие санитарно-гигиенические качества, незаметны при установке в помещении, высокие теплотехнические характеристики, равномерность распределения нагрева помещения по высоте при правильном монтаже. Минусами – сложность монтажа и особую сложность ремонта.

В случае ремонта или демонтажа отопительных приборов требуется установка запорной и регулирующей арматуры, кроме тех помещений, где есть риск замерзания теплоносителя, в частности при использовании воды, таких как гардеробные, ванные или санитарные узлы и душевые кабины, кладовые и складские помещения, тамбуры и лестничные клетки.

Как правило, в качестве регулирующей арматуры устанавливаются автоматические терморегуляторы поддержания температуры внутреннего воздуха в помещении.

Регулирующая арматура для отопительных приборов однотрубных систем отопления выбирается с минимальным гидравлическим сопротивлением, а для приборов двухтрубных систем - с повышенным сопротивлением.

Запорная арматура предусматривается для отключения и спуска воды от отдельных колец, ветвей и стояков систем отопления в случае аварии или их ремонта, для отключения части или всех отопительных приборов в помещениях, в которых отопление используется периодически или частично, для автоматически или дистанционно управляемых соленоидных, пневматических или гидравлических клапанов. Для другого оборудования запорную арматуру следует предусматривать при технико-экономическом обосновании

Запорную арматуру допускается не предусматривать на стояках в зданиях с числом этажей три и менее.

Эффективная и нормальная работы системы отопления в особенности зависит от наличия воздуха в отопительных приборах и всех участках труб системы, который может снижать теплоотдачу отопительных приборов и создавать шум при работе.

В системах водяного отопления с естественной циркуляцией воды для удаления воздуха используется, как правило, открытый расширительный сосуд без вспомогательной запорной или воздухопускной арматуры.

Также рекомендуется устройство уклонов теплопроводов магистралей в сторону расширительного бака, от отопительного прибора к стоякам, от магистралей подвала к тепловому пункту не менее 0,002 для однозначного удаления воздуха и удобного спуска воды из системы водяного отопления.

### Практическое задание

Расчет отопительных приборов сводится к определению площади их поверхности:

$$A_{np} = \frac{Q_{np}}{q_{np}} \beta_1 \beta_2, \text{ м}^2$$

$Q_{np}$  – мощность теплового потока отопительного прибора, Вт;

$q_{np}$  – расчетная плотность теплового потока прибора, Вт/м<sup>2</sup>;

$\beta_1$  – учитывает увеличение фактической площади сверх расчетной;

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий потери тепла прибором, расположенного у наружного ограждения.

Как правило, отопительные приборы располагают у наружных стен под световыми проемами.

$$Q_{np} \approx 0,95 Q_{\text{потери}}$$

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \left( \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left( \frac{G_{\text{пр}}}{0,1} \right)^p$$

$q_{\text{ном}}$  – номинальная плотность парового потока прибора, Вт/м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{\text{ср}}$  – температурный напор, °С;

$G_{\text{пр}}$  – расход теплоносителя через прибор;

$n, p$  – экспериментальные показатели степени;

$q_{\text{пасп}}$  – характеристика прибора (паспортная)

$$\sum t_{\text{ср}} = t_{\text{пр}} - t_{\text{возд}}$$

$$t_{\text{пр}} = 0,5 (t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})$$

$t_{\text{вх}}$  – температура теплоносителя на входе

$t_{\text{вых}}$  – температура теплоносителя на выходе.

$$G_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{c(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})}$$

$c$  – теплоемкость.

Определение числа секций чугунного радиатора:

$$N_{\text{расч}} = \frac{A_{\text{пр}} \beta_4}{f_{\text{секц}} \beta_3}$$

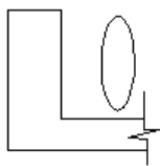
$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий способ установки радиатора;

$\beta_4$  – коэффициент, учитывающий число секций в радиаторе.

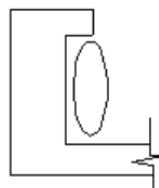
При  $N = 3-15$ ,  $\beta_4 = 1,00$ ;

При  $N = 16-20$ ,  $\beta_4 = 0,98$ ;

При  $N = 21-25$ ,  $\beta_4 = 0,96$ .



а)



б)



в)



Рисунок 2.21 – Установка отопительных приборов а) с открытой установкой, б) в нише, в) декоративные щиты

$\beta_3 = 1$  при установке чугунного радиатора открыто;

$\beta_3 = 1,02$  при установке чугунного радиатора у стены без ниши;

$\beta_3 = 1,12$  при установке чугунного радиатора в декоративный щит;

Как правило, число секций округляют в большую сторону, но можно и в меньшую, при соблюдении условий: общее уменьшение теплового потока не должно превышать 5% и при этом не более 60 Вт

Пример: Определить число секций чугунного секционного радиатора марки МС–140–98 для жилой комнаты, теплотери которой  $R_{нотери} = 1700$  Вт, система отопления двухтрубная с параметрами –  $t_2 = 95$  °С;  $t_o = 70$  °С, радиатор расположен под световым проемом без ниши,  $q_{ном} = 725$  Вт/м<sup>2</sup>,  $f$  секций (площадь одной секции) = 0,24 м<sup>2</sup>,  $n = 0,3$ ,  $p = 0$ ,  $\beta_1 = 1,02$ ,  $\beta_2 = 1,04$ .

$$Q_{пр} = 0,95 \cdot Q_{потерь} = 0,95 \cdot 1700 = 1615 \text{ Вт}$$

$$Q_{пр} = 725 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \left( \frac{62,5}{70} \right)^{1,3} = 623,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$\Delta t_{ср} = 0,5 (t_{вх} + t_{вых}) = 0,5(95 + 70) = 82,5$$

$$\Delta t_{ср} = 82,5 - t_{возд} = 82,5 - 20 \text{ °С} = 62,5 \text{ °С}$$

$$A_{пр} = \frac{1615}{623,5} \cdot 1,02 \cdot 1,04 = 2,75 \text{ м}^2$$

$$N_{расч} = \frac{2,75}{0,24} \cdot 1 = 11,5$$

Так как  $\beta_4 = 1$  и расчетное значение получилось не целым, округляем его в большую сторону и получаем  $N = 12$  секций.

## Контрольные вопросы

1. Схема двухтрубной тупиковой системы отопления с верхней разводкой.
2. Основные требования, предъявляемые к системам отопления.
3. Чем объясняется широкое распространение систем водяного отопления?
4. Сравнительная характеристика основных теплоносителей.
5. Особенности применения водяных систем отопления. В чем заключаются преимущества и недостатки этих систем?
6. Схема системы водяного отопления с естественной циркуляцией.
7. Схема системы водяного отопления с механическим побуждением циркуляции.
8. Схема замкнутой системы парового отопления.
9. Схема разомкнутой системы парового отопления.
10. Схема местной системы воздушного отопления.
11. Схема центральной системы воздушного отопления.
12. Основные элементы системы отопления.
13. Классификация систем отопления.
14. Схема однотрубной с попутным движением теплоносителя системы отопления с верхней разводкой.
15. Схема однотрубной тупиковой системы отопления с нижней разводкой.
16. Схема двухтрубной с попутным движением теплоносителя системы отопления с нижней разводкой.
17. Системы отопления высотных зданий.
18. Независимая схема присоединения системы водяного отопления к наружным теплопроводам.
19. Зависимая схема присоединения системы водяного отопления к наружным теплопроводам со смешением воды.
20. Зависимая прямоточная схема присоединения системы водяного отопления к наружным теплопроводам.
21. Какие основные требования предъявляются к отопительным приборам?

### Тема 3. ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

Тепловая энергия, транспортируемая теплоносителем (горячей водой или паром) от источника теплоты или теплогенератора при централизованной схеме (теплоэлектростанции – ТЭЦ или крупной котельной) к помещениям потребителей по специальным трубопроводам, называемым *тепловыми сетями*.

В тепловые сети входят:

- 1) стальные трубы;
- 2) тепловая изоляция;
- 3) компенсаторы тепловых удлинений;
- 4) запорная и регулирующая арматура;
- 5) подвижные и неподвижные опоры;
- 6) камеры;
- 7) дренажные и воздухопускные устройства.

По количеству теплопроводов, проложенных параллельно, различают *однотрубные, двухтрубные, трехтрубные и четырехтрубные*.

В однотрубной системе вода после использования системы отопления должна полностью использоваться для систем горячего водоснабжения.

В двухтрубной – по одной (подающая магистраль) теплоноситель транспортируется к потребителю, по другой – возвращается обратно к источнику тепла.

В трехтрубной – по одной теплоноситель подается для системы отопления и вентиляции, по другой для горячего водоснабжения, а по общей третьей возвращается.

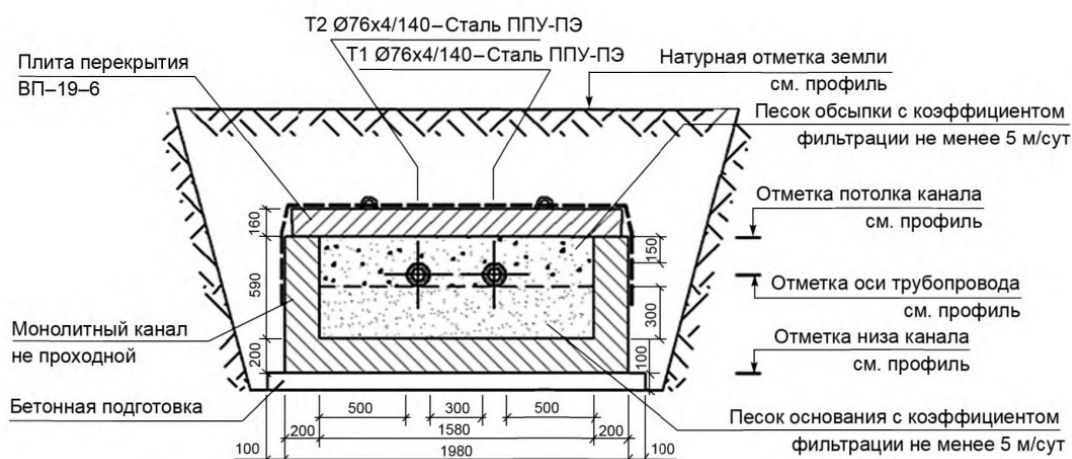
В четырехтрубной одна пара на обслуживание системы отопления и вентиляции, а другая для системы горячего водоснабжения.

В настоящее время широко используются двухтрубные системы отопления.

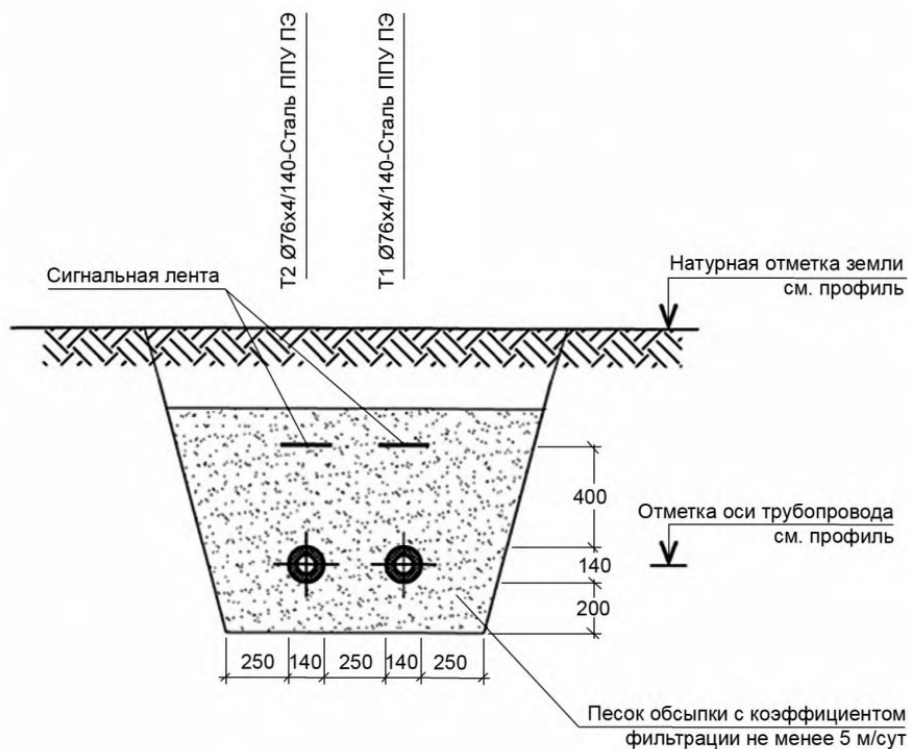
По способу приготовления горячей воды различают закрытые системы, где горячее водоснабжение используется водопроводная вода для нагрева сетевой воды в водоподогревателе и возвращается к источнику тепла, и открытые – вода для горячего водоснабжения разбирается потребителем непосредственно из тепловой сети и после ее использования в сеть не возвращается.

По месту прокладки тепловых сетей различают магистральные, распределительные и ответвления.

По способу прокладки (Рисунок 3.1) – *подземные (канальная, бесканальная)* и *надземные (воздушные)* – (применяются на территории промышленных предприятий при сооружении тепловых сетей вне города).



а)



б)

Рисунок 3.1 – Подземная прокладка тепловых сетей: а) канальная, б) бесканальная

Канальная прокладка бывает трех видов: *непроходная*, *полупроходная* (1,5 м на 0,6 м) и *проходная* (2,0 м на 0,8 м).

Стальные трубы широко применяются в системах центрального отопления из-за их прочности, возможности легкого сварного соединения и близкого соответствия коэффициента линейного расширения стали коэффициенту расширения бетона. Это особенно важно при встраивании труб в бетон, например, в случае бетонных панельных радиаторов.

В теплогазоснабжении чаще всего используются водогазопроводные трубы (легкие, обыкновенные и усиленные) с разной толщиной стенки.

Усиленные толстостенные трубы редко используются исключительно в долговременных уникальных сооружениях, где требуется скрытая прокладка.

Тонкие легкие трубы предназначены для сварки или накатки резьбы, чтобы соединять их в системах водяного отопления при открытой прокладке.

Обыкновенные трубы используют при скрытой прокладке и в системах парового отопления.

Стальные трубы, используемые в системах центрального отопления, обычно способны выдерживать большее гидростатическое давление не менее 10 атм по сравнению с отопительными приборами и арматурой. Поэтому предельно допустимое гидростатическое давление в системе водяного отопления определяется рабочим давлением, для которого рассчитаны не трубы, а менее прочные элементы, например, отопительные приборы.

### ***Схемы подключения системы отопления к тепловым сетям***

Тепловые сети, которые часто называют наружными – теплопроводы, по которым теплоноситель от источника тепла поступает в систему отопления.

Подключение к тепловым сетям может быть зависимым и независимым (Рисунок 3.2).

***Зависимые*** системы – теплоноситель из тепловых сетей поступает в отопительные приборы системы отопления.

Зависимые подразделяют на:

1) система с непосредственной подачей теплоносителя (температура воды в системе отопления такая же, как в тепловых сетях)

2) система со смешиванием воды из тепловых сетей с водой из обратной магистрали.

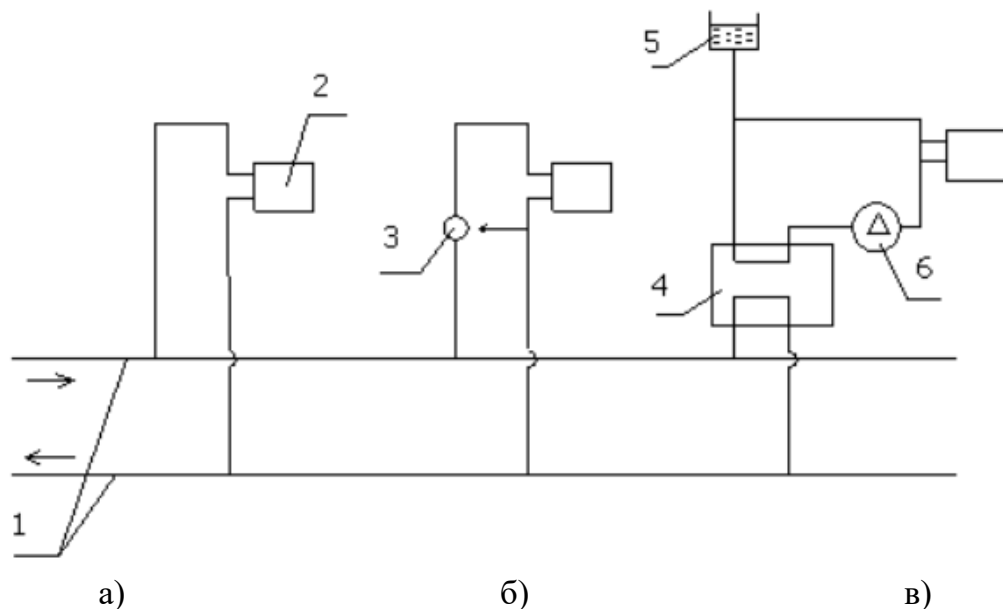


Рисунок 3.2 – Схемы подключения системы отопления зависимые: а) с непосредственной подачей воды, б) со смешиванием, в) независимая:

1 – тепловые сети, 2 – система отопления, 3 – смесительная установка, 4 – теплообменник, 5 – расширительный бак, 6 – Циркуляционный насос

Температура воды подающего трубопровода в тепловых сетях 140-150°C.

На каждые 10°C выше температуры кипения (100°) нужно добавить одну избыточную атмосферу.

В качестве смесителей установки бывает:

- 1) водоструйный элеватор;
- 2) смесительные насосы;

Смесительные насосы подключаются по следующим схемам:

- 1) в перемычке;
- 2) в обратной магистрали;
- 3) в падающей магистрали.

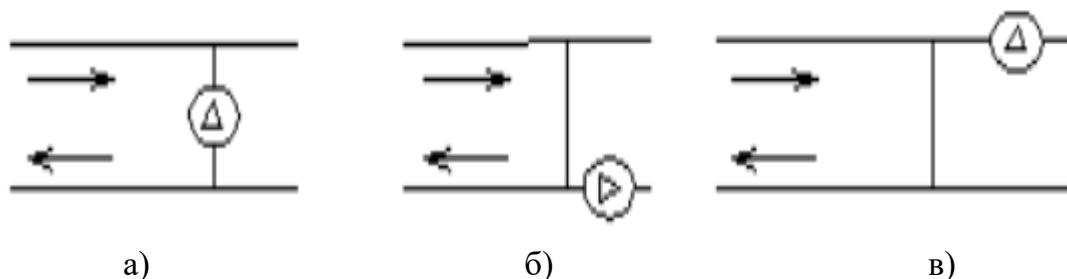


Рисунок 3.3 – Схемы подключения смесительных насосов: а) на перемычке, б) на обратном трубопроводе, в) на подающем трубопроводе

Первую схему используют в том случае, когда давление в тепловых сетях достаточно для циркуляции воды в системе отопления. Насос на перемычке является только смесительным.

Вторую схему используют в том случае, когда давление в тепловых сетях недостаточно для циркуляции воды в системе отопления. Насос является смесительно-циркуляционным. То же самое будет, если поставить его в падающую магистраль, но обычно ставят в подающую магистраль, но обычно ставят на обратной магистрали, поскольку там более благоприятные условия действия насоса, т.к. температура воды меньше.

Третью схему используют в тех случаях, когда нужно поднять воду на определенную высоту, т.е. насос ставят в подающую магистраль. В этом случае смесительно-циркуляционный насос является ещё и повысительным насосом.

### Контрольные вопросы

1. Что называют тепловыми сетями?
2. Состав тепловых сетей.
3. Как различают тепловые сети по количеству параллельно проложенных теплопроводов. Опишите каждую.
4. Способы прокладки тепловых сетей. Схема прокладки.
5. Современные материалы, трубопроводы и арматура для тепловых сетей. Их параметры.
6. Схема подключения внутренней системы отопления к тепловым сетям.
7. Схема присоединения трубопроводов отопления здания к бесфундаментным циркуляционным насосам.

## **Тема 4. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

*Система вентиляции* (от лат. «проветривание») – это комплекс технических устройств и оборудования, предназначенных для обеспечения поступления свежего воздуха и удаления загрязненного воздуха из зданий или помещений.

Целью систем вентиляции является поддержание комфортных и здоровых условий для пребывания людей, а также поддержание оптимальных условий для работы оборудования.

Системы вентиляции могут включать в себя воздуховоды, вентиляционные устройства, фильтры, рекуператоры тепла и другие компоненты, которые обеспечивают циркуляцию воздуха в зданиях.

### **4.1. Классификация систем вентиляции**

По способу создания давления для перемещения воздуха различают *естественную* и *механическую* вентиляцию.

Перемещение воздуха происходит по трем причинам:

- вследствие разности температур внутреннего и наружного воздуха.
- вследствие разности давления воздушного столба между нижним уровнем и вытяжным устройством, установленным на кровле здания.
- в результате воздействия так называемого ветрового давления.

Естественная вентиляция подразделяется на *канальную (организованная)* (Рисунок 4.1) – воздух двигается по специальным каналам (воздуховодам) и *бесканальную (неорганизованная)* (Рисунок 4.2).

Вертикальные каналы делаются во внутренних стенах. Минимальные размеры  $\frac{1}{2} \text{ к} \times \frac{1}{2} \text{ к}$  (100-150 мм)

Иногда воздуховоды делают приставными – приставляются к стенам.

Горизонтальный канал и вытяжную шахту утепляют, чтобы не допускать образование конденсата. Чтобы уменьшить сопротивление



двигателя воздуха внутреннюю поверхность вытяжной шахты иногда покрывают металлическим листом.

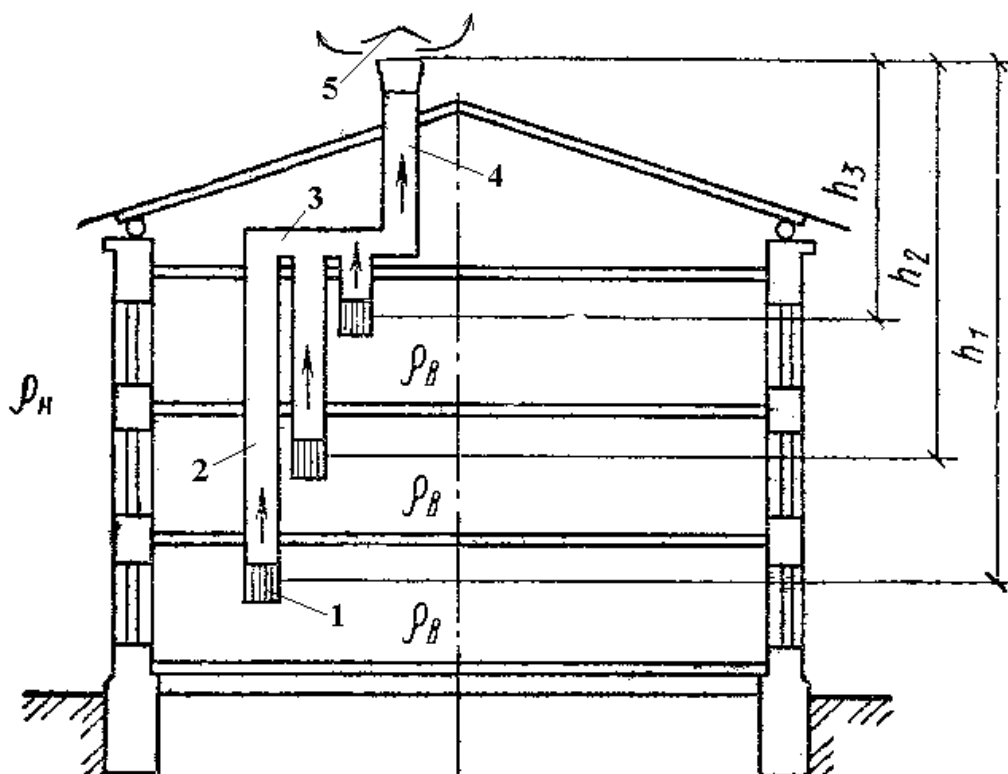


Рисунок 4.1 – Канальная естественная вентиляция: 1 – вентиляционное отверстие с жалюзийной решеткой, 2 – вертикальный вентиляционный канал, 3 – горизонтальный сбор-канал, 4 – вытяжная шахта, 5 – дефлектор

## 4.2. Естественное циркуляционное давление

Естественное циркуляционное давление образуется за счет разности плотностей внутреннего и наружного воздуха и определяется по формуле:

$$\Delta P_e = gh (\rho_n - \rho_v),$$

где  $\Delta P_e$  – естественное циркуляционное давление, Па;

$g$  – ускорение свободного давления, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_n, \rho_v$  – плотность холодного наружного и теплого внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_n$  принимается для температуры 5 °С.

$h$  – разность высот между вентиляционным отверстием и дефлектором, м.

