Библиотека СОК



рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды». В соответствии с этим разработке мероприятий по инженерной подготовке, благоустройству территорий и других должно предшествовать тщательное изучение природных условий местности, после чего на основе всестороннего анализа могут быть приняты научно обоснованные и комплексные решения, направленные на улучшение внешнего облика населенных мест, создание благоприятных условий для труда, быта и отдыха населения. При составлении учебника автор руководствовался тем, что студенты уже знакомы с такими отраслевыми дисциплинами, как геодезия, основы архитектурного проектирования и транспорт, строительные машины и др., поэтому материалы по смежным дисциплинам изложены в учебнике лишь в общем виде.

Данный учебник может также служить хорошим подспорьем и в дальнейшей практической деятельности.

*Раздел I*

# ИНЖЕНЕРНОЕ БЛАГОУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

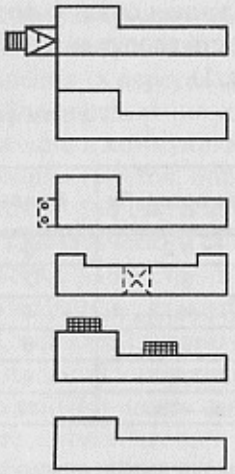
## *Глава 1.* ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

### 1.1. Влияние местных условий на выбор территорий для населенных мест

**Природные факторы** оказывают первостепенное влияние на градостроительное проектирование и определяют решение архитектурно-планировочных задач. Поэтому необходимо тщательное изучение климатических, топографических, геологических и гидрологических условий местности, материалов гидрографических и геоморфологических исследований, характеристик почв и растительности, а также данных о наличии местных строительных материалов, ресурсов питьевой воды, энергоресурсов. Данные, характеризующие природные условия местности, служат исходным материалом при разработке мероприятий по инженерной подготовке, застройке и благоустройству населенных мест или отдельных участков их территорий.

**Данные о климатических условиях** необходимы для установления высотного расположения населенных мест, их размещения по отношению к водным бассейнам и зеленым массивам, определения расстояния от жилых районов до промышленных предприятий с различной степенью санитарной вредности, планировки сети улиц,

## Здания



Жилое каменное строение со ступеньками и крыльцом

Деревянное строение

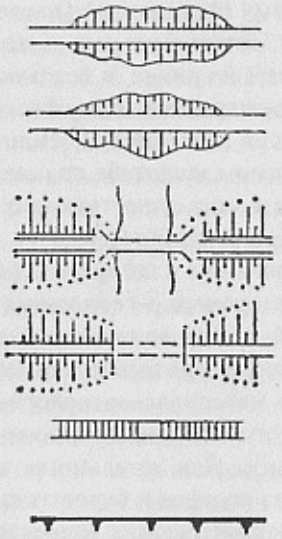
Каменное строение, балкон на столбах

Арка-проезд

Иллюминаторы

Жилое смешанное строение

## Дорожные сооружения



Насыпь

Выемка

Мост

Тоннель

Лестница для подъема

Подпорная стенка

**Рис. 1.** Условные обозначения искусственных сооружений на геодезических картах в планах



## Наземное оборудование



Водоразборная колонка

Водосточные решетки

Смотровой колодец

Трамвайные мачты

Фермовые столбы

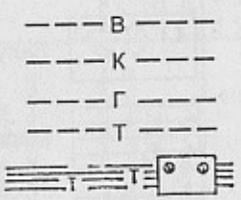
Светильник

Дерево

Трансформаторная будка

Мачта линии высокого напряжения

## Подземные сети




Водопровод

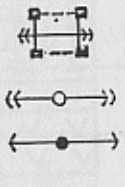
Канализация

Газопровод

Теплосеть

Проходной канал и тоннель

## Линии электропередач

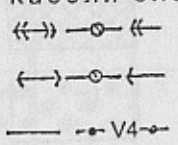


Высокого напряжения на металлических фермах

Высокого напряжения на столбах

Низкого напряжения на столбах

## Кабели электропередач




Высокого напряжения смотровые колодцы

Низкого напряжения смотровые колодцы

Подземные кабельные линии связи (v4 — число прокладок)

**Рис. 1.** Окончание

Результаты исследований грунта изображают общепринятыми условными обозначениями (рис. 2) на геологических разрезах (табл. 2), а при проектировании улиц и дорог на продольном профиле с указанием нумерации скважин (рис. 3).

Для решения вопросов инженерной подготовки территории наряду с геологическими данными используют материалы, характеризующие ее литологию. *Литология* — отрасль геологии, изучающая горные породы с точки зрения их состава, структуры, физико-химических свойств, условий образования и процессов изменения. Эти исследования позволяют выявить пригодные, малопригодные




**Рис. 2.** Условные обозначения грунтов на геологических разрезах



Таблица 2

**Данные геологического разреза по буровой скважине**

| Абсолютная отметка подошвы слоя, м | Глубина залегания, м: от | Глубина залегания, м: до | Мощность слоя, м | Литологическая характеристика пород | Разрез | Состояние пород | Уровень: подвижный | Уровень: установившийся |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 147,62 | 0 | 0,4 | 0,4 | Насыпной слой различных грунтов с включением кирпичного щебня | | Сухой средней плотности | | |
| 146,42 | 0,4 | 1,6 | 1,2 | Песок мелкозернистый с включением гравия и щебня | | Водонасыщенный средней плотности | 1 | 9 |
| 144,02 | 1,6 | 4 | 2,4 | Песок мелкозернистый с глинистыми включениями | | То же | — | — |
| — | 4 | — | — | Суглинок тяжелый | | Твердый | — | — |