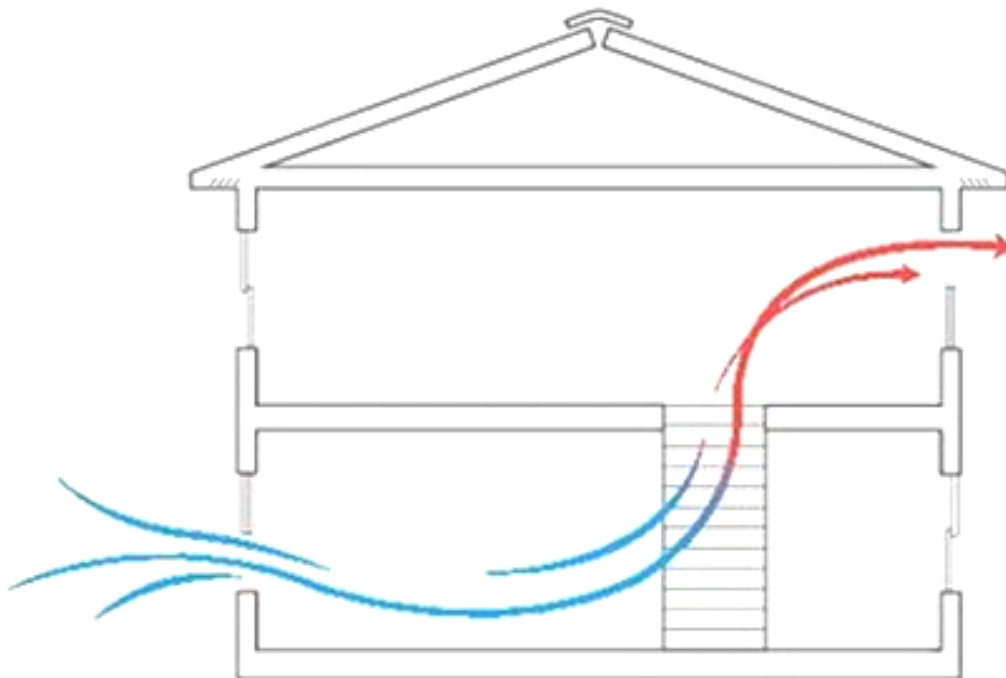


Рисунок 4.2 – Бесканальная естественная вентиляция

*Естественная бесканальная система* вентиляции – это система вентиляции, при котором воздух обновляется в помещении без использования вентиляционных каналов или механических устройств.

Этот тип вентиляции осуществляется за счет естественных факторов, таких как тепловые и ветровые потоки, давление воздуха и т.д. Вентиляция может осуществляться через окна, двери, через специальные вентиляционные отверстия или фасадные элементы здания, такие как фасадные клапаны или решетки.

Естественная бесканальная вентиляция может быть более экологически чистой и экономически выгодной, чем обычные вентиляционные системы, однако ее эффективность может зависеть от климатических условий и архитектурных особенностей здания.

Естественная вентиляция применяется обычно в жилых зданиях.

Преимуществами можно выделить низкую стоимость и дешевую эксплуатацию, а недостатками – небольшое создаваемое давление, малый радиус действия (до 8 м) и невозможность обработки воздуха (очистка, нагрев и т.д.)

*Кратность воздухообмена* – это параметр, который определяет, сколько раз за определенный период времени воздух в помещении заменяется свежим воздухом (4.1):

$$n = \frac{L}{V}, \quad (4.1)$$

где  $L$  – количество воздуха, удаляемого (подаваемого) в помещении за 1 час, м<sup>3</sup>;

$V$  – внутренний объем помещения, м<sup>3</sup>.

Например, если кратность воздухообмена равна 2, это означает, что воздух в помещении полностью заменяется на свежий воздух два раза за период времени, на который рассчитывается кратность (например, за час). Таким образом, чем выше значение кратности воздухообмена, тем чаще происходит обновление воздуха в помещении, что способствует поддержанию оптимального качества воздуха.

По зоне обслуживания системы вентиляции разделяются на *местные, общеобменные и смешанные*.

В воздух рабочей зоны при производстве часто выделяются вредные вещества в виде газов или пыли. Содержание вредных газов и паров в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимой концентрации (ПДК).

*Предельно допустимая концентрация* – это максимально возможное количество вредного вещества, мг/м<sup>3</sup>, в единице объема воздуха, которое в течение всего рабочего стажа не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья людей, работающих в данных условиях.

Общеобменные системы вентиляции устраиваются для подачи и удаления воздуха из всего объема рабочей зоны помещения с равномерно одинаковыми параметрами.

Местные вытяжные системы подразделяют на *местные отсосы и воздушные души*.

*Местные отсосы* удаляют воздух близки источников вредных выделений или где предполагается повышенная концентрация вредных веществ, например, у гальванических или травильных промышленных или лабораторных ванн, технологических печей, для предотвращения повышения этой концентрации в рабочей зоне и всего помещения.

*Воздушное душирование* предполагает подачу чистого воздуха на рабочие места или человека, отсекая воздух с предельно допустимой концентрацией вредных веществ и создавая область с допустимыми параметрами воздуха.

В системах *механической* вентиляции воздух перемещается вентилятором, приводимым в действие электродвигателем.

Механические системы применяются значительно чаще, по сравнению с естественными, так как создаваемое давление вентилятором больше, а сечение и, следовательно, диаметр воздуховодов меньше, что экономичнее для протяженных магистралей воздуховодов. Например, в воздуховодах естественных систем вентиляции скорость движения воздуха составляет от 0,5 до 1,5 м/с, а в воздуховодах механических систем – от 4 до 13 м/с.

При отсутствии вредных выделений для экономии удаляемого тепла из помещения может предполагаться устройство систем вентиляции с рециркуляцией или рекуперацией воздуха, где приточная системы вентиляции обменивается или смешивается с удаляемым воздухом помещения, которое называется вторичным использованием.

По схеме перемещения воздуха системы вентиляции классифицируют на *приточные*, *вытяжные* и *приточно-вытяжные*.

*Приточная* система вентиляции – это система, которая используется для подачи свежего воздуха в помещения. Она обеспечивает поступление чистого воздуха извне и его циркуляцию внутри здания, обеспечивая улучшение качества воздуха и создавая комфортные условия для проживания или работы.

*Вытяжная* система вентиляции – это система, предназначенная для удаления использованного воздуха из помещений. Она работает путем вытягивания загрязненного воздуха и отвода его на улицу или в систему очистки, обеспечивая обновление воздуха в помещении наружным воздухом или воздухом смежных помещений путем инфильтрации или через щели окон и дверей, поддерживая комфортные и безопасные условия для пребывания людей.

*Приточно-вытяжная* система вентиляции – это комплексная система, которая сочетает в себе приточные и вытяжные элементы вентиляции. Она обеспечивает подачу свежего воздуха в помещение и одновременно удаляет использованный воздух, обеспечивая постоянное обновление и циркуляцию воздуха в здании.

*Аварийная вентиляция* – это часть системы вентиляции, предназначенная для обеспечения безопасности в случае чрезвычайных ситуаций, таких как пожар, утечка опасных газов и т. д.

Эта система включает в себя специальные аварийные вентиляционные шахты, вентиляторы и другое оборудование, которое может быть включено автоматически или вручную для эвакуации дыма, газов и других опасных веществ из здания. Аварийная вентиляция также может обеспечивать подачу свежего воздуха в защищенные участки, помогая людям в безопасной эвакуации.

Включается в тех случаях, когда выброс вредных веществ превышает предельно-допустимые концентрации.

*Противодымная вентиляция* – это система вентиляции, специально разработанная для борьбы с задымлением в зданиях в случае пожара. Её цель – создание условий, способствующих эвакуации людей и снижению уровня дыма в здании, что повышает эффективность пожаротушения и спасения жизней.

Противодымная вентиляция обычно включает автоматическое открытие специальных клапанов, вентиляционных решеток и окон для вывода дыма, а также подачу свежего воздуха в защищенные зоны. Такая система обеспечивает более безопасные условия для эвакуации и работы спасателей в здании при пожаре.

Включается в первые минуты пожара, чтобы обеспечить эвакуацию людей, затем она выключается во избежание подачи кислорода воздуха в область возникновения пожара и упреждения его дальнейшего распространения.

## **Практическое задание**

### ***Расчет систем естественной вентиляции***

Расчет сводится к определению площади сечения вентиляционных каналов, которые обеспечивают потери давления, меньше. Чем располагаемое естественное давление.

$$\Delta P_{\text{потери}} < \Delta P_e$$

$$\Delta P_{\text{потери}} = RL + Z$$

где  $RL$  – потери по длине

$L$  – длина участка

$R$  – удельные потери

$Z$  – местные потери

$$Z = \sum \xi \frac{\rho V^2}{2}$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления;

$V$  – скорость;

$\rho$  – плотность;

Расчетные сечения воздуховодов определяют по формуле:

$$A = \frac{L}{3600 \cdot V}$$

$L$  – расчетный расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )

Скорость определяют по формуле:

$$V = \frac{L}{3600 \cdot A}$$

Расчет обычно ведут по специальным таблицам или по монограммам – для крупных стальных воздуховодов. Если воздуховод прямоугольного сечения, то определяют эквивалентный диаметр:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2ab}{a + b}$$

Различные материалы воздуховодов учитывают с помощью шероховатости  $\beta$  по справочной литературе.

На верхнем этаже выбирают расчетный путь, т.е. самый протяженный, который разбивают на расчетные участки. Критерием участка служит постоянный расход воздуха. Для каждого участка определяют потери давления, стимулируют их на всех участках и сравнивают с предполагаемым расчетным давлением.

Рассмотрим пример: рассчитать систему естественной вытяжной вентиляции санузлов 2-х этажного жилого дома. Вертикальные воздуховоды проложены в кирпичной стене. Горизонтальный воздуховод на чердаке и вытяжная шахта представляют собой выполненные прямоугольные сечения и шлакогипсовых плит. Воздухообмен санузла составляет  $25 \text{ м}^3/\text{час}$

$$\rho_{\text{в}} = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{н}} = 1,27 \text{ кг/м}^3$$

Размеры сечений и длины каналов приведены на аксонометрической схеме системы вентиляций (см. Рис 4.3).

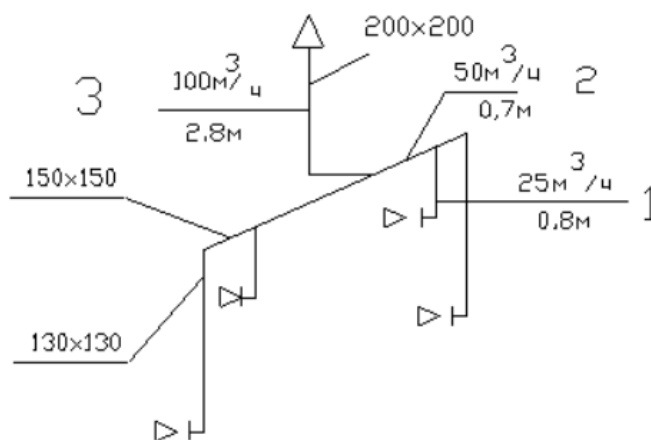


Рисунок 4.3 – Расчетная аксонометрическая схема системы вытяжной вентиляции 2-х этажного жилого дома

1. Определим естественное располагаемое давление.

$$\Delta\rho_e = 9,81 \cdot 3 \cdot (1,27 - 1,21) = 1,77 \text{ Па}$$

2. Рассмотрим первый участок

2.1. определим эквивалентный диаметр

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot 0,13}{0,13 + 0,13} = 0,13 \text{ м}$$

2.2. Определим скорость на этом участке.

$$V = \frac{L}{3600 \cdot 0,13^2} = 0,41 \text{ м/с}$$

2.3. По номограмме по найденным  $d_{\text{экв}}$  и  $V$  определим удельные потери:

$$R = 0,036$$

2.4. Найдем потери на трение.

$$RL\beta_{\text{кпр}} = 0,036 \cdot 0,8 \cdot 1,3 = 0,037 \text{ Па}$$

2.5. Местное сопротивление:

- а) Вход в жалюзийную решетку ( $\xi = 1,3$ )
- б) Отвод под углом =  $90^\circ$  (колесо) –  $\xi = 1,2$
- в) Тройник на повороте  $\xi = 1,2$

$$\sum \xi = 3,7$$

Находим местные потери:

$$Z = 3,7 \cdot \frac{0,41^2 \cdot 1,21}{2} = 0,376 \text{ Па}$$

$$\Delta p_1 = 0,376 + 0,037 = 0,413 \text{ Па}$$

3. Рассмотрим второй участок

3.1. Определяем эквивалентный диаметр

$$D_{\text{экв}} = 0,15 \text{ мм}$$

3.2.

$$V = \frac{50}{3600 \cdot 0,15 \cdot 0,15} = 0,62 \text{ м/с}$$

3.3.  $R = 0,06 \text{ Па/м}$

3.4.  $RL\beta_{\text{ш.г.}} = 0,06 \times 0,7 \times 1,15 = 0,048 \text{ Па}$

3.5.

$$Z = 1,2 \cdot \frac{1,21 \cdot 0,62^2}{2} = 0,279 \text{ Па}$$

$$\Delta p_2 = 0,279 + 0,048 = 0,326$$



4. Рассмотрим третий участок:

$$d_{\text{эКВ}} = 0,2 \text{ м}$$

$$v = \frac{100}{3600 \cdot 0,04} = 0,69 \text{ м/с}$$

$$R = 0,048 \text{ Па/м}$$

$$RL\beta_{\text{ш.г}} = 0,048 \cdot 2,8 \cdot 1,15 = 0,155$$

Выход из шахты с зонтиком  $\xi = 1,15$

$$Z = 2,35 \cdot \frac{1,21 \cdot 0,69^2}{2} = 0,677$$

$$\Delta p_3 = 0,677 + 0,155 = 0,832$$

$$0,832 + 0,413 = 1,572$$

Так как естественное давление больше чем потери суммы потерь давления в каналах воздухопроводов  $1,572 < 1,77$ , при расчетной температуре воздуха, расчет можно считать законченным и принять то, что система работоспособна и высоты шахты достаточно.

В противном случае, когда естественное давление меньше рассчитанных потерь, следует внести поправки в проект и принять большую высоту шахты.

### Контрольные вопросы

1. Что такое система вентиляции? Их состав.
2. Классификация систем вентиляции.
3. Что такое воздухообмен. Общие сведения о способах организации воздухообмена и устройстве систем вентиляции.
4. Что представляет собой неорганизованная система вентиляции.
5. Естественное давление в системе вентиляции.

6. Схема и устройство естественной вентиляции в здании.
7. Допустимая скорость движения воздуха в каналах.
8. Схема и устройство принудительной системы вентиляции.
9. Что представляет собой местная вентиляция.
10. Что такое местные отсосы и воздушное душирование.
11. Что такое предельно-допустимая концентрация воздуха.
12. Назначение и конструктивные элементы приточных и вытяжных систем вентиляции.
13. Назначение аварийной, противодымной вентиляции.
14. Аэродинамический расчет системы вентиляции. Последовательность.
15. Местные потери в воздуховодах. Формула.
16. Потери по длине. Формула.
17. Какие мероприятия осуществляются для борьбы с шумом и вибрациями в системах механической вентиляции?

## Тема 5. СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

*Природные газы* – это газообразные углеводородные соединения, которые образуются в результате длительного геологического процесса разложения органического материала под землей. Они включают в себя газы, такие как метан, этилен, пропан, бутан и другие.

Природные газы являются важным источником энергии и используются в различных отраслях, включая отопление, электроэнергетику, промышленность и транспорт. Они также считаются более экологически чистым источником энергии по сравнению с традиционными ископаемыми видами топлива, такими как уголь и нефть.

В газовой промышленности обычно принято считать природным газом метан.

Состав природных газов определяется *горючими газами, балластными газами и примесями*.

Суммарное содержание горючих газов в составе принято считать содержанием *тяжелых углеводородов*:

- метан (химическая формула  $\text{CH}_4$ );
- предельные углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ );
- непредельные углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ).

Водород не имеет ни цвета, ни запаха и является горючим газом. Ввиду того, что смеси водорода с воздухом или кислородом довольно взрывоопасны, при работе с ним необходимо соблюдать правила пожарной безопасности и специальные правила техники безопасности. В зависимости от способа получения технический водород выпускается четырех марок: А, Б, В и Г. Наиболее чистым является технический водород марки А, который получен электролизом воды.

*Балластные газы* составляют:

– азот ( $\text{N}_2$ ) – инертный газ, без цвета, запаха и вкуса, составляющий в объемной доле воздуха 79%. До температур 1400 °С азот не реагирует с воздухом, а при более высоких температурах образует оксиды азота, которые оказывают более вредное воздействие на человека, чем оксид углерода. Предельно допустимая норма оксидов азота в атмосферном воздухе 0,085 мг/м<sup>3</sup>;

– углекислый газ или диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) – Углекислый газ (двуокись углерода) не имеет цвета, не ядовит, в разы тяжелее воздуха. При давлении 760 мм рт. ст. и температуре 0 °С плотность углекислого

газа равна 1,976 кг/м<sup>3</sup>, что в 1,5 раза больше плотности воздуха. Углекислый газ совершенно не растворяется в воде. Жидкая углекислота – жидкость, не имеющая цвета, ее плотность сильно изменяется с изменением температуры. Вследствие этого она доставляется по массе, а не по объему. При испарении 1 кг жидкой углекислоты в нормальных условиях образуется 509 литров углекислого газа. В промышленном масштабе углекислоту получают в специальных установках, извлекая ее из дымовых газов, которые образуются при сжигании топлива, из газов брожения в спиртовой промышленности и газов, которые получают при обжиге известняка;

– кислород (O<sub>2</sub>) – входит в состав атмосферного воздуха в виде второй составляющей в количестве 21%. Во всех процессах горения кислород играет роль окислителя. Содержание кислорода в природном газе не допускается более 1%, исходя из соображений взрывобезопасности и защиты газового оборудования от коррозии. Получают из атмосферного воздуха путем глубокого охлаждения, а также в результате электролиза воды. Кислород газообразный технический и медицинский поставляют по ГОСТ 5583-78 «Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия». В зависимости от количества содержания кислорода и примесей технический газообразный кислород изготавливают трех сортов. Процентное содержание кислорода в первом сорте должно быть не менее 99,7 об. %, во втором – не менее 99,5 об. % и в третьем – не менее 99,2 об. %. Содержание паров воды в техническом кислороде всех трех сортов не должно допускать превышения 0,005 г/м<sup>3</sup>, что соответствует точке росы минус 63 °С.

*Примеси*, природного газа в основном составляют *пары воды, сероводород (H<sub>2</sub>S) и пыль.*

Концентрация газообразной воды в природных газах для потребителей, не должна превышать 500-1000 г на 100 м<sup>3</sup> природного газа.

Сероводород – бесцветный коррозионно-агрессивный газ, имеющий запах испорченных яиц, является ядом и оказывает раздражающее действие на дыхательные пути и глаза. Его предельно допустимая концентрация в воздухе помещений равна 0,1 мг/л. Содержание в природном газе после очистки на газовых промыслах не должно превышать 2 г на 100 м<sup>3</sup> природного газа.

Содержание пыли не должно превышать 0,1 г на 100 м<sup>3</sup> природного газа.

### 5.1. Свойства горючих газов

*Метан* – нетоксичный горючий газ без цвета, запаха и вкуса, однако при высокой концентрации в следствие недостатка кислорода вызывает удушье. Низшая теплота сгорания  $Q = 35840$ , кДж/м<sup>3</sup>, плотность  $\rho = 0,717$  кг/м<sup>3</sup>, молярная масса  $\mu = 16,04$  г/моль.

*Тяжелые углеводородные газы* – этан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), бутан (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) имеют аналогичные свойства метана, однако имеют большую теплотворную способность, зависящую от молекулярной массы. Чем больше молекулярная масса, тем выше плотность тяжелых углеводородов и тем больше теплотворная способность. Для сжигания тяжелых углеводородов требуется больший объем воздуха для полного сжигания.

*Непредельным* тяжелые углеводородные газы – этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), бутилен (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>).

### 5.2. Сжиженные газы

На газобензиновых и нефтеперерабатывающих заводах получают так называемую смесь сжиженных газов из пропана (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) и бутана (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). Такая смесь широко используют для газоснабжения сельской местности использования и не газифицированных районах. Предусматривается хранение сжиженного газа в баллонах (рис.5.1) и емкостях.

Для мелких потребителей (дачи или домов) часто используются баллоны вместимостью до 50 л, для крупных (более трех этажей, столовых и так далее) – 2,2 и 4 м<sup>3</sup>, предусматриваемые для накачки в газгольдеры под землей и обеспечивающие нормальное потребление газа в течении 7-10 дней.

Сжиженный газ в баллонах и газгольдерах имеет две фазы – паровую (в верхней части) и жидкую (в нижней), испаряющуюся по мере использования газа.

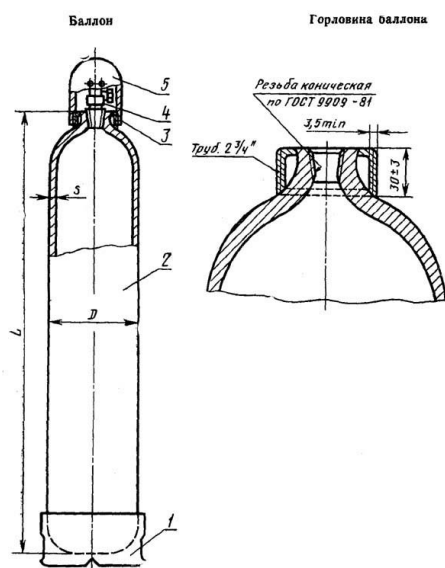


Рисунок 5.1 – Конструкция баллона для хранения газа: 1 – опорный башмак; 2 – корпус баллона; 3 – кольцо горловины; 4 – вентиль; 5 – предохранительный колпак

### 5.3. Воспламенение газов

Пределы воспламеняемости горючих газов определяют диапазон концентрации газа в смеси с воздухом, при котором возможно горение. Этот диапазон состоит из нижнего предела воспламеняемости и верхнего предела воспламеняемости.

Нижний предел воспламеняемости указывает на минимальную концентрацию газа в смеси с воздухом, при которой образуется горючая смесь, способная поддерживать горение. Если концентрация газа ниже данного предела, газа не хватает для поддержания горения и смесь считается «слишком разбавленной» или «бедной».

Верхний предел воспламеняемости указывает на максимальную концентрацию газа в смеси с воздухом, при которой образуется горючая смесь. Если концентрация газа превышает UFL, смесь считается «слишком насыщенной» или «богатой», и горение также не будет поддерживаться в следствии недостатка кислорода.

Между верхним и нижним пределами находится диапазон, называемый горючим диапазоном, в котором газ может гореть при наличии источника воспламенения.

Пределы воспламеняемости горючих газов различаются в зависимости от их химического состава. Эти пределы являются важными параметрами для безопасности при работе с горючими газами, так как

они помогают определить опасность возможного горения или взрыва в определенных условиях.

В табл. 5.1 показаны пределы воспламеняемости отдельных горючих газов.

Таблица 5.1 – Пределы воспламеняемости отдельных горючих газов

Газы	Пределы воспламеняемости, в %	
	нижний	верхний
Метан (СН <sub>4</sub> )	5	15
Этан (С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> )	3	12
Пропан (С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> )	2,5	9,5
Бутан (С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> )	1,9	8,5

Взрыв газа осуществляется во время заранее установившегося содержания газовой среды в объеме между представленными пределами при наличии источника воспламенения, которым может быть замыкание тока в переключателе, зажигание спички, искра и тому подобное. Причинами взрыва также могут быть:

- нарушение правил розжига переведенных на газ котлов;
- не герметичность задвижек газовой аппаратуры;
- вышедшей из строя защитной автоматики.

При взрыве масса газовой среды мгновенно превращается в продукты сгорания. Последние, восприняв теплоту реакции взрыва, мгновенно расширяются и оказывают динамическое давление на стенки топки и газоходов. Максимальное давление, возникающее при взрыве смеси природного газа с воздухом, находится в пределах 0,44-0,75 МПа.

## 5.4. Газораспределительные сети в городах и газораспределительные пункты

После добычи газа, его переработки и очистки он транспортируется по газовым магистралям с помощью использования компрессорных станций до газораспределительной станции (ГРС) подается в город (Рисунок 5.2). От ГРС газ проходит несколько ступеней редуцирования и доставляется до потребителя.

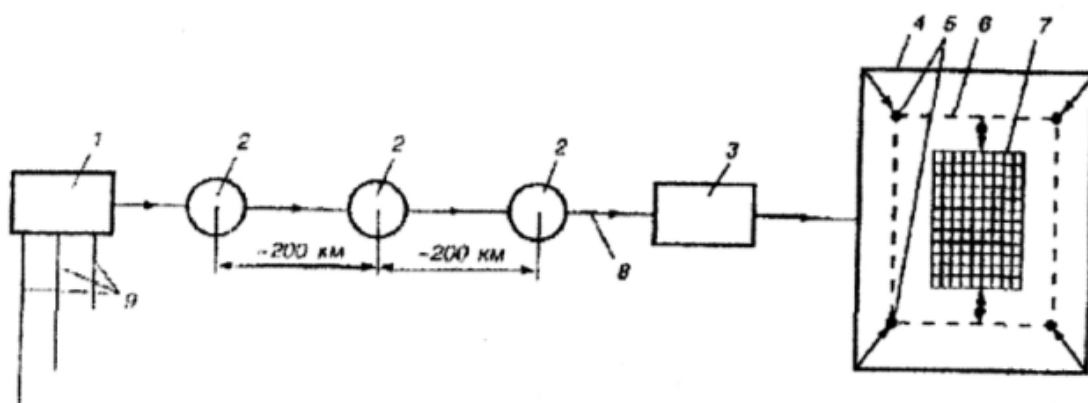


Рисунок 5.2 – Система газоснабжения города природным газом  
1 – газовый промысел, включающий очистку газа; 2 – компрессорные станции; 3 – газораспределительная станция (ГРС); 4 – газопровод высокого давления (ГВД); 5 – газовые регуляторные пункты (ГРП); 6 – газопровод среднего давления (ГСД); 7 – сеть газопроводов низкого давления (ГНД); 8 – магистральный газопровод; 9 – газовые скважины на газовом промысле

В городах распределительные газопроводы в зависимости от давления классифицируются на:

- газопроводы низкого давления,  $p$  до 5000 Па (500 мм вод. ст.);
- газопроводы среднего давления,  $5000 \text{ Па} < p < 0,3 \text{ МПа}$ ;
- газопроводы высокого давления  $0,3 < p < 0,6 \text{ МПа}$  – I ст.,  $0,6 < p < 1,2 \text{ МПа}$  – II ст.

Диаметр магистральных газопроводов составляет, как правило, 1,5 м.

Газопроводы низкого давления используются для газоснабжения жилых домов, общественных зданий и мелких коммунально-бытовых предприятий.



Газопроводы среднего и высокого давления (I ступени) присоединяют для газоснабжения средних промышленных предприятий, коммунально-бытовых предприятий.

Газопроводы высокого давления ( $0,6 < p < 1,2$  МПа) питают газом ТЭЦ, ГРЭС, крупные промышленные предприятия.

Схемы газоснабжения городов и рабочих поселков разделяются на одно-, двух и трехступенчатые. Для крупных городов применяются многоступенчатые схемы, одна из которых показана на Рисунке 5.3.

Схемы газоснабжения подбираются в различии от площади, плотности жителей, промышленных предприятий и плана газоснабжения этого района в дальнейшем на перспективу. К примеру, газоснабжение малых населенных пунктов организуется по одноступенчатой схеме газоснабжения на выходе которого газ подается с низким давлением.

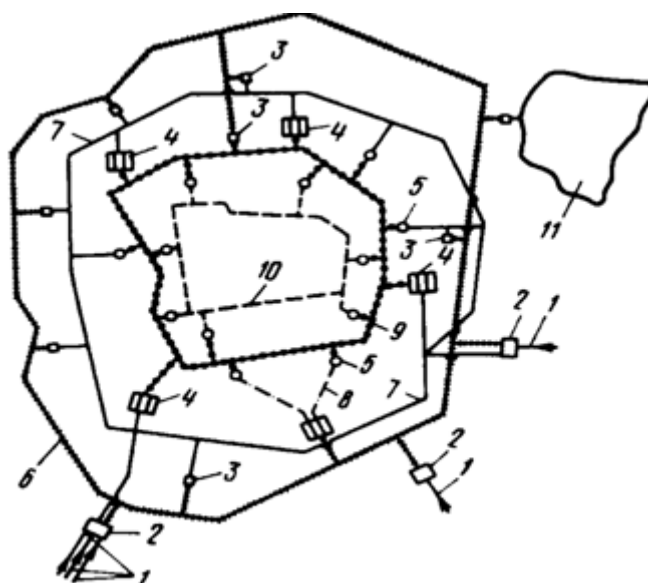


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема газоснабжения крупного города:

1 – магистральные газопроводы; 2 – газораспределительные станции; 3 – контрольно-регуляторные пункты; 4 – газгольдерные станции; 5 – газорегуляторные пункты, 6 – кольцо газопроводов высокого давления, 2 МПа, 7 – кольцо газопроводов высокого давления, 1,2 МПа, 8 — газопроводы высокого давления – 0,6 МПа, 9 – кольцо газопровода среднего давления, 0,3 МПа, 10 – кольцо газопровода среднего давления, 0,1 МПа, 11 – подземное хранилище газа

Двухступенчатые системы – в городах средних размеров и плотности. В крупных городах с населением примерно более 1 млн чел и

зданиями от 5 до 12 этажей с множеством промышленных кластеров применяют многоступенчатые системы.

Из магистрального газопровода газ поступает в газорегуляторную станцию, где давление снижается до 2 МПа (при наличии многоступенчатой схемы) и затем газ поступает в сеть высокого давления, которая в виде кольца окружает город. К этому кольцу через контрольно-регуляторный пункт присоединяется подземное газовое хранилище.

*Газовое хранилище* – это, как правило природный разработанный объем земли, в котором раньше было природное месторождение газа соединяется с сетью высокого давления. Газораспределительная станция относится к системе магистральных газопроводов. Деятельность городов в промышленном секторе начинается с кольца высокого давления 1,2 МПа, которое питается от нескольких контрольно-регуляторных пунктов. Затем через газорегуляторные пункты газ последовательно поступает в газопроводы с более низким давлением и наконец от сети низкого давления поступает в жилые дома, общественные здания и коммунально-бытовые предприятия.

Из-за количества газорегуляторных установок и пунктов, они занимают особое место в системе газоснабжения, принципиальная схема которых показана на Рисунке 5.4.

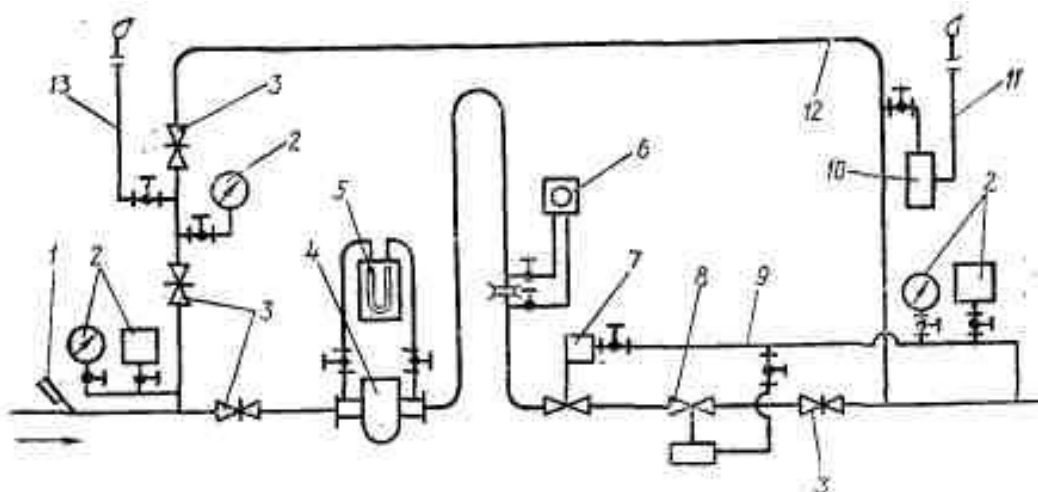


Рисунок 5.4 – Оборудование регуляторного пункта: 1 – термометр; 2 – манометры (показывающий и регулирующий); 3 – запорная арматура; 4 – фильтры; 5 – дифманометры засоренности фильтра; 6 – расходомер; 7 – предохранительная запорное устройство; 8 – регулятор давления; 9 – импульсный трубопровод; 10 – гидравлическое предохранительно-сбросное устройство; 11 – свеча сбросная; 12 – обводной газопровод (байпас); 13 – свеча продувочная.

Все пункты понижения давления устроены по одному принципу: газ среднего или высокого давления поступает в газораспределительные пункты и последовательно проходит по входному газопроводу, узел учета потребляемого газа, задвижку, фильтр, предохранительно-запорный клапан, регулятор давления, задвижку и затем выходит в газовую сеть низкого давления. Предохранительно-запорный клапан и регулятор давления соединены с газопроводом низкого давления импульсными трубками. На выходе в сеть низкого давления устанавливается предохранительно-сбросной клапан.

Оборудование газораспределительного пункта располагается в отдельно стоящем здании, выполненном из кирпича. Освещение здания естественное (через окна), а в ночное время электрическое во взрывоопасном исполнении. Отопление водяное от местных газовых установок (АГВ-80, АГВ-120) и т. д. Указанные источники тепла устанавливаются в изолированном тамбуре.

Температуру в помещении поддерживают не ниже 5 °С. Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать трехкратный обмен воздуха. Приток воздуха происходит через жалюзийную решетку, а вытяжка через дефлектор ЦАГИ и клапаны для регулирования тяги.

## 5.5. Одоризация газа

Метан – это горючий газ без цвета, запаха и вкуса. Чтобы придать ему запах в него добавляют специальные вещества с сильным, резким запахом.

Цель **одоризации** – выявление утечек природного газа для предотвращения появления взрывоопасной среды и отравления природным газом. Запах одорированного природного газа должен ощущаться при концентрации, равной 1/5 нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ) (1% об.).

Одно из таких веществ – это этилмеркаптан. После одоризации утечку газа можно определить по запаху.

Свойства отдельных серосодержащих соединений:

– Метилмеркаптан: высокая реакционная способность, износ газопроводов, резкое снижение концентрации – не используется как одорант.

– Этилмеркаптан: высокая токсичность, реакционноспособность, растворимость в воде – один из первых одорантов.

– Третбутилмеркаптан: стабильность, малотоксичность, устойчивость запаха, недостаток – высокая температура замерзания, используется в смеси с пропилмеркаптанами, ДМС, ТГТ.

– Алкилсульфиды – стабильнее меркаптанов, но менее пахучи, усиливают их запах - одоранты в смеси с меркаптанами.

– Тетрагидротиофен стабильный одорант, но менее пахучий.

Таблица 5.2 – Состав одоранта смеси природных меркаптанов

Компонент	Содержание, % масс.
Этилмеркаптан	30-40
Изопропилмеркаптан	35-40
трет-Бутилмеркаптан	0,5-1,5
н-Пропилмеркаптан	8-12
втор-Бутилмеркаптан	8-16
Изобутилмеркаптан	0,1-2,0
Изоамилмеркаптан	0,1-0,2
Бутилмеркаптан	1 - 2
Высшие меркаптаны	1-3
Углеводороды	2-3

Процесс одоризации должен обеспечивать такое содержание одоранта в газе, чтобы человек с нормальным обонянием мог обнаружить запах при объемной доле газа в воздухе, равной 1%.

Такая норма установлена, например, в России в ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия».

Минимальную концентрацию одоранта ( $c_{\min}$ ) определяют экспериментально по величине ( $K$ ) значения концентрации одоранта в газовой смеси, которая необходима для достижения предупредительной степени запаха, мг/м<sup>3</sup>, в зависимости от НКПВ природного газа данного состава.

Минимальную концентрацию одоранта ( $c_{\min}$ ) в природном газе определяют по формуле:

$$c_{\min} = \frac{100 \cdot K}{0,2 \cdot НКВП}, \quad (5.1)$$

$K$  – значение определяют ольфактометрическим методом, для используемых за рубежом одорантов: 0,08 мг/м<sup>3</sup> для ТГТ, 0,03 мг/м<sup>3</sup> для меркаптанов.

Ольфактометрический метод измерения концентрации запаха в исследуемой пробе основан на предъявлении группе отобранных экспертов различных концентраций запаха, получаемых путем разведения данной пробы чистым воздухом, с целью определения фактора разведения при достижении 50%-го порога ощущения.

Испытания проводят двумя методами: камерный метод – испытания проводят в комнате-камере.

Подают газ с объемной долей в воздухе 1,0 для природного газа время – не более 15 минут; 5 испытателей; 2 оценки с разницей в 1 минуту.

Второй метод с использованием одориметра – 3 пробы газозооной смеси с объемной долей газа, равномерно распределенной в диапазоне 0,1-2,0% об. Пять испытателей в полулогарифмической системе координат строят график зависимости интенсивности запаха газа от его объемной доли в воздухе. По графику определяют интенсивность запаха испытываемого газа в баллах, соответствующую его объемной доле в воздухе в процентах.

### Практическое задание

Разработать схему подключения населенного пункта (Рисунок 5.5) по одноступенчатой схеме газоснабжения низкого давления 5000 Па и подобрать количество необходимых газорегуляторных пунктов при оптимальном радиусе действия  $R = 800$  м. Площадь населенного пункта 119,873 Га.

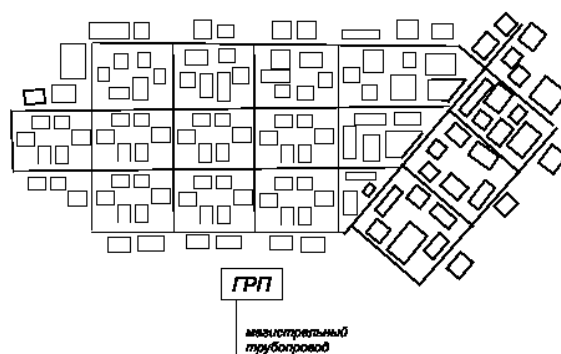


Рисунок 5.5 – Генеральный план населенного пункта

Решение: разработка схемы подключения населенного пункта по одноступенчатой схеме газоснабжения предполагает указание:

1. Магистрального газопровода, который поставляет газ в населенный пункт, подключается к газораспределительному пункту (ГРП).

2. ГРП обычно находится на окраине населенного пункта и выполняет функцию регулирования давления газа и его распределения по домам и зданиям.

3. Из ГРП выходит распределительный газопровод, которые прокладываются по улицам населенного пункта под землей. Эти газопроводы доставляют газ к домам и зданиям.

4. Схему газораспределения домов для бесперебойности обеспечения газом потребителей следует предусмотреть кольцевую, разбитую по кварталам.

Для расчета количества ГРП следует пользоваться формулой по обеспеченности оптимального радиуса действия (5.2):

$$n = \frac{F}{2R^2}, (5.2)$$

где  $n$  – количество ГРП, шт.;

$R$  – радиус действия ГРП  $R = 800-1000$  м (для сети низкого давления);

$F$  – газифицируемая площадь, включая площадь проездов.

Из этой формулы получаем  $n = 0,936$ , что запланированного ГРП на генплане хватает для обеспечения газоснабжения населенного пункта.

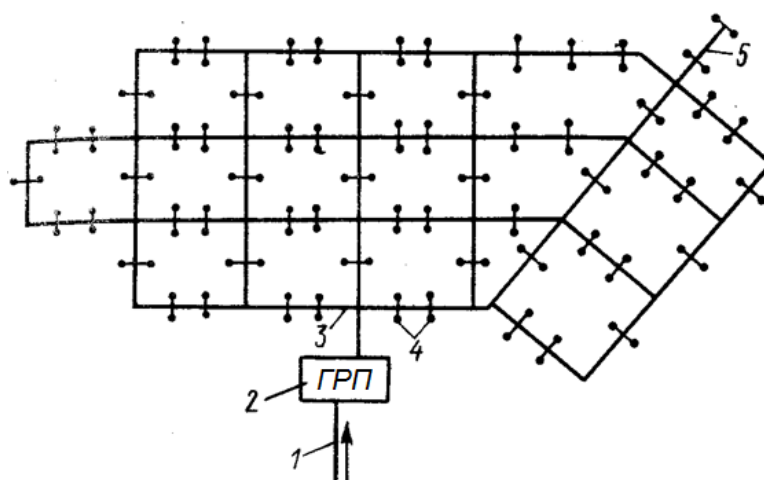


Рисунок 5.6 – План газоснабжения населенного пункта

Подводя от распределительной кольцевой сети вводные газопроводы к каждому зданию получаем схему (Рисунок 5.6).

### Контрольные вопросы

1. Какие газы применяют в системах газоснабжения. Назовите состав природного газа.
2. Что составляют горючие газы.
3. Что составляют балластные газы.
4. Что составляют примеси.
5. Что такое тяжелые углеводородные газы. Химическая формула и их свойства.
6. Что такое непредельные тяжелые углеводороды. Химическая формула и их свойства.
7. Где получают СУГ. Для чего.
8. Объем баллонов для СУГ по потребителям.
9. Особенности хранения СУГ.
10. Опишите конструкцию баллона для сжиженных углеводородных газов. Для чего они используются.
11. Воспламенение газа и пределы взрываемости газозвушной смеси.
12. Опишите причины взрыва горючих газов и возникающее при этом давление.
13. Схема газоснабжения города.
14. Состав газораспределительного пункта.
15. Одоризация газа.
16. Что понимают под высшей и низшей теплотой сгорания топлива?
17. Какие условия необходимы для эффективного горения топлива?
18. Значение теплогазоснабжения в развитии городской инфраструктуры.
19. Как подразделяются газопроводы в зависимости от давления транспортируемого газа?
20. Охарактеризуйте типы прокладок газопроводов.

## Тема 6. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Водоснабжение и водоотведение* – это две родственные отрасли техники, связанные между собой и являющиеся необходимым элементом жизнеобеспечения населенных мест и промышленных предприятий, которые определяют не только уровень благоустройства, но и масштабы развития многих отраслей народного хозяйства.

Рост числа промышленных предприятий и развитие городов и поселков приводят к увеличению объемов водопотребления и количества сбрасываемых вод. Это вызывает интенсивное строительство инженерных сооружений подачи воды и отведения сточных вод.

Создание более совершенных систем водоснабжения и водоотведения направлено на рациональное использование водных ресурсов, индустриализацию и снижение стоимости строительства, экономию металла и электроэнергии.

Эффективное и правильное использование водных ресурсов тесно связано с их охранной зоной, что всегда оставалось главной задачей любого государства для водоснабжения потребителей. Охранная зона подразумевает охрану чистых водоемов для водозабора и ограничение вырубки леса в пределах этих территорий. Все водные ресурсы жестко контролируются водным законодательством и ГОСТ, соблюдение которых требуется для любых предприятий в данной сфере.

Данные документы регулируют использование воды для всех категорий потребителей и для них существуют особые и определенные требования, как по составу, так и по назначению.

Водоотведение также регулируется определенными нормативными правилами, например, «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», в которых четко прописаны ПДК вредных веществ, которое может влиять на качество воды в водоемах.

Согласно статистике, в день на планете потребление воды составляет 7 млрд тонн, основными потребителями которой являются промышленные и сельскохозяйственные предприятия. К примеру, для выплавки одной тонны чугуна необходимо 200 т воды; для очистки 1 т нефти – 18 т воды. Именно поэтому жесткие правила относятся в первую очередь для промышленного производства.



Необходимо также предусматривать повторное использование воды на предприятиях и разработку бессточных или очистных сооружений для канализации для предотвращения попадания вредных веществ в водные ресурсы.

Особое место занимают исследования по опреснению воды, так как по результатам расчетов в мире образуется «водное голодание» и пресной воды становится все меньше.

*Системы водоснабжения* – комплекс сооружений, предназначенных для забора воды из источников водоснабжения, ее очистки, хранения и подачи потребителям в необходимых количествах, требуемого качества и под требуемым напором.

Классификация применяемых на практике систем водоснабжения представлена на рис. 6.1.



Рисунок 6.1 – Классификация систем водоснабжения

Районным называют водоснабжение отдельной местности, обычно с малым запасом водных ресурсов, для обеспечения предприятий или иных объектов.

Системы водоснабжения могут быть объединенными (едиными), неполно раздельными и раздельными.

*Объединенные системы* предполагают одновременное транспортирование воды для различных нужд потребителей (хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные). Обычно по таким водопроводам транспортируется вода, требования к которой относят к хозяйственно-питьевой.

При *неполно-раздельной системе* водоснабжения требования к качеству воды разделяется на хозяйственно-питьевые и производственные нужды, исходя из технико-экономического обоснования.

Водопровод противопожарного назначения и хозяйственно-питьевой или производственный объединяют в зависимости количества воды, распределяемой на соответственные нужды. Как правило, противопожарный водопровод объединяют с хозяйственно-питьевым, имеющим большую разветвленность.

*Раздельная система* водоснабжения предусматривается в особых случаях на основе технико-экономического обоснования вариантов, определяемую подачу воды по разным водопроводам для хозяйственно-питьевых, противопожарных и производственных нужд, когда по технологическим соображениям хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные водопроводы объединять нельзя.

Рельефа местности и, как следствие, требуемые свободные напоры системы водоснабжения определяют зонность.

*Однозонной* система предполагает водоснабжение одной местности. При высоком перепаде высот местности для поддержания требуемого напора на возвышенности создает повышенное давление в низине. В таких случаях сеть разбивают *на зоны*, в каждой из которых поддерживается требуемый напор с помощью насосов и напорных резервуаров.

Принципиальная схема водоснабжения определяется источника водоснабжения, требования воды, рельефом местности, режимом водопотребления.

Система водоснабжения включает в себя следующие элементы (рис. 6.2).

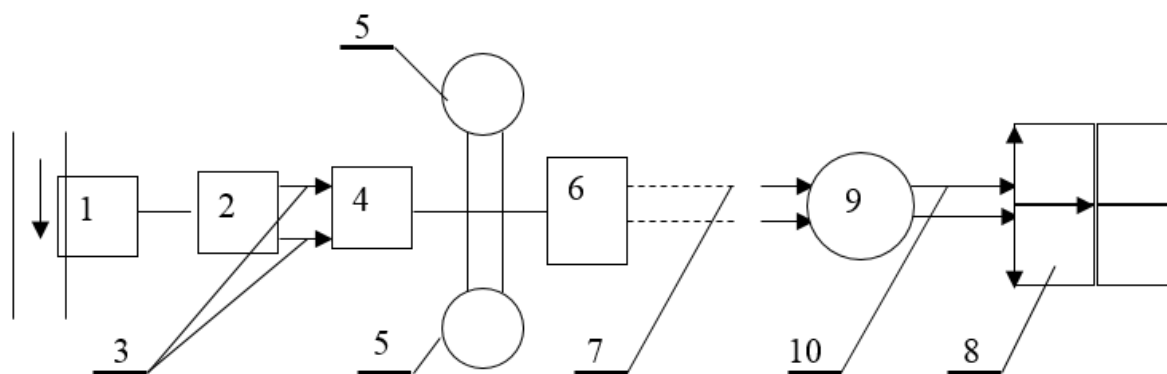


Рисунок 6.2 – Сети и сооружения системы водоснабжения: 1 – водозаборные сооружения, с помощью которых осуществляют захват воды из природных источников; 2 – насосная станция первого подъема, подающая воду к местам ее очистки; 3 – водоводы первого подъема; 4 – очистные сооружения по очистке воды; 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – водоводы второго подъема; 8 – наружная водопроводная сеть города; 9 – водонапорная башня; 10 – водоводы, соединяющие водонапорную башню с сетью города

Водоснабжение промышленных предприятий может быть осуществлено по прямоточной, последовательной и оборотной схемам.

Данный выбор схемы водоснабжения основан на общем расходе воды, наличии источников водоснабжения и их запасе, его удалении от промышленного предприятия, разности высот геодезических отметок, охранной зоной от загрязнения.

*Прямоточная схема* водоснабжения (рис. 6.3, а) предполагается следующим образом: вода забирается из источника, очищается, проходит производственные технологические процессы, поступает в очистные сооружения и отводится в водоем ниже по течению относительно водозабора. Устраивается при малом расстоянии от источника, небольших перепадах высот и невозможности повторного использования воды из требований чистоты для технологических процессов.

При большой удаленности и разности высот, малом мощности источника водозабора и потребителя выбирается *оборотная схема* (рис. 6.3, б). При этом чистота и качество воды снижается по причине забора из источника всего 3-5% от общего количества используемой воды. Данная схема применяется для охлаждения производственных процессов и предусматривает очистные сооружения.

*Последовательная* схема предусматривается при малом расстоянии от источника и допустимости использования сбрасываемой отработанной воды как оборотной, как с очисткой, так и без нее исходя из технологии процесса.

Та или иная схема водоснабжения выбирается на основе технико-экономического сравнения вариантов и соблюдения условий охраны водоемов от загрязнений.

Для производства предпочтительна бессточная схема водоснабжения, когда сбрасываемая вода после технологических процессов используется повторно и предполагает меньший забор из водоемов и исключает возможность загрязнения водных ресурсов вредными веществами.

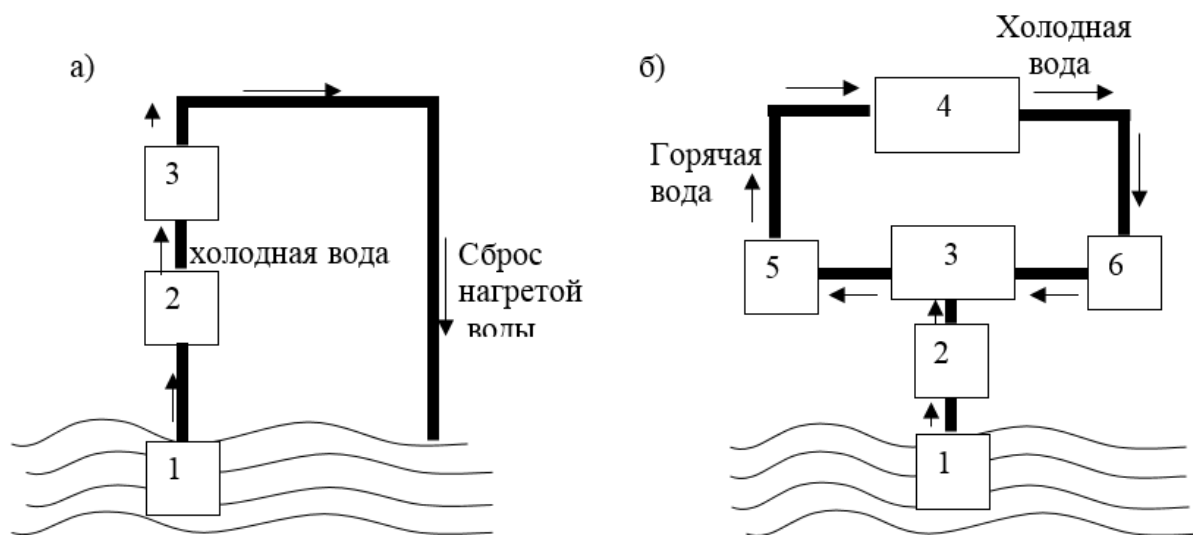


Рисунок 6.3 – Схемы производственного водоснабжения:  
 а – прямоточная; б – оборотная; 1 – водозаборное сооружение;  
 2 – станция очистки и перекачки воды; 3 – промышленное предприятие; 4 – охладитель; 5 – насосная станция горячей воды; 6 – насосная станция охлажденной воды

## 6.1. Нормы водопотребления

Принципиальные схемы водоснабжения определяют лишь состав сооружений и взаимное их расположение.

Количество воды в системе водоснабжения и режим работы предприятия или вероятность использования воды определяет параметры системы, а именно диаметр труб водопровода и, как следствие эконо-

мические затраты. Нормы потребления воды потребителями, основанные на статистических исследованиях, указаны в соответствующих нормативных документах.

*Норма водопотребления* – общий расход воды на нужды населения, пропорциональный числу жителей в населенном пункте, а также расходу воды на хозяйственно-питьевые нужды, приходящемуся на одного жителя.

Норма водопотребления зависит от характера санитарно-технического оборудования зданий и местных климатических условий. Она учитывает расход воды на хозяйственно-питьевые и бытовые нужды в жилых и общественных зданиях, за исключением расхода воды в домах отдыха, санаториях и детских оздоровительных лагерях.

Нормы водопотребления представлены в СП 30.13330.2020. Следует различать нормы хозяйственно-питьевого водопотребления в населенных пунктах и на промышленных предприятиях, а также нормы потребления воды на нужды пожаротушения. Потребление воды на производственные нужды зависит от характера и объема производства, а также технологии производства.

На хозяйственно-питьевые и бытовые нужды населения средние суточные расходы воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут, равны (6.1):

$$Q = q_{\text{ср}} N, \quad (6.1)$$

где  $q_{\text{ср}}$  – средний за год расчетный расход воды на одного жителя, принимаемый в соответствии с действующими СП;

$N$  – расчетное число жителей.

Расчетные объемы водопотребления промышленных объектов определяются на основании технологических расчетов.

Потребление воды различается как по периоду года, дням недели, так и по суткам. Например, в теплый период года используется больше воды, так и потребление воды в выходные дни, с утра, днем и вечером используется больше.

Суточная неравномерность потребления воды характеризуется коэффициентами суточной неравномерности  $K_{\text{макс}}^{\text{сут}}$  и  $K_{\text{мин}}^{\text{сут}}$ . Максимальный коэффициент суточной неравномерности представляет собой

отношение суточного расхода в дни наибольшего водопотребления к среднему суточному расходу за год ( $Q$ ) (6.2):

$$K_{\text{макс}}^{\text{сут}} = Q_{\text{макс}}^{\text{сут}} / Q, \quad (6.2)$$

Минимальный коэффициент суточной неравномерности – отношение суточного расхода в дни наименьшего водопотребления к среднему суточному расходу за год ( $Q$ ) (6.3):

$$K_{\text{мин}}^{\text{сут}} = Q_{\text{мин}}^{\text{сут}} / Q, \quad (6.3)$$

Данные значения, полученные в результате исследования неравномерности водопотребления в действующих водопроводах, учитывают сложившийся уклад жизни, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий и принимаются равными:  $K_{\text{макс}}^{\text{сут}} = 1,1-1,3$ ;  $K_{\text{мин}}^{\text{сут}} = 0,7-0,9$ . Они.

Расчет системы водоснабжения производится по максимальному суточному расходу  $Q_{\text{макс}}^{\text{сут}}$ .

Режим водопотребления в течение суток определяется по результатам исследований. Они могут быть представлены в табличной, интегральной, аналитической или графической форме.

Часовая неравномерность потребления воды характеризуется максимальным и минимальным коэффициентами часовой неравномерности  $K_{\text{макс}}^{\text{час}}$  и  $K_{\text{мин}}^{\text{час}}$ , равными:  $K_{\text{макс}}^{\text{час}} = Q_{\text{макс}}^{\text{час}} / Q_{\text{ср}}^{\text{час}}$ ;  $K_{\text{мин}}^{\text{час}} = Q_{\text{мин}}^{\text{час}} / Q_{\text{ср}}^{\text{час}}$ .

По данным опыта работы эксплуатируемых городских водопроводов, в СП даны рекомендации для приближенного определения этих величин по формулам (6.4 и 6.5):

$$K_{\text{макс}}^{\text{час}} = \alpha_{\text{макс}} \cdot \beta_{\text{макс}}, \quad (6.4)$$

$$K_{\text{мин}}^{\text{час}} = \alpha_{\text{мин}} \cdot \beta_{\text{мин}}, \quad (6.5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и др.;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий число жителей в населенном пункте.

Свободный напор – это напор, необходимый для подъема воды на заданную высоту, на которой располагается потребитель относительно определенного уровня  $H_{св}$  (6.6):

$$H_{св} = H_{г} + h_{пот} + H_{ост}, \quad (6.6)$$

где  $H_{г}$  – геометрическая высота подъема воды от поверхности земли до самой высокой водоразборной точки, м;

$h_{пот}$  – потери напора во внутренней сети, водомерном узле и вводе, м;

$H_{ост}$  – остаточный напор у диктующего прибора, м.

Геометрическая высота подъема воды  $H_{г}$ , м, определяется по формуле (6.7):

$$H_{г} = H_{пл} + (n - 1)H_{эт} + H_{пр}, \quad (6.7)$$

где  $H_{пл}$  – превышение отметки пола первого этажа над поверхностью земли (планировочная высота), м;

$n$  – число этажей в здании;

$H_{эт}$  – высота этажа здания, м;

$H_{пр}$  – высота расположения диктующего прибора над полом, м.

## 6.2. Устройство и оборудование водопроводной сети

Водопроводная сеть является неотъемлемым компонентом системы водоснабжения и тесно взаимосвязана с работой водоводов, насосных станций, которые подают воду в сеть, а также с регулирующими емкостями, такими как водонапорные башни и резервуары. Она выполняет не только функцию транспортировки воды, но и активно распределяет ее между потребителями. Стоимость строительства систем водоснабжения городов может достигать до 60% от общей стоимости, и значительная доля этих затрат приходится на наружную водопроводную сеть.

К водопроводной сети предъявляются следующие требования:

– качество и требуемые параметры напора воды для потребителей;

– бесперебойность режима работы и обеспечение санитарных и экологических требований надежности и перспективу подключения;  
– экономические требования по материалоемкости, обеспечения экономически выгодного диаметра и подбор соответствующего оборудования.

Наружная водопроводная сеть состоит из:

– *системы магистральных линий* – наиболее нагруженная и удаленная сеть;

– *распределительной сети* – ответвлений водопровода к потребителям на различные нужды.

Схемы водоснабжения предполагают два вида сети – *разветвленные (тупиковые)* (рис. 6.4, а) и *кольцевые (замкнутые)* (рис. 6.4, б).

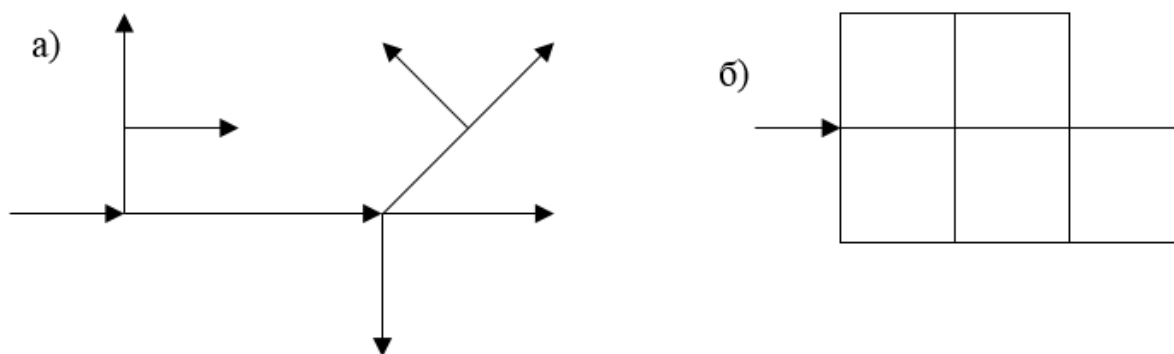


Рисунок 6.4 – Виды водопроводных сетей: а) тупиковые сети; б) кольцевые сети

*Тупиковые сети* появились как развитие простых, сложных и разветвленных трубопроводов. В настоящее время применяются во всех сетях, но каждая сеть имеет особенности расчета.

Они имеют минимальный расход труб, т.к. трассировка производится по кратчайшим расстояниям, направление расходов однозначное, что упрощает методику расчета. Тупиковая сеть характеризуется ступенчатым изменением диаметров и ограничением пропускной способности.

Тупиковые сети:

– гидравлически не совершенны (значительные потери напора ввиду частой смены диаметров труб);  
– ограниченность применения;  
– небольшая протяженность;  
– небольшая строительная стоимость.



Большинство инженерных сетей соединено кольцевыми трубопроводами для повышения надежности, оптимальности распределения, снижения тяжести аварийных ситуаций. Но кольцевые сети предполагают многовариантность направления расходов и неравномерность гидравлического сопротивления колец, ветвей и укажем причину из-за дискретности стандартного ряда диаметров труб.

Кольцевые сети являются наиболее совершенными, значительно повышающие надежность работы, так как жидкость или газ могут быть доставлены в любую точку при повреждении участков сети.

Особенности кольцевой сети:

- направление потоков неоднозначное;
- изменение диаметров влияет на изменение расходов и напоров на последующих участках (в тупиковых имеются только напоры);
- возрастает материалоемкость сети;
- гидравлические режимы не всегда считаются точно, что влияет на надежность работы.

*Трассировка* – разработка прокладки и расположения магистралей и ответвлений производится таким образом, чтобы водопровод до потребителей проходил кратчайшим путем. Трассировку трубопроводов начинают после геодезических изысканий и расположения напорно-регулирующих баков или емкостей.

Также стоит отметить, что магистрали, по возможности, прокладывают по наиболее возвышенным точкам рельефа для минимального давления в трубах. Прокладка предусматривается параллельно в два ряда на расстоянии, как правило 400-800 м друг от друга, соединенные между собой перемычками, расположенными через 600-1200 м, для бесперебойной работы в случае аварий.

### ***6.2.1. Материал водопроводных труб и типы их соединений***

В настоящее время существует широкий выбор материала из которого выполняются трубы. Она зависит от:

- *района прокладки* (сейсмичность района, санитарные условия, агрессивность грунтов и воды, климатические условия и т.д.);
- *срока эксплуатации труб*;

– *статические расчеты* (внутреннего гидростатического давления в трубах, массы грунта и временных нагрузок, возможности образования вакуума в трубах);

– *монтажных* требований (простоты);

– *экономических* требований.

На рис. 6.5. представлены материалы водопроводных труб и тип их соединений, наиболее широко используемых для наружных водопроводных сетей.

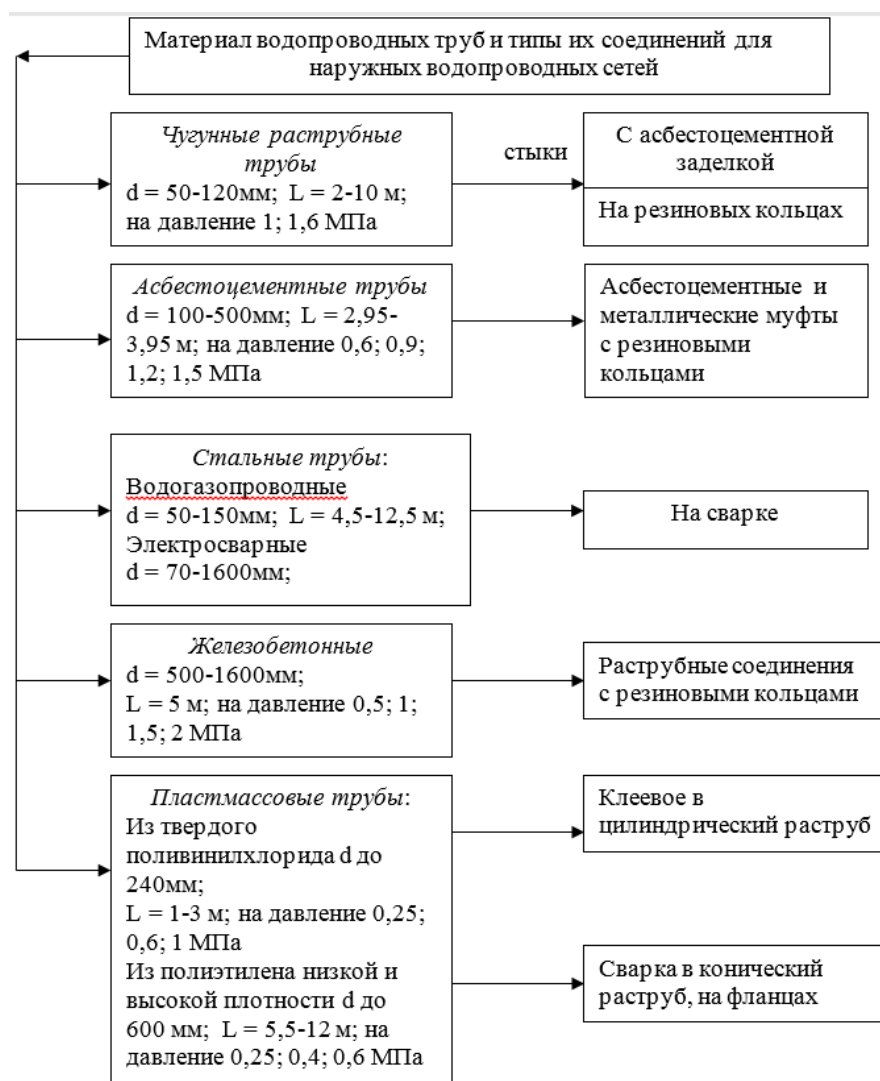


Рисунок 6.5 – Материал водопроводных труб и типы их соединений для наружных водопроводных сетей

*Чугунные раструбные трубы* (ГОСТ 9583-75\*) с противокоррозионным покрытием долговечны, но плохо сопротивляются динамическим нагрузкам и требуют большого расхода металла.

*Асбестоцементные трубы* (ГОСТ 539-80\*) прочны, стойки к коррозии, малотеплопроводны, имеют малую массу, но плохо сопротивляются ударам, динамическим нагрузкам и не экологичны.

*Железобетонные напорные трубы* (ГОСТ 12586.01-83\* и ГОСТ 12586.1-83\*) широко применяются для прокладки магистральных водопроводов. Обладают коррозионной устойчивостью, являются диэлектриками, имеют гладкую поверхность, что обеспечивает постоянство их пропускной способности, небольшая металлоемкость и большая долговечность. Недостатком является их большая масса.

*Стальные трубы* обладают высокой прочностью, относительно небольшой массой, пластичностью, индустриальностью монтажа. К недостаткам следует отнести подверженность коррозии и зарастанию, меньший срок службы по сравнению с чугунными и неметаллическими трубами, увеличение гидравлического сопротивления в процессе эксплуатации при отсутствии необходимых мер по защите от коррозии.

*Полиэтиленовые трубы* (ГОСТ 18599 -83\*) стойки против коррозии, обладают небольшой массой, достаточно механически прочны, долговечны, но имеют большой коэффициент линейного расширения.

### **6.2.2. Арматура на наружных водопроводных сетях**

Предусматриваются следующие типы арматуры на наружных водопроводных сетях в целях обеспечения их правильной и надежной эксплуатации:

- *запорно-регулирующая* (вентили диаметром труб до 50 мм; задвижки диаметром труб от 50 мм и выше);
- *предохранительная* (предохранительные и обратные клапаны, редукционные клапаны, воздушные вантузы – для выпуска воздуха и для впуска воздуха);
- *водоразборная* (водоразборные колонки, спускные краны, пожарные гидранты);
- *компенсаторы*.

Устройство *задвижки* предполагает постепенное изменение степени их открытия для изменения расхода воды в линиях, а также снижения возможности возникновения гидравлического удара, или полного перекрытия потока для ремонта в случае аварии.

*Водоразборные колонки* предусматривают для водоснабжения потребителей, не имеющих централизованное водоснабжение.

Для целей тушения пожаров предусматривают *пожарные гидранты*, присоединенные к наружной сети водопровода, устроенные, как правило под землей в колодце высотой от 500 до 2500 мм и на расстоянии 100-200 м друг от друга, 5 м от зданий и 2,5 м от дорог.

*Предохранительные клапаны* предусматривают для сброса повышенного давления в сетях до допустимого.

Для предотвращения обратного потока воды от потребителей устанавливают *обратные клапаны*.

Для понижения давления в сети или вводе здания устанавливают *редукционные клапаны*.

Для компенсации удлинений трубопроводов в следствии температурного расширения в туннелях, в просадочных грунтах, при жесткой заделке в колодцах устанавливают *компенсаторы*.

*Спускные краны* для спуска или опорожнения воды в пониженных участках, устанавливаемые через тройники (выпуски).

*Воздухосборники* устанавливают для удаления воздуха, скапливающегося в возвышенных точках водопроводов и магистральной сети для устранения воздушных пробок.

*Колодцы* устанавливают в узлах поворотов или предусматривают для обслуживания установленных воздухосборников или спускных кранов из монолитного и сборного железобетона круглой формы.

В незамощенных местах дорог люки колодцев должны незначительно возвышаться над поверхностью земли с устройством отмостки шириной 1 м вокруг люка с уклоном от него. На проезжей части с усовершенствованным покрытием люки располагают на одном уровне с поверхностью покрытия. При наличии грунтовых вод водонепроницаемость колодцев обеспечивается гидроизоляцией дна и стенок на высоту не менее 0,5 м выше уровня этих вод. Проемы в стенках колодцев, через которые проходят трубы, заделывают просмоленной прядью и асбестоцементным раствором.

Раструбные соединения, примыкающие к стенкам колодца, должны быть обращены внутрь колодца для удобства заделки. В противном случае расстояние между раструбом и стенкой принимается менее 0,5 м. Минимальное расстояние от низа трубы до дна колодца принимается 0,15 м (при диаметре трубы до 400 мм) и 0,25 м при большем диаметре.

Во избежание замерзания воды в трубах глубина их заложения (до низа трубы) должна быть больше глубины промерзания грунта (Таблица 6.1). Минимальная глубина заложения принимается не менее 1 м до верха трубы для защиты от динамических нагрузок.

Таблица 6.1 – Глубина заложения водопровода

Диаметр труб, мм	< 300	300 - 600	> 600
Глубина заложения труб (до низа трубы), м	$H_{\text{пром.}} + 0,2d$	$H_{\text{пром.}} + 0,5d$	$H_{\text{пром.}} + 0,7d$

Для предотвращения повреждений соединений на поворотах, тройниках и тупиковых концах в следствие возникновения продольной силы, вызывающих растяжения должны предусматриваться упоры.

Трассировка сети предусматривается с увязкой расположения труб с тоннелями и каналами, а также с сетями соседних систем.

При пересечении водопровода с транспортными магистралями (ЖД или трасс) следует прокладывать под насыпями или путепроводах, футлярах, превышающих диаметр трубы на 300 мм, а при пересечении оврагов или рек в дюкерах ниже дна более 1 м для предотвращения механических повреждений якорями.

### 6.2.3. Внутренний водопровод здания

**Внутренним водопроводом** здания называется система холодного водоснабжения, обеспечивающая подачу воды от наружного водопровода ко всем водоразборным устройствам внутри здания.

Основными элементами данной системы являются:

- трубы (ввод, магистраль, стояки, подводки);
- запорная арматура (вентили, задвижки, проходные пробковые краны);

– водоразборная арматура (различные краны, смесители ванн, умывальники, мойки, поплавковые клапаны для смывных бачков унитазов);

– водомерный узел.

Ввод – это трубопроводное соединение наружного водопровода с внутренним с глубиной заложения равной глубине промерзания грунта с запасом 0,5 м для исключения опасности замерзания воды. Для исключения механических повреждений глубина заложения должна быть выше 0,7-1 м.

Вводной водопровод, как правило, проектируют либо через стену подвала, либо через его пол, исходя из удобства монтажа и соблюдая глубину заложения (Рис. 6.6).

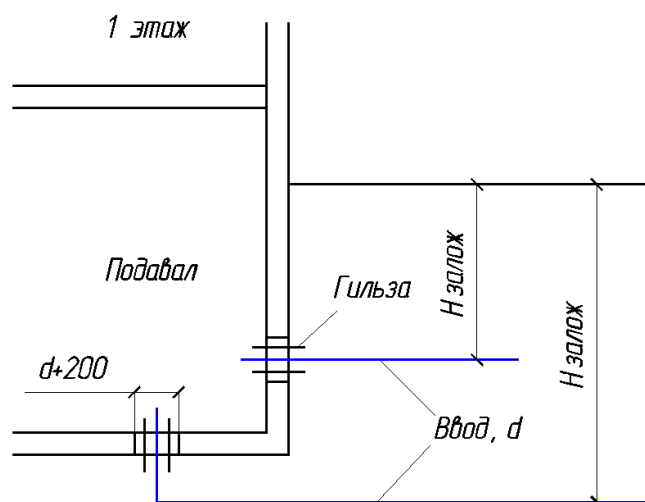


Рисунок 6.6 – Принципиальная схема ввода

В состав водомерного узла (Рис. 6.7) входит – прибор измерения количества воды (водомер), запорная арматура (задвижки), контрольно-спусковой кран, соединительные части и патрубки из стальной трубы.

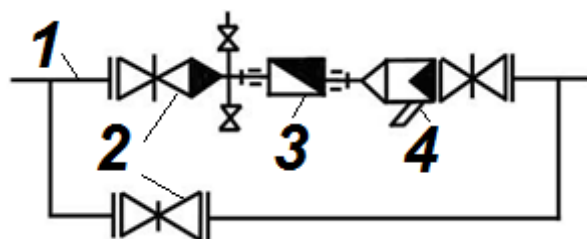


Рисунок 6.7 – Водомерный узел с обводной линией: 1 – водопровод, 2 – задвижки, 3 – водомер; 4 – фильтр

Как правило, если нет дополнительного ввода воды, применяют водомерный узел с обводной линией. А также если измерительный прибор водомерного узла не рассчитан на пожарный расход воды.

Для возможности проверки и замены измерительного прибора, отключения и слива воды из сети водоснабжения, запорная арматура (задвижки) ставятся до и после счетчика водомерного узла.

Счетчики воды (водомеры) бывают двух типов – *крыльчатые* при малом расходе воды и *турбинные* – при большом (Рисунок 6.8).



Рисунок 6.8 – Счетчики воды: а) крыльчатые, б) турбинные

Цель гидравлического расчета водоснабжения – определение потерь напора в них и диаметров труб участков сети.

Потери напора в сети определяют высоту водонапорной башни или напора насосов. Водоснабжение рассчитывается на наибольшее потребление и момент пожаротушения. Кроме того, СП и ГОСТ предусматривает и другие расчетные случаи.

Водопроводные сети города для хозяйственно-питьевых нужд потребителей по равномерно распределённой схеме разбора воды.

Расходы воды крупных предприятий рассматриваются как сосредоточенные в определенных узлах.

Расход, приходящийся на 1 м длины сети, называется *удельным* (6.8):

$$q_{уд} = (q_{макс} - q_{соср}) / L, (6.8)$$

где  $q_{макс}$  – максимальный расчетный расход, поступающий в сеть;  
 $q_{соср}$  – сумма сосредоточенных расходов промышленных предприятий;

$L$  – суммарная протяженность рассчитываемой сети.

Под *путевым расходом* понимается расход, пропорциональный длине каждого участка магистральной сети и определяется по формуле (6.9):

$$q_{пут} = q_{уд} \cdot l, \quad (6.9)$$

где  $l$  – длина рассматриваемого участка сети, м.

Кроме *путевого* также учитывают *транзитный расход* (кроме *тупиковых участков*),  $q_t$ , необходимый для питания последующих участков. Тогда *расчетный расход* определяют по формуле (6.10):

$$q_p = q_t + \alpha \cdot q_{пут}, \quad (6.10)$$

где  $\alpha \approx 0,5$  – коэффициент эквивалентности.

*Путевые равномерно распределенные расходы* для простоты расчета приводятся к *сосредоточенным в узлах*. Тогда *узловой расход* определяют по формуле (6.11):

$$q_{узи} = \sum q_{пут} / 2, \quad (6.11)$$

где  $\sum q_{пут}$  – сумма *путевых расходов*, протекающих в линиях сети, примыкающих к данному узлу.

*Диаметры труб линий сети* определяют как (6.12):

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}}, \quad (6.12)$$

где  $q$  – *расчетный расход воды*, м<sup>3</sup>/с;

$v$  – *скорость движения воды в трубопроводе*, м/с.

*Потери напора в трубах* определяют по формуле (6.13):

$$h = k \cdot \frac{q^n}{d^m} \cdot l, \quad (6.13)$$



где  $q$  – расход воды, протекающей по трубопроводу;  
 $d$  – диаметр трубопровода;  
 $l$  – длина линии сети;  
 $n, m, k$  – показатели степени и коэффициент, зависящий от гидравлических свойств данного вида труб.

Для использования этой формулы в практике расчетов существуют таблицы, позволяющие определять потери напора

$$h = i \cdot l, \quad (6.14)$$

где  $i = k \cdot \frac{q^n}{d^m}$  – удельные потери напора.

### 6.3. Природные подземные и поверхностные источники

Для целей водоснабжения водозабор возможен как из *поверхностных* (реки, озера, водохранилища, моря), так и *подземных* (грунтовые воды, артезианские воды, родники) источников.

Источник водоснабжения должен отвечать следующим требованиям:

- *бесперебойность* – обеспечивать бесперебойное поступление требуемого количества и качества воды с учетом роста потребности в водоснабжении;
- *ресурсообеспеченность* – обладать достаточной мощностью (отбор воды не нарушает экологическое состояние жизнедеятельности водоема);
- *удаленность* – находиться на кратчайшем расстоянии от объекта водоснабжения.

### 6.4. Зоны санитарной охраны

Для предотвращения загрязнения источников хозяйственно-питьевого водоснабжения необходимо создать санитарные зоны. Эти зоны включают в себя эксплуатируемый водоем и часть его питательного бассейна. Обычно на этой территории устанавливаются три пояса

санитарных зон, в каждом из которых применяется специальный режим, осуществляется санитарный надзор и контроль качества воды в источнике.

Границы *первого пояса* зоны санитарной охраны, который находится в строгом режиме, определяются в месте забора воды и включают в себя площадку, занимаемую водозаборами, насосными станциями, очистными сооружениями и резервуарами чистой воды. Этот пояс охватывает акваторию реки и подводных каналов на расстоянии не менее 200 м вверх по течению и 100 м вниз по течению от места водозабора. Если ширина реки или канала составляет до 100 м, то в первый пояс входит также часть противоположного берега (относительно водозабора) шириной 50 м. При большей ширине реки или канала, в первый пояс входит акватория шириной не менее 100 м.

Зона санитарной охраны первого пояса для водохранилищ и озер определяется границей, которая проходит на расстоянии 100 м от места водозабора по всей акватории источника до берега. Для подземных источников граница первого пояса проходит в радиусе 30 м от места водозабора, если источник надежно защищен. В случае отсутствия достаточных гарантий надежной защиты, граница первого пояса проходит в радиусе 50 м.

В зоне санитарной охраны первого пояса запрещено нахождение людей, которые не имеют прямого отношения к эксплуатации сооружений.

*Второй пояс* охватывает участок земли по обеим сторонам реки на расстоянии от 500 до 1000 м вверх по течению. Зона санитарной охраны этого пояса определяется на основе времени, которое вода протекает от его границы до места водозабора, и составляет 3 суток при расходе воды, обеспечивающем 95% надежность.

*Третий пояс* охватывает территорию, окружающую источник, которая влияет на качество воды в нем. Границы этой территории определяются с учетом возможности загрязнения источника химическими веществами.

## 6.5. Водозаборные сооружения для забора подземных вод

Выбор типа сооружений и расположения зависит от глубины, мощности и водообильности водоносного пласта, а также от условий его залегания, геологических и гидрологических факторов. Для захвата подземных вод применяются различные типы сооружений, включая скважины, шахтные колодцы, горизонтальные водозаборы, лучевые водозаборы и каптаж источников.

*Скважины*, создаваемые путем бурения, предназначены для получения как напорных, так и безнапорных подземных вод, которые находятся на глубине более 30 метров. В случае рыхлых грунтов, стенки скважин укрепляются обсадными трубами. Чтобы предотвратить попадание частиц грунта из водоносного пласта в скважину, обычно устанавливают фильтр. Скважины размещаются перпендикулярно потоку подземных вод.

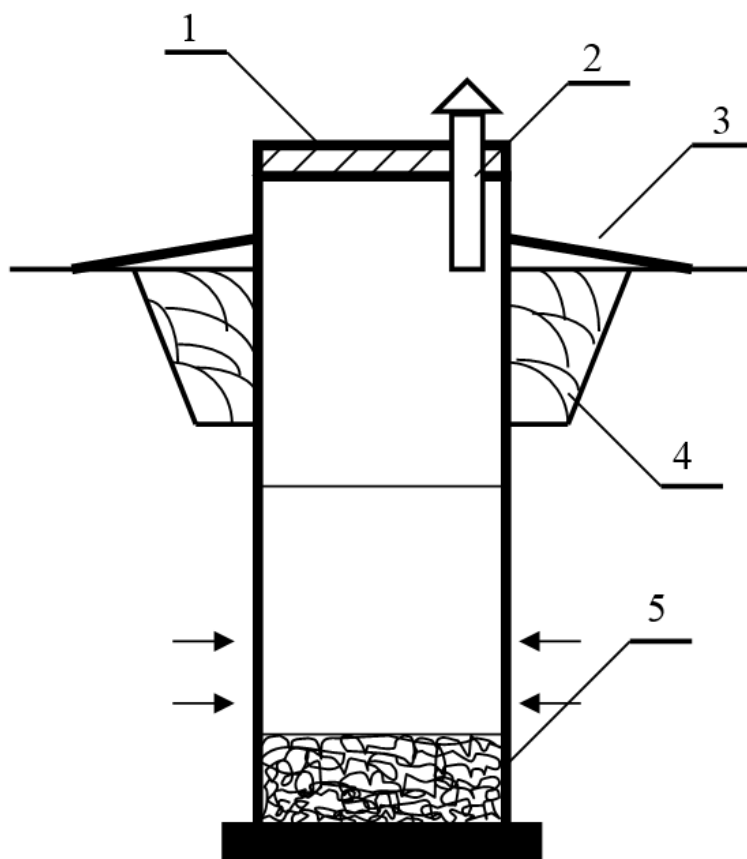


Рисунок 6.9 – Шахтный колодец из железобетонных колец:  
1 – железобетонная крышка; 2 - вентиляционная асбестовая труба диаметром 150 мм; 3 – отмостка щебнем (слоем 10 см), 4 – глиняный замок; 5 – обратный фильтр

*Шахтные колодецы* применяются для водозабора из неглубоких водоносных пластов, которые находятся на глубине до 30 метров от поверхности земли (см. рисунок 6.9). Они могут быть выполнены из различных материалов, таких как кирпич, бетон, железобетон, дерево и камень. Вода поступает в колодец через боковые отверстия, которые делаются в стенках, а также через дно, которое заполняется крупнозернистым материалом. Для извлечения воды из шахтного колодца используются сифоны или насосы. Чтобы защитить колодец от загрязнений и поверхностных стоков, вокруг него устраивается отсыпка с мощением из камня, а также глиняный замок. Стенки колодца поднимаются на 0,8 метра над поверхностью земли, и сверху колодец закрывается крышкой.

*Горизонтальные водозаборы* (см. рисунок 6.10) устанавливаются внутри водоносного пласта на глубине от 6 до 8 метров при небольшой его толщине. Водозабор размещается перпендикулярно направлению движения подземного потока грунтовой воды с уклоном в сторону сборного колодца, откуда вода извлекается с помощью насосов.

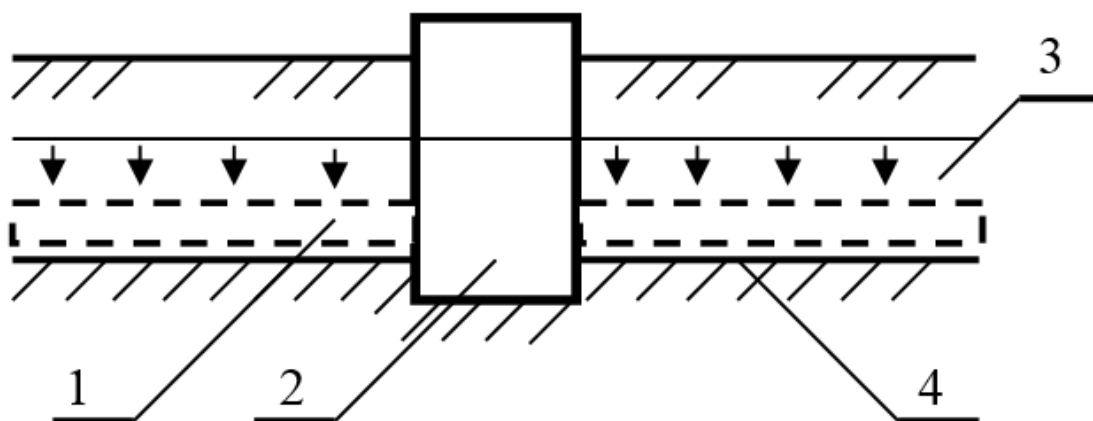


Рисунок 6.10 – Горизонтальный водозабор: 1 - горизонтальные водосборы; 2 – сборный колодец; 3 – водоносный пласт; 4 - водоупор

Для данных водозаборных сооружений используются перфорированные бетонные трубы, имеющие круглое или овоидальное сечение. Вокруг этих труб устраивается слой гравия и песка, который предотвращает попадание грунтовых частиц в воду. При большой протяженности водозаборных сооружений каждые 50 метров устанавливаются смотровые колодцы, которые предназначены для осмотра, очистки, вентиляции трубопроводов и взятия проб воды. Для сбора

больших объемов воды трубы следует укладывать на подстилающей водонепроницаемой основе.

*Лучевые* водозаборы используются для извлечения подземных и подрусловых вод, которые не получают питания из открытых водоемов. Этот тип водозаборов предназначен для водоносных пластов, расположенных на глубине не более 15-20 метров. Лучевой водозабор представляет собой разновидность шахтного колодца, оснащенного водоприемными фильтрами с дренами. Дрены размещаются в водоносном слое радиально относительно колодца.

Для использования ключевой (родниковой) воды, которая отличается высокими показателями качества, применяют каптажные сооружения. Они представляют собой камеры, похожие на шахтные колодцы, устанавливаемые в месте выхода воды. Забор воды из нисходящих потоков родниковой воды осуществляется через боковые стенки колодцев, где устанавливаются приемные отверстия. Эти отверстия снаружи оборудованы фильтром из камней, гравия и песка, что предотвращает попадание частиц в камеру насосов. Вода из колодцев отводится по трубам в запасной резервуар.

## **6.6. Сооружения для забора поверхностных вод**

Водозаборные сооружения должны обеспечивать доступ к необходимым объемам наиболее чистой воды с использованием простых и экономичных методов. Рекомендуются размещать речные водозаборные сооружения на участках, где обеспечивается плавное обтекание и минимальное сужение русла реки, с учетом возможного образования ледяных заторов и внутриводного льда. Место для водозабора, согласованное с органами санитарного надзора, должно иметь достаточную глубину и стабильный берег.

При строительстве водозаборных сооружений предусматриваются мероприятия, направленные на непрерывную работу сооружений и сохранение рыбы в водоеме. В зависимости от особенностей источника и условий водозабора, водозаборные сооружения могут быть классифицированы как береговые, русловые и специальные.

Водозаборные сооружения берегового типа используются на относительно крутых берегах с наличием достаточной глубины для за-

бора воды. Они располагаются на склоне берега и вода непосредственно берется из русла реки. Водоприемники этих водозаборных сооружений могут быть двух видов: отдельные и совмещенные с насосной станцией (рис. 6.11).

Решение о совмещении насосной станции и водоприемного сооружения принимается в зависимости от амплитуды колебания уровня воды в источнике, способности устанавливаемых насосов к всасыванию, а также геологических и гидрологических условий.

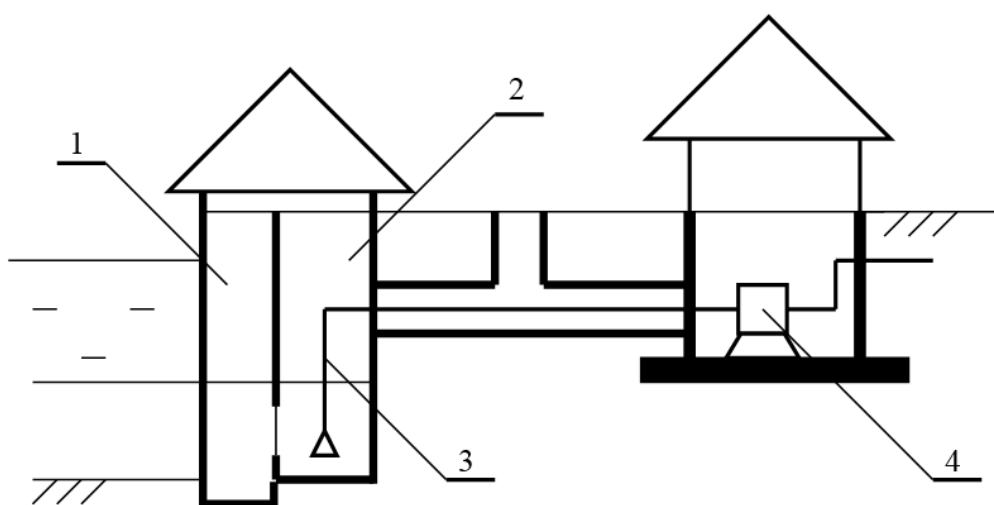


Рисунок 6.11 – Схема раздельного водозаборного сооружения: 1 – приемная камера водоприемного колодца; 2 – всасывающая камера водоприемного колодца; 3 – всасывающие трубы; 4 – насосы

Водозаборные сооружения *руслового типа* (рис. 6.12) используются в случае относительно пологого берега, когда требуемые глубины для забора воды находятся на значительном расстоянии от берега. Оголовки водозаборных сооружений служат для закрепления концов самотечных линий и приема воды из источника. Существуют три типа оголовков: затопленные, затапливаемые высокими водами и незатапливаемые. Оголовки могут быть выполнены из различных материалов, таких как дерево, бетон или железобетон.

К *специальным* водозаборным сооружениям можно отнести водоприемные ковши, передвижные и плавучие водозаборы, а также сооружения для забора воды из водохранилищ, горных рек и морей.

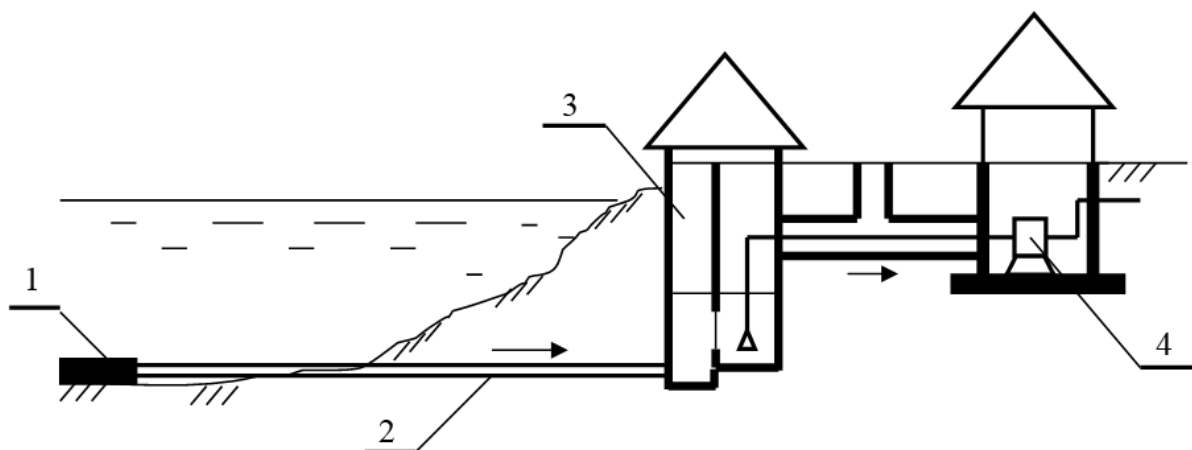


Рисунок 6.12 – Водоприемник руслового типа: 1 – оголовок; 2 – самотечная линия; 3 – береговой колодец; 4 – насосная станция

Водоприемный ковш – это искусственный залив, создаваемый путем постройки дамбы. Он используется в случаях образования глубинного льда в реке и для частичного осветления воды.

Плавающие водозаборные сооружения применяются для временного водоснабжения в условиях значительных колебаний уровня воды в источнике.

## Практическое задание

### *Гидравлический расчет внутреннего водопровода*

Сети внутреннего водопровода проектируются с учетом необходимости обеспечения расчетных расходов воды для всех водопотребляющих устройств здания. При этом важно, чтобы водообеспеченность сети обеспечивала подачу нормированного расхода воды до наиболее удаленной точки, которая имеет максимальное значение свободного напора. Эта точка называется диктующим водопотребляющим устройством или диктующей точкой.

Расчет сети внутреннего водопровода определяется на основе максимального секундного расхода воды:

$$q = 5\alpha q_0, \text{ л/с}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от общего числа водоразборных устройств ( $N$ ) и вероятности их действия ( $P$ ) по таблице Б.2 СП 30.13330.2012;

$q_0$  – секундный расход воды одним водоразборным устройством, как правило, 0,2 л/с;

Вероятность действия приборов определяют по формуле:

$$P = \frac{q_{\text{час}} U}{3600 q_0 N},$$

где  $q_{\text{час}}$  – норма расхода воды потребителем в час наибольшего водопотребления;

$U$  – количество жителей в здании;

$N$  – количество приборов.

Для выбора экономически выгодного диаметра водопровода учитывается условие допустимой скорости движения воды. Допустимые скорости воды в различных участках водопровода следующие:

- ввод: не более 1,0 м/с;
- стояки: 1,5 м/с;
- подводки к водопотребляющим устройствам: 2-3 м/с.

Целью расчета является выбор экономически выгодного диаметра трубы, который обеспечит пропуск расчетных расходов воды и учет потерь напора от диктующей точки до точки присоединения водопровода к наружной водопроводной сети.

1. Последовательность выполнения расчета следующая:
2. Составляется аксонометрическая схема.
3. На схеме выбирается расчетный путь.
4. Расчетный путь разбивается на участки, критерием которых является расход воды.
5. Для каждого участка определяется секундный расход воды.
6. Определяются длины каждого расчетного участка.
7. Для каждого расчетного участка выбирается диаметр трубы на основе полученного расхода и значения экономически выгодной скорости движения воды (обычно принимается в диапазоне от 0,9 до 1,2 м/с).



8. Для каждого расчетного участка определяются потери напора на единицу длины ( $1000i$ ), где  $i$  - потеря напора на 1 метр. Значение  $i$  определяется с использованием справочных таблиц, например, таблиц Шевелева.

Определяются общие потери напора по всей длине расчетного пути.

$$H_e = \frac{1000il}{1000}$$

1. Для оценки местных потерь определяются доли от общих потерь по длине, используя коэффициент  $k = 0,3$  для хозяйственно-питьевой воды.

Например, для определения диаметра и потерь напора в 4-этажном здании с количеством водопотребляющих устройств в квартире  $N_{\text{кв}} = 4$  (смеситель ванной с душевой сеткой, смеситель раковины, мойка, клапан смывного бачка унитаза) и количеством жителей 72 человека, выполняются следующие шаги:

2. Составляется аксонометрическая схема внутреннего водопровода.

3. Расчетный путь от точки присоединения городского водопровода разбивается на расчетные участки, где критерием является постоянство расхода воды.

$$P = \frac{q_{\text{час}} U}{3600 q_0 N} = \frac{5,6 \cdot 72}{3600 \cdot 0,2 \cdot 96} = \frac{403,2}{69120} = 0,00583$$

$$N = 4 \text{ устр.} \cdot 4 \text{ эт.} \cdot 6 \text{ отв.} = 96$$

при  $q_{\text{общ}} = 15,6$  л/ч

$q_{\text{гор}} = 10$  л/ч

$q_{\text{час}} = 15,6 - 10 = 5,6$  л/ч

4. Определить произведение  $NP$  на участке 0-1:

$$NP = 0,00583 \cdot 96 = 0,56;$$

5. Подбирается значение  $\alpha$ :

$$\alpha = 0,717$$

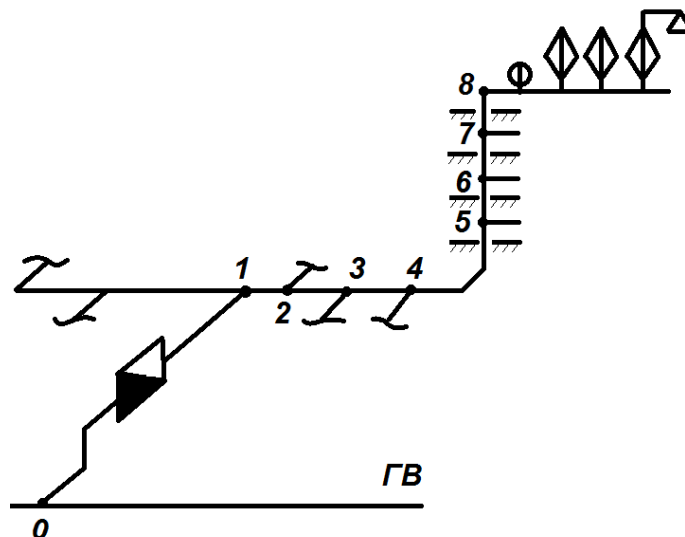


Рисунок 6.13 – Аконометрическая схема водоснабжения здания

6. Определить максимальный расход воды на участке 0-1:

$$q = 5\alpha q_0 = 5 \cdot 0,717 \cdot 0,2 = 0,717 \text{ л/с}$$

7. Аналогично определяется расход на всех расчетных участках:

Таблица 6.2 – Гидравлический расчет трубопровода

Уч-к	$N$	$P$	$NP$	$\alpha$	$q$ , л/с	$l$ , м	$d$ , мм	$v$ , м/с	$1000i$ , м/м	$1000i/1000$	$H$ , м	$\Sigma H$ , м
0-1	96	0.00583	0.56	0.717	0.717	12	32	0.89	48.4	0.0484	0.5808	14.4146
1-2	64		0.37	0.588	0.588	3	25	1.20	155.8	0.1558	0.4674	13.8338
2-3	48		0.28	0.518	0.518	5	25	1.06	110.9	0.1109	0.5545	13.3664
3-4	32		0.19	0.439	0.439	4	25	0.89	91.3	0.0913	0.3652	12.8119
4-5	16		0.09	0.331	0.331	9	15	1.87	807	0.807	7.263	12.4467
5-6	12		0.07	0.304	0.304	3	15	1.72	807	0.807	2.421	5.1837
6-7	8		0.05	0.273	0.273	3	15	1.55	560.4	0.5604	1.6812	2.7627
7-8	4		0.02	0.215	0.215	3	15	1.22	360.5	0.3605	1.0815	1.0815

Сумма потерь до диктующей точки должна быть меньше, чем напор в точке присоединения ввода к городскому водопроводу с запасом 2 м вод. ст. (свободный напор). Кроме чего следует учитывать местные потери в тройниках, отводах, арматуре, водомерном счетчике как 0,3 от потерь по длине.

### **Контрольные вопросы**

1. Режимы и нормы водопотребления.
2. Наружные водопроводные сети. Схемы сетей и условия прокладки.
3. Основы расчета сетей.
4. Регулирующие и запасные емкости.
5. Очистка воды. Требования к питьевой воде.
6. Водозаборные сооружения, их конструкции.
7. Размещение водозаборных сооружений. Зоны санитарной охраны.
8. Назначение, классификация и основные элементы внутреннего водопровода зданий.
9. Устройство вводов.
10. Оборудование водопровода холодной воды: водомерные узлы, счетчики и установки для повышения давления.
11. Расчет водопровода холодной воды.
12. Определение требуемых давлений в системе.
13. Циркуляция воды в системе. Особенности конструирования и расчета.
14. Противопожарный водопровод. Автоматические системы пожаротушения.

## Тема 7. НАРУЖНЫЕ ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ (КАНАЛИЗАЦИИ)

*Сточными водами* называются воды, которые при использовании приобрели дополнительные загрязнения, изменившие их состав или физические свойства, а также воды, стекающие с территорий городов и промышленных предприятий в результате выпадения атмосферных осадков или поливки улиц.

Сточные воды могут быть разделены на следующие категории:

– *Бытовые* сточные воды, которые происходят из жилых, административных и общественных зданий, а также из производственных зданий. Они характеризуются содержанием органических, минеральных и бактериальных загрязнений.

– *Производственные* сточные воды, которые возникают в результате различных технологических процессов. Они содержат как органические, так и минеральные примеси, а также могут содержать ядовитые и бактериальные загрязнения. Однако условно чистые производственные воды загрязнены только минеральными примесями.

– *Атмосферные* сточные воды содержат загрязнения минерального происхождения, но в случае стока с территорий химических заводов, нефтебаз, бензоколонок и т.д., они могут содержать значительное количество органических и вредных веществ.

Степень загрязнения сточных вод характеризуется количеством загрязнений, содержащихся в единице их объема, выраженным в концентрации, например, мг/л или г/см<sup>3</sup>.

*Водоотведение* – это комплекс инженерных сооружений, предназначенных для организованного приема и удаления загрязненных сточных вод из населенных пунктов или промышленных предприятий через трубопроводы, а также для их очистки и обезвреживания перед утилизацией или сбросом в водоем.

Существуют два вида водоотведения: *вывозное* и *сплавное*.

При организации вывозного водоотведения жидкие загрязнения собираются в специальные приемники (выгребные ямы) и периодически вывозятся автомобильным транспортом на поля ассенизации для обработки или в специальные места, согласованные с санитарными ор-

ганами. Вывозное водоотведение используется в небольших населенных пунктах, где применение других методов затруднительно. Однако вывозное водоотведение неэффективно с экономической точки зрения и не обеспечивает должного санитарного состояния территорий.

При организации сплавного водоотведения сточные воды транспортируются по подземным трубопроводам на очистные сооружения, где они подвергаются интенсивной очистке, преимущественно в искусственно созданных условиях, после чего сбрасываются в ближайшие водоемы.

Система сплавного водоотведения включает в себя внутренние устройства зданий, наружные внутриквартальные и уличные сети, насосные станции и напорные трубопроводы, очистные сооружения и устройства для выпуска очищенных сточных вод в водоемы.

### **7.1. Системы водоотведения**

В настоящее время применяются различные системы водоотведения, включая общесплавную, раздельную (полную и неполную), полураздельную и комбинированную.

В *общесплавной* системе сточные воды от промышленных предприятий города, после предварительной очистки на местных очистных сооружениях промышленных предприятий, а также сточные воды от жилых кварталов и атмосферные воды сливаются в один коллектор. Чтобы снизить нагрузку на общесплавную сеть во время интенсивных дождей, устанавливаются разделительные камеры, через которые часть сточных вод сбрасывается без очистки в водоем. Основным преимуществом общесплавной системы является сокращение затрат на строительство, так как ее протяженность на 30-40% меньше, чем у раздельной системы. Однако эта система не является экономичной, и периодический сброс неочищенных стоков в водоем ухудшает его экологическое состояние.

В *неполной раздельной* системе, которая является промежуточным этапом перед полной раздельной системой, дождевые и условно-чистые производственные воды сливаются в водоем без предварительной очистки по открытым лоткам, а загрязненные производственные воды и бытовые стоки направляются по общему коллектору на очистные сооружения.

В *полной раздельной* системе проектируется сеть для отвода бытовых сточных вод и загрязненных производственных вод, которые прошли местную очистку на очистных сооружениях. Также создается отдельная производственно-дождевая канализационная сеть для сбора дождевых и условно-чистых производственных вод, которая направляет эти воды в реку без предварительной очистки (возможно также создание отдельной дождевой сети только для дождевых вод и сети для транспортировки условно-чистых производственных вод). Кроме того, для отвода производственных сточных вод, которые не допускаются к совместному отведению с бытовыми стоками, создается отдельная сеть.

В *полураздельной* системе устраиваются те же сети, что и в полной раздельной системе. Однако на производственно-дождевой сети устанавливаются специальные устройства, такие как водосбросные камеры, которые позволяют пропускать дождевые воды (при низких расходах), а также наиболее загрязненные атмосферные воды в сеть для производственно-бытовых вод, а при сильных ливнях сбрасывать их непосредственно в водоем без очистки.

*Комбинированная* система водоотведения возникла в результате расширения городов, в которых была установлена общесплавная система водоотведения.

## **7.2. Ливневая канализация**

Основным назначением крыш является защита зданий от атмосферных воздуха и, в первую очередь, влаги.

От правильно работающей системы водоотведения с крыш зависит надежность и долговечность всего здания.

При проектировании водоотведения здания различают наружные водостоки (не организованные и организованные) и внутренние.

Наружные неорганизованные являются наиболее простыми по конструкции, так как осадки при попадании стекают в направлении уклона и удаляются по всему периметру крыши. При необходимости сброса воды в определенном направлении организуют двухскатную или односкатную (Рис. 7.1).

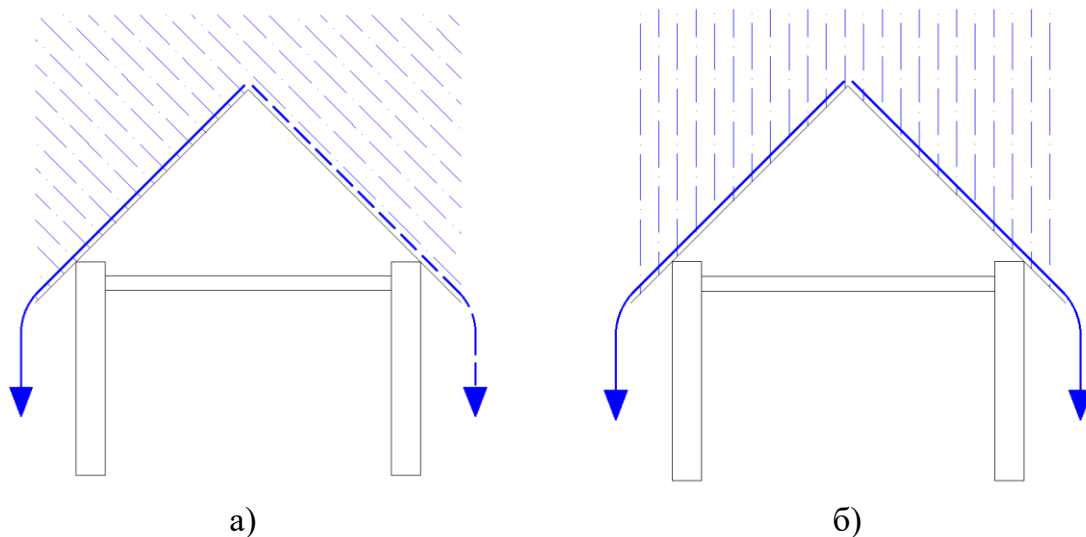


Рисунок 7.1 – Наружное неорганизованное водоотведение на скатной крыше

При безветренной погоде потоки воды стекают с крыши попадая на отмостку здания разбрызгивая и увлажняя цоколь, разрушают отмостку и насыщают влагой грунт около фундамента. Поэтому в районах, имеющих просадочные грунты применяют устройства отведения воды от фундамента.

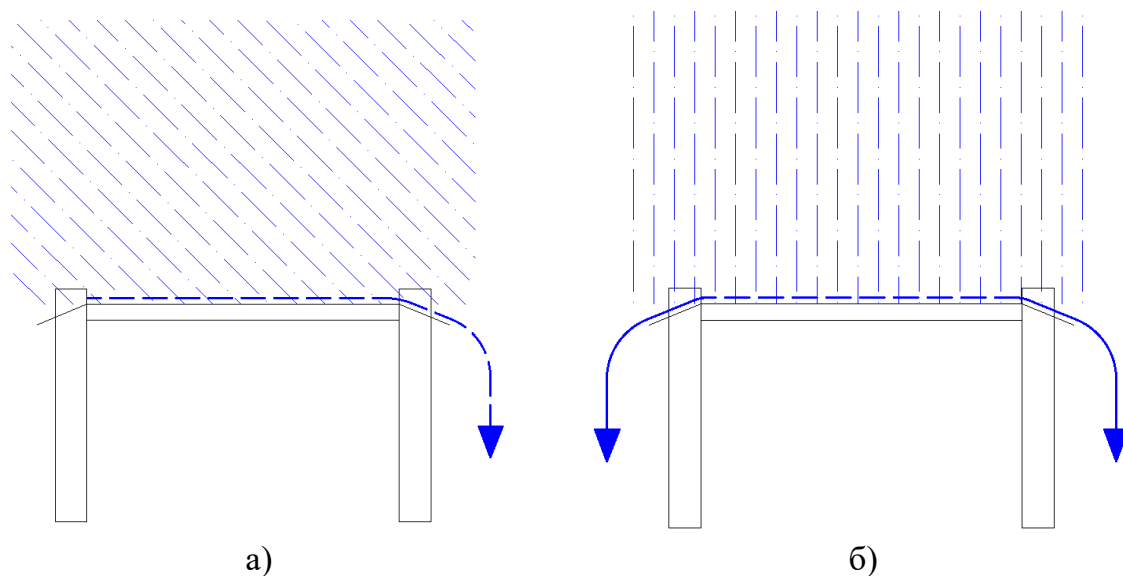


Рисунок 7.2 – Наружное неорганизованное водоотведение на плоской крыше

Неорганизованное водоотведение не применяют в районах, где продолжительное время наблюдается минусовая температура наружного воздуха, в местах стока образуется наледь, которая разрушает карнизы и создает опасность пребывающих под ними людей.

По этой причине наружное неорганизованное водоотведение применяется в зданиях не более трех этажей при размещении карнизного выноса на 0,5-0,8 м.

Разновидностью такого водоотведения является водоотведение с плоских крыш с «нулевым» уклоном (Рис. 7.2).

Более современным является наружный организованный водосток, при котором вода удаляется с крыши с помощью водосточных воронок, что позволяет избежать увлажнения фасадов и дает возможность сравнительно просто при помощи лотков отвести воду от фундамента.

Воронки бывают подвесными (Рис.7.3,а), установленными в конструкцию крыши (Рис.7.3,б), и установленные в карнизных лотках (Рис.7.3,в).

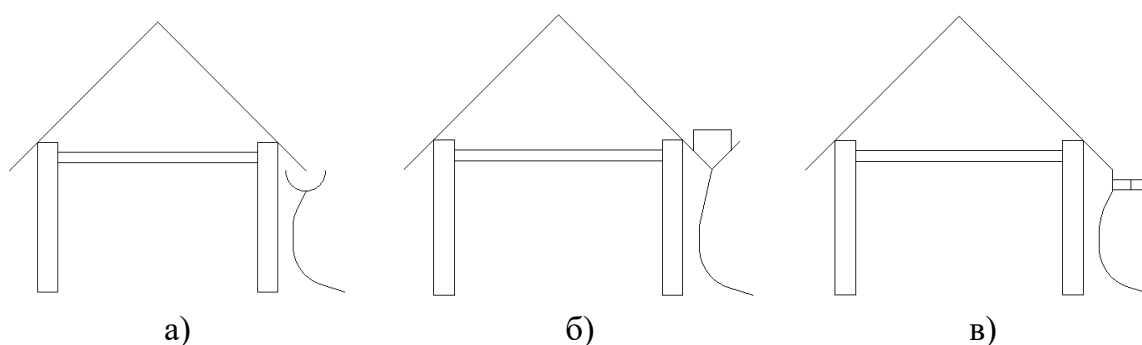


Рисунок 7.3 – Устройство водосточных воронок: а) подвесное, б) в конструкции крыши, в) в карнизных лотках

Трубы изготавливаются из оцинкованной стали со сроком службы 20-25 лет.

Внутренние водостоки не обладают недостатками наружного водоотведения и воронки заделаны в конструкции крыши, а водосточные трубы проложены внутри здания. В зависимости от ширины здания и конструкции предусматривается несколько воронок и уклон поверхности кровли к ним.

Выпуск воды из внутренних водостоков бывает открытым (водосточная труба спускается от воронки вертикально к нулевой отметке первого этажа и выводится на улицу) и закрытым (водосточная труба имеет коллектор под крышей и выводится по внутренней стене здания).



В климатических зонах, имеющих температуру наружного воздуха ниже минус 5 °С устанавливаются гидравлические затворы, препятствующие засасыванию выпуска холодного наружного воздуха, приводящего к замерзанию воды выпускного водостока.

Если проектируемое здание находится на просадочных грунтах или по каким-то соображениям такие водосточные конструкции устройства не целесообразны, то выпуск водостока осуществляется через систему канализации.

Устройство водосточных воронок при внутреннем водостоке бывает для неэксплуатируемых (колпаковая) (Рис.7.4,а) и эксплуатируемых (плоская) крыш (Рис.7.4,б).

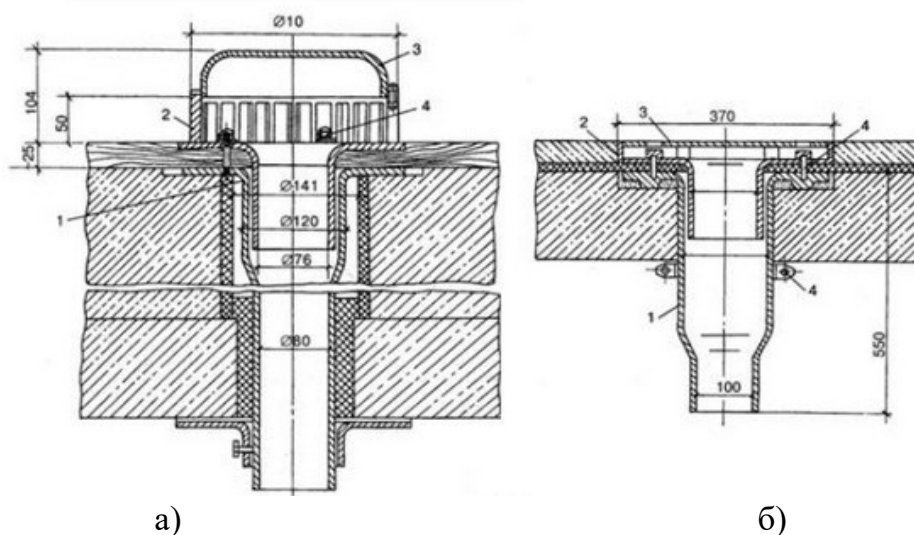


Рисунок 7.4 – Виды водосточных воронок а) колпаковая, б) плоская: 1 – сливной патрубков, 2 – пржимной фланец, 3 – колпак, решетка, 4 – крепление

### 7.3. Элементы наружной канализации

*Наружная канализация* представляет собой сложную сеть подземных труб и каналов, которые направляют сточные воды естественным способом к насосным станциям или на очистные сооружения.

Внутриквартальная сеть служит для транспортировки сточных вод от зданий внутри квартала к уличной канализации. Она заканчивается контрольным колодцем, который расположен за пределами квартала перед красной линией застройки.

Участок сети, соединяющий контрольный колодец с уличной сетью, называется соединительной веткой.

Уличная сеть городов имеет сложную разветвленную структуру и охватывает обширные территории. Чтобы обеспечить прием сточных вод из уличных сетей, территория города разбивается на бассейны канализации, которые представляют собой части канализуемой территории, ограниченные водоразделами.

Участок сети, собирающий сточные воды от одного или нескольких бассейнов канализации, называется коллектором бассейна канализации.

Таким образом, уличная канализация в пределах каждого бассейна объединяется одним или несколькими коллекторами бассейнов канализации, которые отводят ее за пределы бассейна в главные коллекторы.

Загородные коллекторы, или отводные коллекторы, не имеют присоединений. Они транспортируют сточные воды транзитом за пределы канализационной системы к насосным станциям, очистным сооружениям или местам их выпуска в водоем.

Поскольку наружная канализационная сеть работает по принципу самотека, и при больших глубинах коллекторов этот принцип не всегда возможно обеспечить, на пониженных участках сети устанавливаются насосные станции для подъема сточных вод на более высокие уровни. Участок сети от насосной станции до самотекающего коллектора или очистных сооружений называется напорным коллектором. Трубопровод, предназначенный для отвода очищенных сточных вод в водоем, называется выпуском.

Коллекторами большого диаметра называются каналы. Они проектируются только в крупных городах.

#### **7.4. Внутренняя канализация зданий**

*Внутренняя канализация* представляет собой систему инженерных устройств и сооружений, которые обеспечивают прием, локальную очистку и транспортировку загрязненных стоков внутри и за пределами здания или группы зданий в сеть канализации соответствующего населенного пункта или промышленного предприятия.

Система внутренней канализации состоит из нескольких компонентов, включая приемники сточных вод, сеть трубопроводов (отводных линий, стояков, коллекторов, выпусков) и местные установки для перекачки или предварительной очистки сточных вод.

Квартирные отводящие трубы имеют конструктивно заданный диаметр 100 мм для унитазов с уклоном 0,02 и диаметр 50 мм для моек, умывальников и ванн с уклоном 0,035. Расчет диаметра не требуется, и он определяется стандартными значениями.

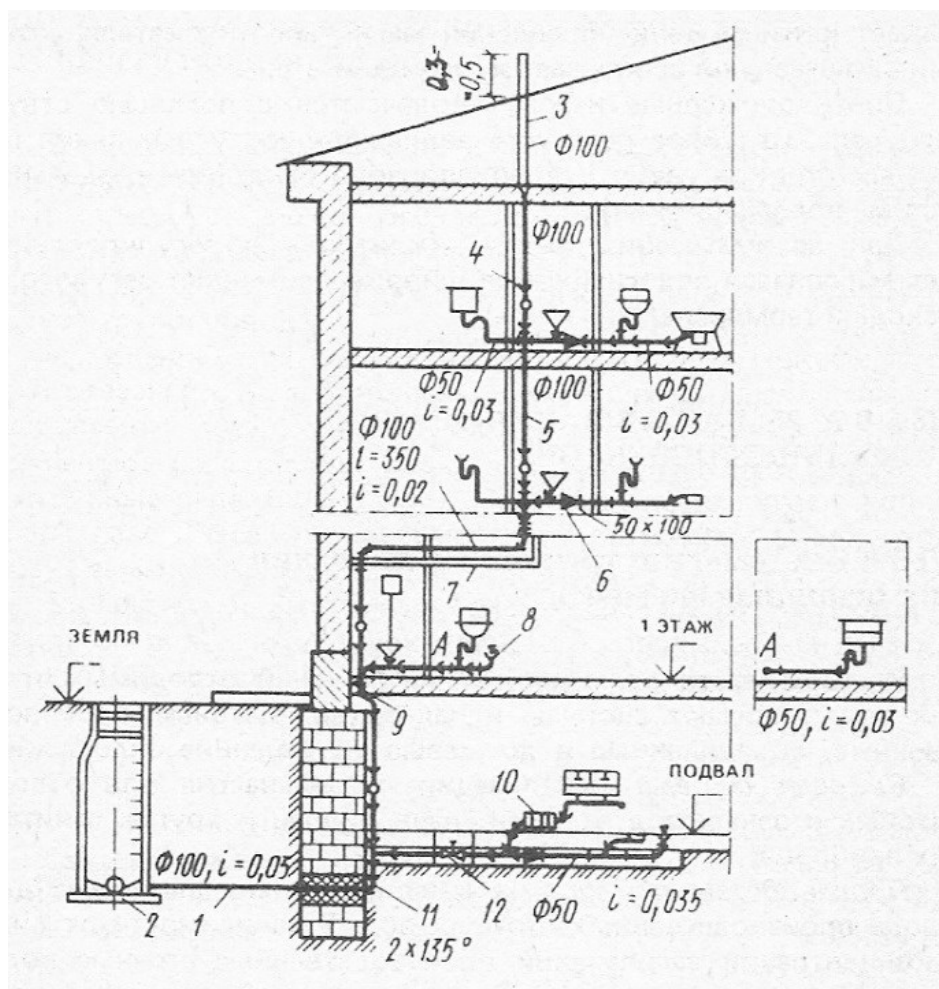


Рисунок 7.5 – Элементы устройства внутренней канализации: 1 – выпуск; 2 – смотровой колодец; 3 – вентиляционный трубопровод (вытяжка); 4 – ревизия; 5 – канализационный стояк; 6 – переход; 7 – короб; 8 – прочистка; 9 – отступ; 10 – песколовка; 11 – отвод; 12 – задвижка

Особенность монтажа канализации заключается в использовании раструбных соединений и фасонных деталей для создания поворотов

труб и боковых соединений. Это позволяет обеспечить надежное соединение и удобство монтажа системы канализации.

Приемниками сточных вод в здании являются раковины, умывальники, унитазы, ванны. После приемников обязательна установка гидравлических затворов или «сифонов» для защиты помещений от проникания из канализационной сети вредных и пахнущих. Гидравлические затворы бывают двух типов: U-образные и бутылочного типа (Рис.7.6).

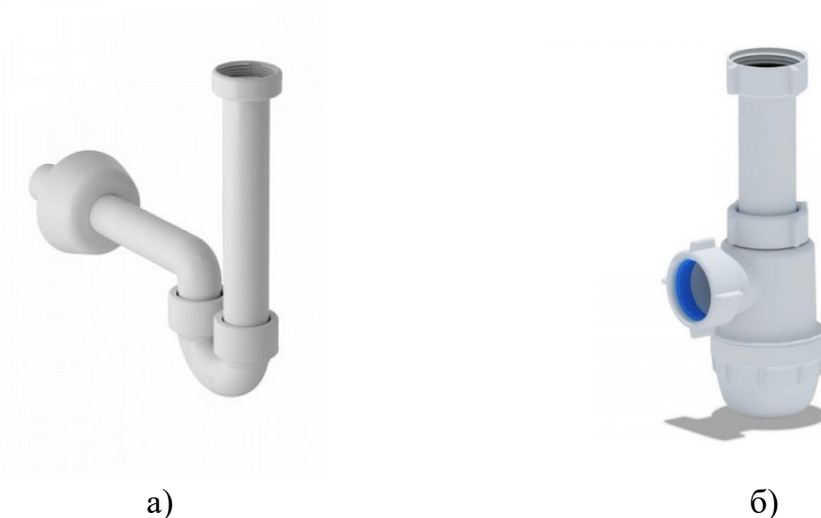


Рисунок 7.6 – Гидравлический затвор: а) U-образный, б) бутылочного типа

Системы внутренней канализации оборудуют устройствами для вентиляции (вентиляционными трубопроводами), для чистки в случае засорения (ревизиями, прочистками) (Рис.7.7). Число зависит от диаметра труб: для диаметра 50 мм через 8 м, для 100-150 мм через 15 м. Ревизии устанавливаются на канализационных стояках через 3 этажа, но обязательно на первом и последнем этажах.

Глубина заложения выпуска канализации от здания определяется выше глубины промерзания грунта на 0,3 м, но на расстоянии от 0,7 м до поверхности земли. Необходимо учитывать, что расстояние между выпуском канализации и вводом водопровода должно быть не менее 1,5 метров в свету (расстояние в свету – это расстояние между объектами, свободное от всех препятствий), если они расположены параллельно.

При пересечении трубопроводов водопровода и канализации вертикальное расстояние между их стенками должно быть не менее:

– 0,4 метра, если водопровод находится выше выпуска канализации;

– 0,5 метра, если водопровод находится ниже.

Канализационные выпуски используются для сбора сточных вод из стояков и вывода их за пределы здания в дворовую канализационную сеть. Они должны быть прокладываться с уклоном не менее 0,02 в сторону смотрового колодца. Диаметр выпуска должен быть не меньше диаметра самого крупного присоединенного стояка. Переход от стояков к выпуску должен быть выполнен плавным образом с использованием отводов.

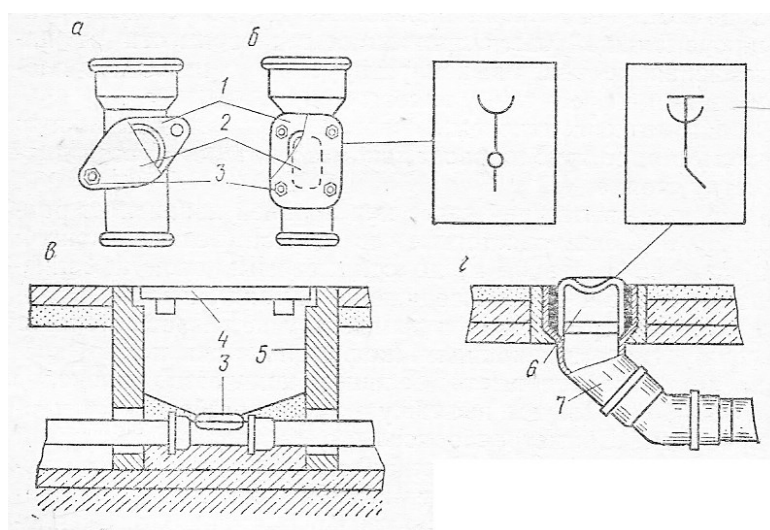


Рисунок 7.7 – Ревизии и прочистки а) вертикальные с наклонной крышкой, б) вертикальные прямоугольные, в) колодезные, г) горизонтальные: 1 - резиновая прокладка; 2 - крышка; 3 - болты; 4 – крышка колодца; 5 - колодец; 6 - заглушка; 7 - отвод

Для создания канализационной сети могут использоваться трубы из чугуна, пластмассы, керамики, железобетона (бетона) и стали.

Чугунные канализационные раструбные трубы и фасонные части для соединения их в узлы и системы изготовляют условным проходом 50; 100 и 150 мм. Длина труб составляет 500-2200 мм. Заделка кольцевых зазоров в стыках раструбных канализационных труб выполняется различными материалами: смоляной прядью, асбестоцементом, асфальтовой мастикой, расширяющимся цементом, герметиками.

Изготавливаются пластмассовые трубы различных диаметров с использованием полиэтилена низкой плотности (ПНП) и винипласта ПВХ. Трубы диаметром от 50 до 300 мм из ПНП и диаметром от 10 до

400 мм из ПВХ обладают высокой устойчивостью к агрессивным стокам, таким как кислоты и щелочи, применяемые в химических лабораториях, промышленных и жилых зданиях для транспортирования сточных вод с температурой не выше 60°C. Соединение этих труб осуществляется с применением резинового кольца в раструбе труб из (ДНП), а также сваркой или склеиванием.

Керамические раструбные трубы, изготавливаемые внутренним диаметром 150 мм и более, применяют для устройства производственной канализационной сети.

Железобетонные (бетонные) безнапорные трубы, изготавливаемые условным проходом 300 мм и более, применяют в производственных системах канализации и для устройства внутриквартирных сетей бытовых систем канализации.

### Практическое задание

Для водоснабжения здания (рис. 6.13) разработать схему внутреннего водоотведения от водоразборных устройств одного канализационного стояка.

Решение:

1. Расчетный максимальный расход сточных вод определяют по формуле (7.1):

$$q = q_{\text{в}} + q_{\text{ст}}, \quad (7.1)$$

где  $q_{\text{ст}}$  – расход стоков санитарного прибора с наибольшим водоотводом по стояку (для унитаза – 1,6 л/с; для ванны – 0,7 л/с; для моек – 0,6 л/с);

$q_{\text{в}}$  – расчетный расход воды для каждой квартиры из практического задания (Тема 6).

Выбор расчетного уклона  $i$ , средней скорости сточной жидкости  $V$ , м/с, и наполнения  $h/d$  следует производить таким образом, чтобы было выполнено условие, характеризующее режим самоочищения в безнапорном трубопроводе:

$$V\sqrt{h/d} \geq K, \quad (7.2)$$

где  $K = 0,5$  – для трубопроводов из полимерных материалов;

$K = 0,6$  – для трубопроводов из других материалов.

Таблица 7.1 – Гидравлический расчет внутреннего водоотведения

Номер вы-пуска	qв, л/с	qст, л/с	q, л/с	d, мм	i	h/d	K	V, м/с	Усло-вие $V\sqrt{(h/d)}$
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7-8	0.215	3.5	3.715	100	0.02	0.53	0.6	0.88	0.64
6-7	0.273	3.715	3.988	100	0.02	0.55	0.6	0.90	0.67
5-6	0.304	3.988	4.292	100	0.02	0.57	0.6	0.91	0.69
4-5	0.331	4.292	4.623	100	0.02	0.6	0.6	0.93	0.72

Диаметр труб следует подбирать по Таблице 7.2 в зависимости от пропускной способности трубопровода и угла присоединения выпусков. Исходя из таблицы выбираются необходимые параметры и далее строится схема (Рисунок 7.8).

Таблица 7.2 – Оптимальный диаметр канализационного стояка

Наружный диаметр поэтажных отводов, мм	Угол присоединения поэтажных отводов к стояку, градус	Пропускная способность, л/с, стояков при диаметре труб, мм		
		50	100	150
50	45	0,96	6,26	19,9
	60	0,84	5,50	17,6
	87,5	0,56	3,67	11,7
100	45	-	5,50	14,5
	60	-	4,90	12,8
	87,5	-	3,20	8,62
150	45	-	-	12,6
	60	-	-	11,0
	87,5	-	-	7,20

По подобранным диаметрам из Таблицы 7.1 и элементам канализации, приступаем к разработке схемы, для системы внутреннего канализационного стояка с указанием переходов, диаметров и уклонов, и предусмотренными ревизиями и фановыми вентиляционными трубами.

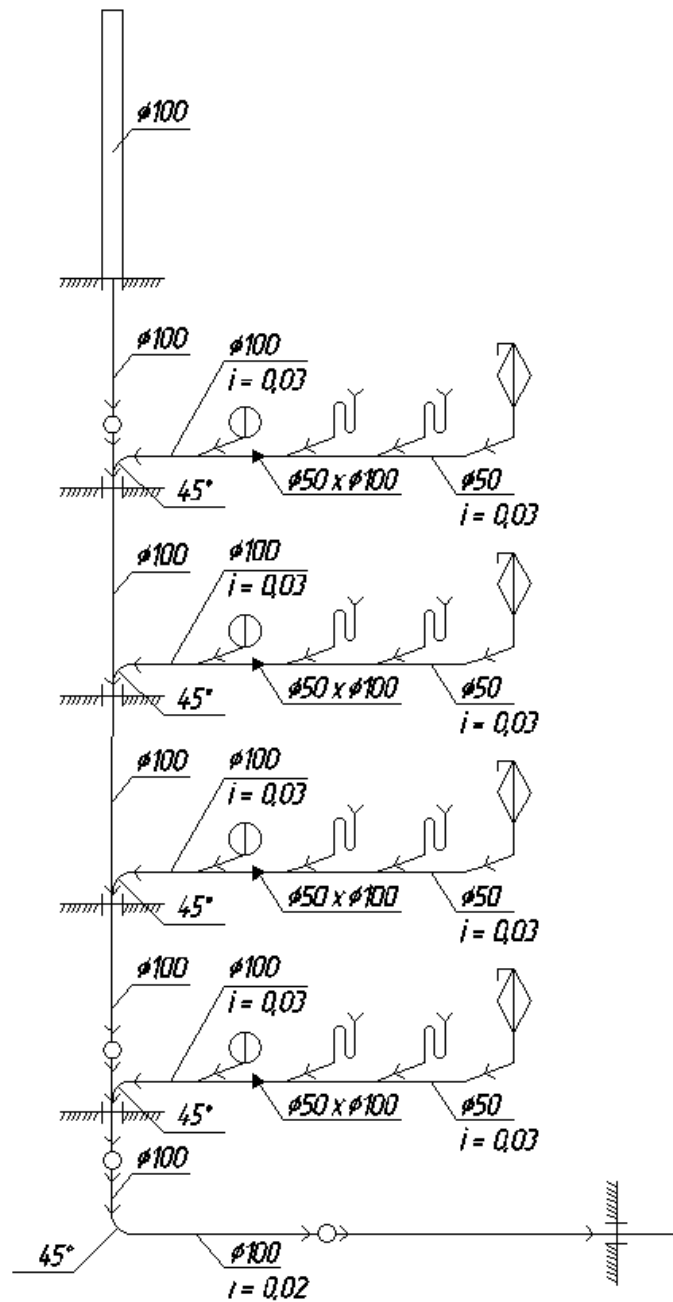


Рисунок 7.8 – Аксонометрическая схема системы внутреннего водоотведения от канализационного стояка

### Контрольные вопросы

1. Что такое сточные воды. Виды сточных вод и их описание.
2. Что такое водоотведение.
3. Что представляет собой вывозное водоотведение.
4. Что представляет собой сплавное водоотведение.



5. Системы и схемы канализации населенных мест и промышленных предприятий.
6. Ливневая канализация. Принципиальная схема организованной и неорганизованной системы и их описание.
7. Виды воронок для ливневого водоотведения.
8. Канализационные сети зданий. Основные элементы.
9. Материалы труб, используемые для внутренней канализации зданий.
10. Прочистки и ревизии. Устройство и назначение.
11. Внутренние и наружные водостоки.



Основными характеристиками лифтов являются грузоподъемность и скорость движения.

Лифт состоит из шахты с подъемным устройством (лебедка с электродвигателем и редуктором), которое передвигает кабину, противовеса, направленными средствами безопасности (упоры, буферы, ограничители скорости, ловитель, элементы системы управления) (рис. 8.1).

В машинное отделение входят такое оборудование как блок диспетчерской и питания, грузовая монтажная балка, шкаф управления; в приямок шахты лифта устанавливается масляный буфер кабины, натяжное устройство ограничителя скорости, буфер противовеса.

Противовес уравнивает массу кабины и часть поднимающегося в ней груза, что позволяет уменьшить мощность электродвигателя, требуемый для привода лифта. Противовес представляет собой раму, в которую закладывается груз до 60 кг.

Двери шахты имеют блокировку за счет чего движение кабины возможно только при закрытых дверях. Двери открываются за счет установленного на крыше кабины электродвигателя.

В зависимости от назначения классифицируют пассажирские (служат для подъема и спуска людей), грузопассажирские (для подъема и спуска людей или грузов), больничные (для спуска больных на кроватях или носилках сопровождающими лицами), грузовые, малогрузовые или магазинные (до 160 кг).

Максимальная грузоподъемность составляет 5000 кг или 5 т и скорость 0,2-7 м/с.

В соответствии с нормативной документацией лифты предусматривают в жилых зданиях с отметкой пола верхнего этажа, превышающей отметку земли более чем на 14 м.

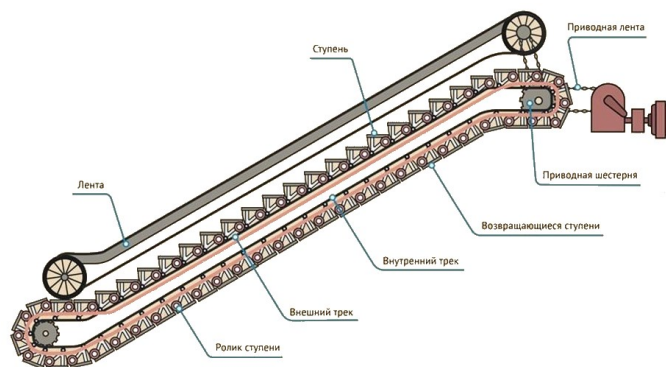
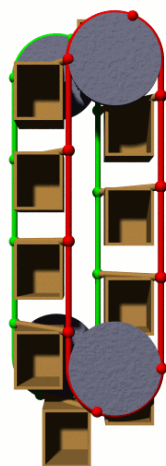
В зданиях до 10 этажей устанавливается 1 лифт, 11-17 этажей – 2, 18-25 этажей – 3 лифта. При этажности здания выше 17-ти скорость движения кабины лифта должна не ниже 1,6 м/с.

При правильном проектировании и обслуживании лифта считается нормой, когда пассажирам в часы максимального прохождения людей приходится ожидать лифт от 30 до 60 секунд (в жилых зданиях – 1,5 минуты).

Эскалаторы – движущаяся лестница, относящаяся к классу непрерывных подъемных устройств, состоящая из приваренного укрепления

на наклонном металлическом каркасе двух наклонных замкнутых цепей, огибающих две пары цепных шкивов со звездочками, верхняя из которых является ведущей, а нижняя – натяжной. Эскалаторы имеют поручни, синхронизированные с движением ступеней (Рис. 8.2,б).

Разновидностью эскалаторов являются движущиеся тротуары – непрерывно движущийся горизонтально площадки, устанавливаемые на переходах значительной длины в аэропортах или вокзалах. Для установки приводов для таких сооружений организуют траншеи достаточной глубины.



а)

б)

Рисунок 8.2 – Патерностеры (а) и эскалаторы (б)

Патерностеры (рис. 8.2, а) – многокабинные непрерывно движущиеся подъемники с кабинами на одного или более человек, одна из

которых движется вниз, другая – вверх. На верху организуется переход с одной ветви на другую. Скорость движения кабин составляет 0,2 м/с.

## Практическое задание

### *Расчет вертикального транспорта*

Расчет ведется по методике, описанной в ГОСТ Р 52941-2008.

Используемые термины при проектировании вертикального транспорта следующие:

*Круговой рейс* – движение лифта от основного посадочного этажа до возвращения на этот этаж;

*Число возможных остановок* – число обслуживаемых лифтом этажей, на которых он может остановиться;

*Число вероятных остановок* – число остановок лифта, определяемое с учетом числа находящихся в кабине лифта пассажиров и числа возможных остановок;

*Коэффициент заполнения кабины лифта* – отношение числа находящихся в кабине пассажиров к номинальной вместимости кабины.

**Задача:** определить число и параметры лифта грузоподъемностью 600 кг, размерами кабины 1100х2100 и шириной двери менее 1000 мм в 14-ти этажном многоквартирном жилом здании с числом жителей 150 человек с отличным уровнем обслуживания при высоте этажа 3 м.

*Время*, затрачиваемое лифтом на совершение *кругового рейса*, включающее в себя затраты времени на разгон и торможение, движение на номинальной скорости, открывание и закрывание дверей, вход и выход пассажиров,  $T$ , с, вычисляются по формуле (8.1):

$$T = 2 \frac{H_n}{V_n} + K_t \sum t, \quad (8.1)$$

где  $H_n$  – путь, который проходит лифт при совершении кругового рейса на номинальной скорости, м;

$V_n$  – номинальная скорость движения кабины лифта, м/с;

$\Sigma t$  – сумма затрат времени на ускорение и замедление лифта, открывание и закрывание дверей, вход и выход пассажиров в течение кругового рейса, с;

$k_t$  – коэффициент, учитывающий возможные дополнительные затраты времени при работе лифта (задержка при входе/выходе пассажиров, регулирование скорости движения дверей и т.п.).

Для расчета принимают  $k_t = 1,05 - 1,10$ ;

$t_1$  – затраты времени на ускорение и замедление лифта, с. Значение величины  $t$  в значительной степени зависит от конструкции привода лифта, системы регулирования скорости движения лифта. Рекомендуется согласование  $t_1$  с изготовителем лифта;

$t_2$  – затраты времени на пуск лифта пассажиром, с;

$t_3$  – затраты времени на открывание и закрывание дверей, с.

Значение величины  $t_3$  зависит от ширины дверного проема кабины лифта, системы привода дверей, регулируемой величины задержки закрывания дверей (в том числе для обеспечения требований безопасности для лиц с физическими ограничениями). Рекомендуется согласование  $t_3$  с изготовителем лифта.

Для предварительных расчетов может быть принята равным:

- для скорости 1,0 м/с - 12-15 с,

- для скорости 1,6 м/с - 10-14 с,

- для скорости 2,5 м/с - 12-16 с,

- для скорости 4,0 м/с - 15-18 с;

$t_1 + t_2 + t_3 = 12$  с

з)  $t_4^п$ ;  $t_4^с$  – затраты времени на вход пассажиров в кабину лифта при подъеме и спуске соответственно, с;

и)  $t_5^п$ ;  $t_5^с$  – затраты времени на выход пассажиров из кабины лифта при подъеме и спуске соответственно, с.

$\Delta t$  – время на вход (выход) одного пассажира.

При ширине дверного проема менее 1000 мм  $\Delta t = 1,5 - 2,0$  с.

При ширине дверного приема более 1000 мм  $\Delta t = 0,8 - 1,2$  с.

$$\Delta t = 1,75 \text{ с}$$

$$E = 600/75 = 8 \text{ чел.}$$

Время на вход и выход пассажиров при подъеме вычисляют по формуле:

$$t_4^n + t_5^n = 2\Delta t\gamma^n E \quad (8.2)$$

Время на вход и выход пассажиров при спуске вычисляют по формуле:

$$t_4^c + t_5^c = 2\Delta t\gamma^c E \quad (8.3)$$

$$t_4^n + t_5^n = 2 \cdot 1,75 \cdot 0,8 \cdot 8 = 22,4 \text{ с}$$

$$t_4^c + t_5^c = 2 \cdot 1,75 \cdot 0,4 \cdot 8 = 11,2 \text{ с}$$

где  $\gamma^n$  – коэффициент заполнения кабины лифта при подъеме;

$\gamma^c$  – коэффициент заполнения кабины лифта при спуске.

Для жилых зданий в расчетный период могут быть приняты значения  $\gamma^n = 0,8$ ;  $\gamma^c = 0,4$ .

$$T = 2 \frac{42}{1,6} + 0,9 \cdot 45,6 = 93,54 \text{ с}$$

*Провозная способность* лифта, чел.-ч определяется по формуле (:

$$P_{л} = \frac{3600\gamma E}{T}, \quad (8.4)$$

где  $P_{л}$  – провозная способность лифта, чел.-ч;

$\gamma = 0-1$  – коэффициент заполнения кабины лифта пассажирами.

Для зданий с характерными пиковыми нагрузками, очевидно следует брать максимально близко  $k_t$ ,  $\gamma = 0,9$ ;

$E$  – номинальная вместимость кабины, чел.

Номинальную вместимость определяют делением номинальной грузоподъемности лифта на 75 с последующим округлением полученного результата до ближайшего целого числа, где 75 кг – вес одного пассажира;

$T$  – время кругового рейса, с.

$$P_{\text{л}} = \frac{3600\gamma E}{T} = \frac{3600 \cdot 0,9 \cdot 600}{75 \cdot 93,54} = 568,4 \text{ чел.} \cdot \text{ч}$$

Обеспечение необходимой провозной способности лифтов определяет количество лифтов  $n$  по формуле:

$$n = \frac{A_{1p}}{P_{\text{л}}}, \quad (8.5)$$

где  $A_{1p}$  – расчетный часовой пассажиропоток в здании.

Результат расчета по формуле округляют до ближайшего целого значения или принимают фактическое значение количества по справочным данным.

В качестве расчетного принимают пассажиропоток, характеризующий число пассажиров, подлежащих перевозке лифтами в течение пятиминутного пикового периода.

Расчетный пятиминутный пассажиропоток при равномерной заселенности этажей  $A_1$ , чел./5 мин, рассчитывают по формуле:

$$A_1 = A \frac{(N - N_n)t}{100N}, \quad (8.6)$$

где  $A$  – жильцы всего здания;

$N$  – число заселенных этажей;

$N_n$  – число этажей, жильцы которых не пользуются лифтами;

$i$  – показатель интенсивности пассажиропотока, характеризующий число людей, подлежащих перевозке в течение расчетного 5-минутного периода, в процентах от числа людей, пользующихся лифтами в здании.

Расчетный пятиминутный пассажиропоток при неравномерной заселенности этажа  $A_1$ , чел./5 мин, рассчитывают по формуле:

$$A_1 = \frac{A_n i}{100}, \quad (8.7)$$

где  $A_n$  – число людей, пользующихся лифтами в здании.



Показатель интенсивности расчетного пассажиропотока для жилых зданий  $i$  принимают 4-8 % от числа пользующихся лифтами жильцов в течение пикового пятиминутного периода.

$$A_1 = 150 \cdot \frac{(14 - 0) \cdot 12}{100 \cdot 14} = 18 \text{ чел./5 мин}$$

Расчетный часовой пассажиропоток  $A_1$ , чел.-ч, рассчитывают по формуле:

$$A_{1p} = 12A_1, (8.8)$$

Число и параметры лифтов, необходимые для установки в здание, а также показатель транспортной комфортности определяют по формулам (8.3) и (8.5).

$$n_p = \frac{A_{1p}}{P_l} = \frac{216}{568,4} = 0,43 \text{ шт}$$

При нескольких лифтов с различной грузоподъемностью и скоростью обеспечение провозной способности  $K_p$  определяют по формуле:

$$K_p = \frac{A_{1p}}{\Sigma P_l}, (8.9)$$

где  $K_p$  – коэффициент использования провозной способности лифтов;

$\Sigma P_l$  – сумма провозной способности группы лифтов, входящих в группу, чел.-ч.

С учетом уровня требований к системе вертикального транспорта  $K_p = 0,8-1,0$ .

Интервал движения лифтов с одинаковыми параметрами  $t_u$ , с, определяют по формуле:

$$t_u = \frac{T}{n}, (8.10)$$

Интервал движения лифтов с различными параметрами  $t_u$ , с, определяют по формуле:

$$t_u = \frac{\Sigma T}{n^2}, (8.11)$$

Максимальный интервал на основном посадочном этаже, с для отличного уровня обслуживания – 60 секунд.

где  $\Sigma T$  – суммарное время круговых рейсов входящих в группу лифтов с различными параметрами.

$$t_u = \frac{93,54}{2} = 46,77 \text{ с}$$

При установке одного лифта интервал движения равен 93,54, что не соответствует отличному уровню обслуживания, а лишь «хорошему». Таким образом принимает к установке 2 лифта грузоподъемностью 600 кг, скоростью движения 1,6 м.

### **Контрольные вопросы**

1. Что относится к вертикальному транспорту зданий.
2. Принцип работы и устройство лифтов.
3. Основные характеристики лифтов по грузоподъемности и скорости движения.
4. Целесообразное количество лифтов в зависимости от этажности зданий.
5. Оценка правильности проектирования лифтов для зданий
6. Что представляет собой эскалатор. Принципиальная схема и устройство работы.
7. Разновидность эскалаторов. Особенности и назначение.
8. Патерностеры. Назначение и описание.

## Тема 9. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

Электрооборудование зданий – совокупность электротехнических устройств в здании для создания нормальных условий деятельности находящихся в нем людей, обеспечиваемой за счет искусственного освещения, вертикального транспорта, водоснабжения и вентиляции.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемников разделяют 3 категории:

1. Когда электроснабжение может повлечь за собой опасность жизни, повреждение дорогостоящего оборудования, массовый брак продукции, нарушение сложных технологических процессов, нарушение особо важных элементов коммуникации, нарушение хозяйства.

2. Перерыв в электроснабжении приводит к массовым простоям рабочих механизмов и промышленного транспорта или нарушение нормальной деятельности

3. Все остальные электроперебои, не подходящие под первую и вторую категорию.

Классифицируют электрические сети по роду тока на постоянного и переменного, по величине напряжения – низковольтовые (до 1000 В), высоковольтовые (свыше 1000 В), по устройству – наружные (воздушные и подземные кабели) и внутренние.

В городах устанавливаются трансформаторные подстанции. В зависимости от условий расположения они бывают следующих типов: пристроенные, встроенные, отдельно стоящие, столбовые.

В городских распределительных сетях обычно применяют отдельно стоящие трансформаторные подстанции. Они выполняются из кирпича или сборных объемных железобетонных элементов.

Столбовые применяются для электроснабжения сел или дачных поселков.

Электроприемники жилых зданий можно разделить на две группы: электроприемники квартир и электроприемники общедомового назначения. В первую группу входят осветительные и бытовые электроприборы, а во вторую – светильники для лестничных клеток, технических подполий, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных помещений, лифтовые установки, вентиляционные системы, противопожарные устройства, домофоны и другое оборудование.

Освещение в квартирах осуществляется с помощью светильников с лампами накаливания и люминесцентными лампами. К бытовым электроприборам относятся нагревательные приборы, хозяйственные инструменты, культурно-бытовые устройства, санитарно-гигиенические приборы, бытовые кондиционеры, водонагреватели и приборы для отопления помещений.

Для освещения лестниц, вестибюлей, холлов и коридоров применяются лампы накаливания и люминесцентные лампы. Последние обладают более длительным сроком службы и меньшей чувствительностью к колебаниям напряжения.

К силовым электроприемникам относятся асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и другие устройства, используемые в лифтовых установках. Для высотных зданий применяются лифты с особым электроприводом, включающим электромагнитный тормоз и устройства управления.

Также к силовым электроприемникам относятся электродвигатели вентиляторов и насосов, различные электромагниты для управления клапанами и люками систем дымоудаления в высотных зданиях, а также системы связи и сигнализации.

Расчетная нагрузка для групповых сетей освещения общедомовых помещений жилых зданий (лестничных клеток, вестибюлей, технических этажей и подполий, подвалов, чердаков, колясочных) и жилых помещений общежитий должна быть определена на основе светотехнического расчета с коэффициентом спроса, равным 1.

Расчетная нагрузка для питающих линий и вводов от электроприемников в квартирах ( $P_{\text{кв}}$ ) определяется с использованием формулы (9.1) и выражается в киловатах:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n, \quad (9.1)$$

где  $P_{\text{кв.уд}}$  – удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по таблице 9.1 в зависимости от числа квартир, присоединенных к линии от трансформаторной подстанции (ТП), типа кухонных плит и наличия бытовых кондиционеров воздуха, кВт/квартира;

$n$  – число квартир, присоединенных к линии трансформаторной подстанции.

Таблица 9.1 – Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий, кВт/кв

Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир	Потребители электроэнергии			
	Квартиры с плитами на природном газе	На сжиженном газе (в том числе при групповых установках и на твердом топливе)	Электрическими, мощностью 8,5 кВт	Летние домики на участках садовых товариществ
1-5	4,50	6,00	10,00	4,00
6	2,80	3,40	5,10	2,30
9	2,30	2,90	3,80	1,70
12	2,00	2,50	3,20	1,40
15	1,80	2,20	2,80	1,20
18	1,65	2,00	2,60	1,10
24	1,40	1,80	2,20	0,90
40	1,20	1,40	1,95	0,76
60	1,05	1,30	1,70	0,69
100	0,85	1,08	1,50	0,61
200	0,77	1,00	1,36	0,58
400	0,71	0,92	1,27	0,54
600	0,69	0,84	1,23	0,51
1000	0,67	0,76	1,19	0,46

Расчетную нагрузку линий питания лифтовых установок  $P_{л}$  определяют по формуле (9.2), кВт:

$$P_{р.л.} = k_{с.л.} \sum_{i=1}^n P_{ni}, \quad (9.2)$$

где  $k_{с.л.}$  – коэффициент спроса, определяемый по табл. 9.2 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий;

$n_{л}$  – число лифтовых установок, питаемых линией;

$P_{н}$  – установленная мощность электродвигателя  $i$ -го лифта по паспорту, кВт.

Таблица 9.2 – Коэффициент спроса электроэнергии

Количество лифтовых установок	Коэффициент спроса для домов	
	высотой до 12 этажей	высотой 12 этажей и более
2-3	0,8	0,9
4-5	0,7	0,8
6-7	0,6	0,7
8-10	0,5	0,6
11-20	0,4	0,5
более 20	0,35	0,4

Расчетную нагрузку жилого дома  $P_{р.жд}$  (квартир и силовых электроприемников) определяют по формуле (9.3), кВт:

$$P_{р.жд} = P_{кв} + 0,9P_c, (9.3)$$

где  $P_{кв}$  – расчетная нагрузка электроприемников квартир, кВт;  
 $P_c$  – расчетная нагрузка силовых электроприемников, кВт.

Нагрузки, связанные с электроснабжением жилых зданий, подвержены значительным изменениям в течение суток, зависят от времени года и постоянно растут из-за увеличения числа и мощности приобретаемых электробытовых приборов. Корректное и обоснованное определение электрических нагрузок является ключевым для разумного выбора числа и мощности трансформаторных подстанций, сечений проводов и кабелей, а также электрооборудования.

*Система TN-C* представляет собой устаревшую систему заземления, характерную для домов, построенных в прошлом веке. В этой системе на входе в дом присутствуют четыре провода (три фазных провода L1, L2, L3 и объединенный нулевой проводник PEN). В данной системе проводник PEN идет до потребителя в объединенном виде.

В результате, для однофазного подключения к потребителю в этой системе требуется два проводника (L, PEN), а для трехфазного подключения – четыре проводника (L1, L2, L3, PEN). Иногда на схемах фазные провода обозначаются латинскими буквами (А, В, С).

Питающий кабель, идущий под землей от трансформаторной подстанции, подводится к вводному ящику, который соединен кабелем с распределительным щитом (см. рисунок 9.1). От распределительного

щита отходят вертикально прокладываемые стояки, например, по лестничным клеткам.

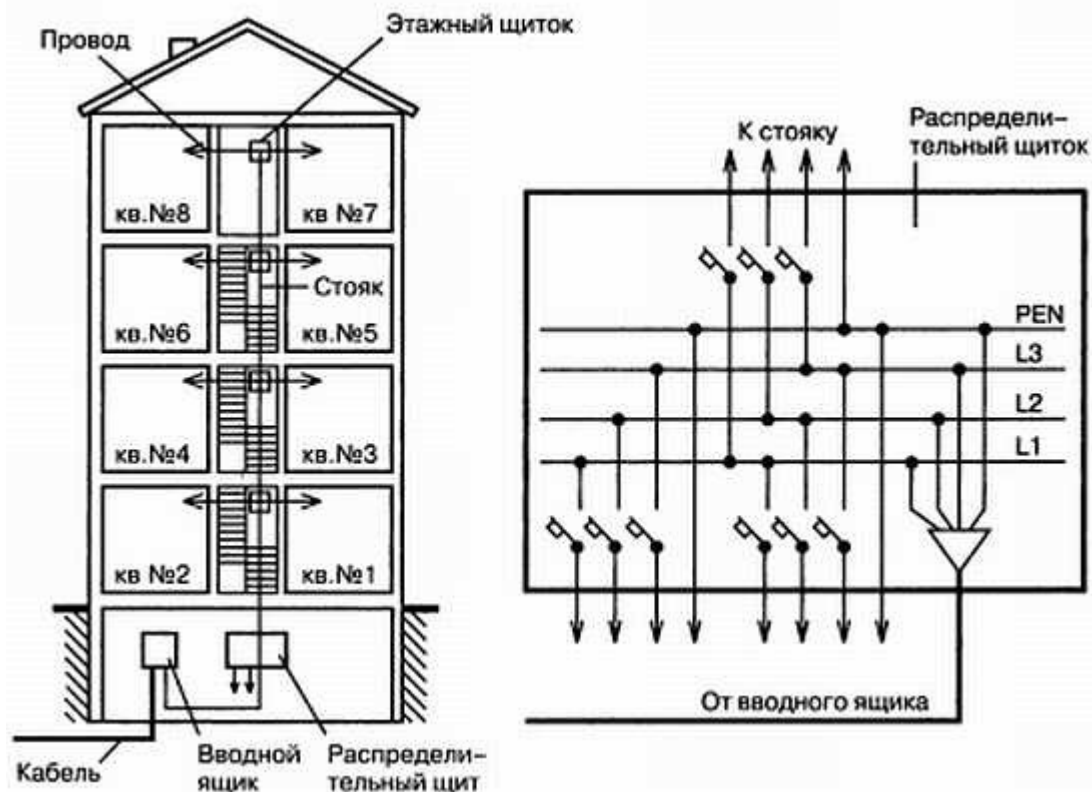


Рисунок 9.1 – Кабельный ввод в многоэтажный дом с системой заземления TN-C

На каждом этаже жилого здания стояки подключаются к этажным щиткам, от которых провода направляются в квартиры. Способ прокладки проводов (в земле или коллекторе) и способ ввода электропитания зависят от размеров здания, его этажности и других факторов.

В случае больших зданий часто применяется несколько вводных кабелей с взаимным резервированием. Распределение электроэнергии между квартирами и общими нагрузками, такими как лифты, насосы и общее освещение, является достаточно сложной задачей. Для этого используются комплектные электротехнические устройства.

Между каждой парой фаз (А-В, В-С и С-А) напряжение составляет 1,73 раза больше, чем между любой фазой и нейтралью (А-PEN, В-PEN). Например, если напряжение между фазами составляет 380 В, то напряжение между каждой фазой и нейтралью будет равно  $380/1,73 = 220$  В. В каждую квартиру подводятся два провода: фаза и нейтраль.

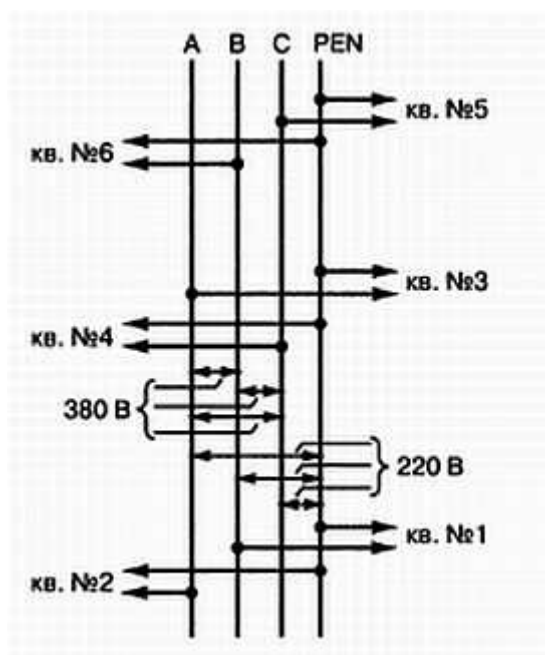


Рисунок 9.2 – Структура электроснабжения стояка

Электрическая проводка в жилом помещении включает в себя электрический ввод, электрический щиток и групповую электрическую сеть, которая распределяет электропитание от щитка по всему помещению. Каждая группа проводки выполнена с использованием электрического кабеля определенного сечения и автоматического выключателя с заранее рассчитанным номиналом для защиты.

Линия питания от трансформаторной подстанции подключается к вводу устройству (ВУ) или вводному распределительному устройству (ВРУ). ВРУ для многоквартирного дома отличается от ВУ наличием оборудования для распределения электроэнергии по зданию.

Вводное распределительное устройство представляет собой комплекс аппаратов защиты (автоматические выключатели, предохранители и т. д.), приборов учета электроэнергии (амперметры, вольтметры, электросчетчики), электрооборудования (рубильники, разъединители, трансформаторы тока, шины и т. д.) и конструкций, которые устанавливаются на вводе в жилые помещения или здание. Они включают в себя аппараты защиты и приборы учета электроэнергии для исходящих линий проводки.

Система TN-C-S применяется только после точки расщепления, ближе к трансформаторной подстанции.



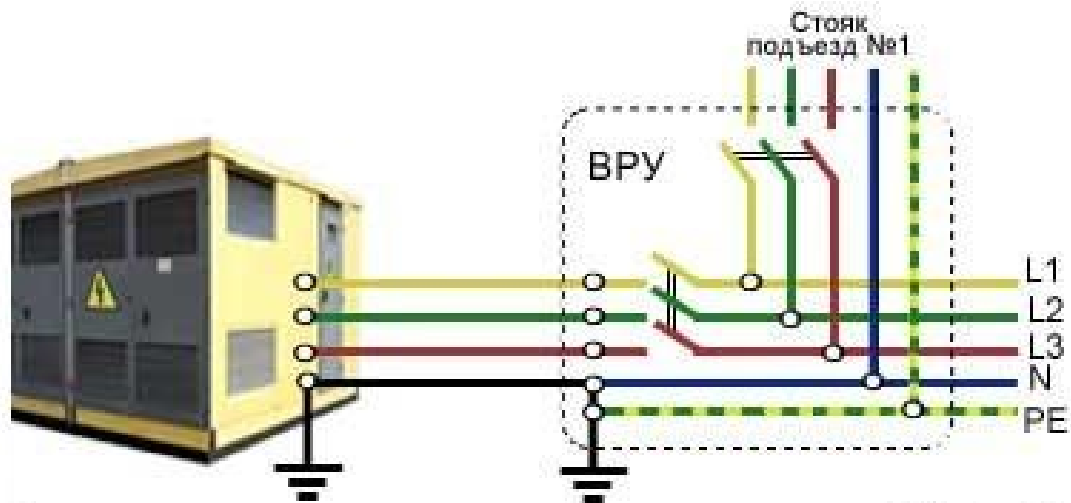


Рисунок 9.3 – Питание многоэтажных домов системой TN-C-S

В современных этажных щитках обычно устанавливаются электросчетчики, трехфазные вводные автоматы для квартирных электрощитков, устройства защитного отключения (УЗО) и дифференциальные автоматы.

После прохождения через вводное устройство (ВУ) или вводное распределительное устройство (ВРУ), электроэнергия поступает в этажные щитки многоквартирного дома. К этим современным этажным щиткам подводятся пять проводов: L1, L2, L3, N и PE.

### Практическое задание

Подробный расчет питания многоквартирного дома по схеме TN-C-S с учетом предоставленных значений.

Исходные данные:

Количество квартир: 10

Мощность каждой квартиры: 5 кВт

Номинальное напряжение сети: 380 В для ввода и стояков, 220 В для квартир

1. Общая мощность дома:

$$P_{\text{общ}} = N_{\text{кв}} \cdot P_{\text{кв}} = 10 \cdot 5 = 50 \text{ кВт}$$

2. Ток, протекающий через общий нулевой проводник:

$$I_H = \frac{P_{\text{общ}}}{U} = \frac{50}{380} = 131,58 \text{ А}$$

3. Ток, протекающий через общий защитный проводник:

$$I_3 = \frac{P_{\text{общ}}}{U} = \frac{50}{380} = 131,58 \text{ А}$$

4. Ток, протекающий через каждый нулевой проводник квартиры:

$$I_{\text{НКВ}} = \frac{I_H}{N_{\text{КВ}}} = \frac{131,58}{10} = 13,16 \text{ А}$$

После расчета токов можно приступить к выбору сечения проводников. Для этого рекомендуется использовать таблицы сечений проводников, учитывая допустимую нагрузку и длину проводников. Например, для медных проводников можно использовать таблицу согласно ГОСТ 31996-2012.

Теперь рассмотрим выбор сечения проводников и автоматических выключателей.

Общий нулевой и защитный проводники:

Учитывая ток примерно 131,58 А, мы можем использовать таблицу сечений проводников для выбора подходящего проводника. Например, для медных проводников и такого тока можно выбрать проводник с сечением не менее 35 мм<sup>2</sup>. Соответственно, автоматический выключатель для общего нулевого и защитного проводников должен быть выбран с соответствующей номинальной силой тока.

Нулевые проводники для каждой квартиры:

Учитывая ток примерно 13,16 А, мы также можем использовать таблицу сечений проводников для выбора подходящего проводника. Например, для медных проводников и такого тока можно выбрать проводник с сечением не менее 2,5 мм<sup>2</sup>. Соответственно, автоматический выключатель для каждой квартиры должен быть выбран с соответствующей номинальной силой тока.

Важно отметить, что выбор конкретных автоматических выключателей также зависит от других факторов, таких как тип и производительность оборудования, требования нормативных документов и рекомендаций, а также конкретные условия эксплуатации.

### **Контрольные вопросы**

1. Понятие электрооборудования зданий.
2. Категории обеспечения надежности электроснабжения.
3. Классификация электрических сетей.
4. Что такое трансформаторные подстанции. Их описание и конструкция.
5. Электроприемники жилых зданий. Описание.
6. Силовые электроприемники. Примеры.
7. Расчетная нагрузка для питающих линий электроснабжения.
8. Система TN-C. Схема подключения дома здания.
9. Трехфазное подключение здания.
10. Что включает в себя электроснабжение здания.
11. Система TN-C-S. Схема подключения дома здания. Отличия подключения современных зданий.

## **Тема 10. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

Обеспечение комфортных тепловых условий в жилых и общественных зданиях в холодное время года является необходимым для повышения производительности труда, укрепления здоровья и улучшения отдыха людей. Однако развитие народного хозяйства сегодня невозможно без осуществления мер по экономии материальных и трудовых ресурсов. Большое внимание уделяется развитию электроэнергетики, которая является ключевой отраслью народного хозяйства.

Однако возможности электроэнергетической промышленности ограничены как в добыче и доставке топлива, так и в развитии генерирующих систем и линий электропередач. Жилые и общественные здания являются одними из крупнейших потребителей электрической и тепловой энергии, и доля электроэнергии в общем энергетическом балансе коммунально-бытового сектора постоянно растет. Это связано, прежде всего, с решением социальных задач, таких как обеспечение труда в домашнем хозяйстве и на предприятиях коммунального хозяйства, сокращение времени, затрачиваемого на хозяйственные дела, и сближение условий жизни городского и сельского населения.

### **10.1. Экономия тепловой энергии**

Нормы технического и строительного проектирования зданий, включая требования к параметрам внутреннего воздуха, удельному тепловыделению, влаго- и газоотдаче, играют важную роль в успешной реализации энергосберегающих технологий в нашей республике. Значительные возможности по экономии топлива заключены в рациональном архитектурно-строительном проектировании новых общественных зданий.

Экономия может быть достигнута через:

- выбор соответствующей формы и ориентации зданий;
- использование объемно-планировочных решений;
- выбор материалов с хорошими теплоизоляционными свойствами для наружных ограждений;
- применение стен и окон с дифференцированными характеристиками по сторонам света;

- установку моторизованных утепленных ставней в жилых домах;
- использование ветроограждающих устройств;
- рациональное размещение, охлаждение и управление искусственным освещением.

Эти меры способствуют снижению потребления энергии и повышению энергоэффективности зданий.

Энергосбережение в жилых зданиях можно разделять на три типа: архитектурно-планировочные, конструктивные решения, инженерные решения (рис. 10.1).

Таблица 10.1 – Энергосбережение жилого здания

Факторы	Мероприятия	Перерасход тепла, %
Архитектурно-планировочные	.Нерациональная конфигурация зданий	8-9
	.Наличие лоджий и эркеров	4-6
	.Увеличение площади световых проемов выше нормативных	4-6
	.Не рациональный выбор рядов остекления световых проемов	2-4
	.Отсутствие тамбуров в лестничных клетках	2-3
	.Отсутствие чердака	3-4
Конструктивные решения	.Пониженная теплозащита ограждающих конструкций	23-32
	.Повышенная воздухопроницаемость ограждающих конструкций	5-7
	.Применение для оконных проемов спаренного переплета вместо отдельного	5-6
Инженерные решения	.Отсутствие автоматического регулирования системы отопления и вентиляции	50-63
	.Отсутствие утилизации вторичных энергоресурсов	8-10
	.отсутствие теплосчетчиков	10-15

Использование различных методов автоматического регулирования, таких как центральное, зональное, пофасадное, поэтажное, местное индивидуальное, программное и прерывистое, а также использова-

ние управляющих ЭВМ с блоками программного и оптимального регулирования энергопотребления, может привести к определенной экономии энергии. Важными резервами экономии тепловой энергии являются тщательный монтаж систем, теплоизоляция, своевременная наладка и соблюдение сроков и состава работ по обслуживанию и ремонту систем и их элементов.

Излишний расход теплоты в зданиях в основном происходит из-за следующих причин:

- недостаточной теплоизоляции ограждающих конструкций по сравнению с расчетными значениями теплопередачи;
- перегрева помещений, особенно в переходные периоды года;
- потерь теплоты через неизолированные трубопроводы;
- незаинтересованности теплоснабжающих организаций в сокращении расхода теплоты;
- повышенного воздухообмена в помещениях нижних этажей.

Важными направлениями экономии энергии на перспективный период являются:

- развитие систем управления энергоустановками с использованием современных средств автоматизации, таких как автоматизированная система управления (АСУ) на базе микро-ЭВМ (электронно-вычислительных машин);
- использование сборного тепла и всех видов вторичных энергетических ресурсов;
- увеличение доли ТЭЦ, обеспечивающих комбинированную выработку электрической и тепловой энергии;
- улучшение теплотехнических характеристик ограждающих конструкций жилых, административных и промышленных зданий;
- совершенствование конструкций источников теплоты и теплотребляющих систем.

Оснащение потребителей тепла средствами контроля и регулирования расхода позволяет сократить затраты энергоресурсов не менее, чем на 10-14%. При учете изменения скорости ветра, эта экономия может достигать до 20%. Применение систем пофасадного регулирования отпуска теплоты на отопление также позволяет снизить расход теплоты на 5-7%. Автоматическое регулирование работы центральных и индивидуальных тепловых пунктов, а также сокращение или ликвида-

ция потерь сетевой воды, позволяет достичь экономии до 10%. С помощью регуляторов и средств оперативного контроля температуры в отапливаемых помещениях можно стабильно поддерживать комфортный режим при одновременном снижении температуры на 1-2 °С. Это позволяет сокращать расход топлива, используемого на отопление, до 10%. Путем интенсификации можно достичь еще большей экономии.

С использованием вентиляторов для теплоотдачи нагревательных приборов можно достичь сокращения расхода тепловой энергии до 20%. Недостаточная теплоизоляция ограждающих конструкций и других элементов зданий приводит к теплопотерям. Интересные испытания эффективности применения теплоизоляции были проведены в Канаде. При использовании полистирола толщиной 5 см для теплоизоляции наружных стен, тепловые потери были снижены на 65%. Теплоизоляция потолка матами из стекловолокна позволила снизить потери тепла на 69%. Затраты на дополнительную теплоизоляцию окупались менее чем за 3 года. Экономия тепла в сравнении с нормативными решениями составляла от 14% до 71% в течение отопительного сезона.

Были разработаны ограждающие строительные конструкции с встроенными аккумуляторами на основе фазового перехода гидратных солей. Теплоемкость аккумулирующего вещества в зоне фазового перехода увеличивается в 4-10 раз. Теплоаккумулирующий материал создан из компонентов с температурой плавления от 5 до 70 °С.

В Германии получили распространение системы аккумулирования тепла в наружных ограждениях зданий с использованием пластмассовых труб с водногликогелевым раствором. Также разработаны мобильные теплоаккумуляторы с заполнением жидкостью с высокой температурой кипения (до 320 °С). Потери тепла в этих аккумуляторах относительно невелики.

Одним из способов экономии тепловой и электрической энергии в системах теплоснабжения зданий является разработка и применение прогрессивных норм расхода тепловой и электрической энергии, которые позволяют осуществлять режим экономии и наиболее эффективно использовать энергию. Также важно организовать действенный учет отпуска и потребления тепла, оптимизировать эксплуатационные режимы тепловых сетей и внедрить мероприятия по ликвидации производительных тепловых потерь и утечек в сетях.

Для повышения термического сопротивления ограждающих конструкций зданий можно использовать бетон низкой плотности с наполнителями типа перлита или других легких материалов. Это позволяет увеличить термическое сопротивление в 4-8 раз.

Одним из перспективных направлений является создание комбинированных теплоаккумуляторных систем отопления на базе электроэнергии, вырабатываемой в энергосистеме в ночное время. Такие системы позволяют более полно использовать установленную мощность генерирующих установок и максимально вытеснять органическое топливо из топливно-энергетического баланса экономического района. Комбинированная система позволяет покрывать базовую нагрузку за счет провальной электроэнергии и пиковую нагрузку за счет котельной на органическом топливе, используемой в качестве доводчика.

Таким образом, основными направлениями работ по экономии тепловой и электрической энергии в системах теплоснабжения зданий являются разработка и применение прогрессивных норм расхода энергии, организация учета тепла, оптимизация эксплуатационных режимов тепловых сетей и ликвидация непроизводительных тепловых потерь и утечек в сетях.

## 10.2. Экономия электрической энергии

Основные рекомендации по экономичному использованию осветительных приборов. Значения обозначают процентный показатель экономии энергии.

При пользовании осветительными приборами:

- своевременно выключенный свет, при неиспользовании или отсутствии людей в помещении (15%);
- использование необходимого количества осветительных приборов высокой в отношении приборов с низкой мощностью, например ламп накаливания 100 вместо 40 Вт (1%);
- своевременное отключение и демонтаж мигающих люминесцентные лампы (1%);
- включение нескольких электроприемников от разных пусковых устройств (2%);
- загрязнение осветительных приборов влияет на затрату электроэнергии (1%);



– внутренние поверхности стен и потолков с низкой отражающей способностью (2%).

### **Контрольные вопросы**

1. Предпосылки для энергосбережения тепловой и электрической энергии.
2. Меры, применяемые для энергосбережения тепловой энергии здания.
3. Типы решений энергосбережения.
4. Методы экономии энергии.
5. Причины расхода тепла в зданиях.
6. Важными направлениями экономии энергии на перспективу.
7. Сокращение затрат на тепло. Возможные меры и их результат применения.
8. Современные методы энергосбережения.
9. Экономия электроэнергии. Основные рекомендации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебно-практическое пособие по дисциплине «Инженерные сети» содержит обзор основных аспектов проектирования, установки и обслуживания инженерных систем в здании.

Изучение представленного материала предусматривает ознакомление с широким спектром тем, охватывающих следующие разделы:

- «Микроклимат помещений» – рассмотрены основные параметры режимов микроклимата, их определение;

- «Отопление» – проанализированы принципы работы систем отопления, выбор оборудования, а также методы повышения энергоэффективности отопительных систем;

- «Вентиляция» – изучены основные типы систем вентиляции, принципы работы вентиляционного оборудования, воздействие на качество воздуха в помещениях и методы обеспечения оптимальных и допустимых параметров воздуха;

- «Водоснабжение» – описаны принципы организации водоснабжения населенных мест и зданий, выбор материалов для трубопроводов, технологии очистки и подготовки воды;

- «Водоотведение и канализация» – изучены схемы водоотведения, принципы их проектирования, выбор материалов для канализационных труб, методы очистки сточных вод, а также методы проектирования;

- «Газоснабжение» – рассмотрены схемы газоснабжения населенных мест, безопасность использования газа, установка газового оборудования и меры предотвращения аварийных ситуаций;

- «Электроснабжение» – представлены основные принципы электроснабжения зданий, выбор и установка электрооборудования, безопасность работы с электричеством и меры по снижению энергопотребления;

- «Вертикальный транспорт» – рассмотрены основные виды вертикального транспорта, используемого в зданиях, требования к нему и расчет основных параметров;

- «Энергоэффективность зданий» – рассмотрены методы повышения энергоэффективности зданий, включая улучшение теплоизоляции, использование энергосберегающих технологий и систем управления энергопотреблением.

Учебно-практическое пособие позволяет подготовить квалифицированных специалистов, способных в рамках полученных компетенций успешно обеспечивать необходимые требования для эффективной работы систем зданий и их осознанное проектирование.

Нельзя не подчеркнуть, что инженерные системы играют ключевую роль в обеспечении устойчивого развития различных сфер экономики и повышении энергетической эффективности Российской Федерации. Эти системы не только гарантируют комфорт и безопасность в зданиях, но и значительно влияют на энергопотребление, экологическую устойчивость и экономическую эффективность.

Применение современных технологий в проектировании, установке и эксплуатации инженерных систем позволяет значительно снизить энергопотребление зданий, улучшить качество окружающей среды и снизить затраты на обслуживание. Поэтому развитие инженерных систем – стратегическое направление для устойчивого развития экономики и повышения энергетической эффективности страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Основная литература*

1. Богословский В. Н., Сканави А. Н. Отопление: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 468 с.
2. Богословский В. Н. Отопление: Учеб. для вузов. - М.: Стройиздат, 1993. – 745 с.
3. Внутренние санитарно-технические устройства: Справ. Проектировщика. В 3 ч. Ч.1. Отопление / под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера – М.: Стройиздат, 1990. – 343 с.
4. Зеликов В.В. Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 624 с.

### *Дополнительная литература*

5. Архитектурно-строительное проектирование. Проектирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования зданий, сооружений, сооружений: сб. нормативных актов и документов. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2015. – 452 с.
6. Будасов Б. В., Кашинский В.П. Строительное черчение. - М.: Стройиздат, 1990. – 457 с.
7. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: учебник. – М.: Инфра-М, 2013. – 480 с.
8. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. – М.: АСВ, 2013. – 260 с.
9. Крупнов Б.А., Крупнов Д.Б. Отопительные приборы, производимые в России и ближнем зарубежье: учеб. пособие. – М.: АСВ, 2015. – 176 с.
10. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Основы централизованного теплоснабжения: учеб. пособие. – М.: Инфра-М, 2015. – 176 с.
11. Махов Л.М. Отопление: учебник. – М.: АСВ. 2014. – 400 с.
12. Минко В.А., Подпоринов Б.Ф., Семиненко А.С. Комплексное проектирование установок центрального водяного отопления зданий жилищно-гражданского назначения: учеб. пособие. – Белгород: БелГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – 179 с.
13. Отопление: учебник / В.И. Полушкин [и др.]. – М.: Академия, 2010. – 248 с.

14. Раяк М.Б. Развитие зарубежных и отечественных систем отопления и вентиляции гражданских и производственных зданий: практ. пособие. – М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 183 с.
15. Сибикин Ю.Д. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учеб. пособие. – М.: Академия, 2013. – 331 с.
16. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление: учебник. – М.: АСВ, 2008. – 576 с.
17. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник. – М.: МЭИ, 2009. – 472 с.
18. Строительный каталог СК-8 «Инженерное оборудование зданий и сооружений», Раз. 86 «Оборудование насосное для санитарно-технических систем и котельных установок. Насосы центробежные типов К, КМ, 1ЦВЦ». – М.: Госстрой СССР, Сантехник проект, 1992. – 72с.
19. Строительство, реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства. Инженерное оборудование зданий и сооружений и внешние сети. Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: сб. нормативных актов и документов. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2015. – 379 с.
20. Тихомиров К. В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1989. – 480 с.
21. Фокин С.В., Шпортко О.Н. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: устройство, монтаж и эксплуатация: учеб. пособие. – М.: Инфра-М, 2011. – 367 с.
22. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Бояршинова А.Н. Проектирование систем вентиляции и отопления: учеб. пособие. – СПб: Лань, 2014. – 332 с.

#### *Рекомендуемые нормативные документы*

23. ГОСТ 21.602-79 «Система проектной документации для строительства. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Рабочие чертежи»
24. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»
25. ГОСТ Р 52941-2008 «Лифты пассажирские»

26. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» СНиП 23-01-99\* (с Изменениями № 1, 2)

27. СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» СНиП 2.04.01-85\* (с Изменениями № 1, 2)

28. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция» СНиП 23-02-2003 (с Изменениями № 1, 2)

29. СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные»

30. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» СНиП 41-01-2003 (с Изменениями № 1, 2)

31. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» СНиП 41-01-2003 (с Изменениями № 1, 2)

#### *Периодические издания*

32. «АВОК».

33. «Инженерные системы».

34. «Сантехника. Отопление. Кондиционирование».

35. «Технологии интеллектуального строительства»

*Учебное электронное издание*

МАРКОВ Никита Алексеевич

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

Учебно-практическое пособие

*Издается в авторской редакции*

**Системные требования:** Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10;  
Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

**Тираж 25 экз.**

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Изд-во ВлГУ  
rio.vlgu@yandex.ru

Институт архитектуры, строительства и энергетики  
кафедра теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики  
markov@laser33.ru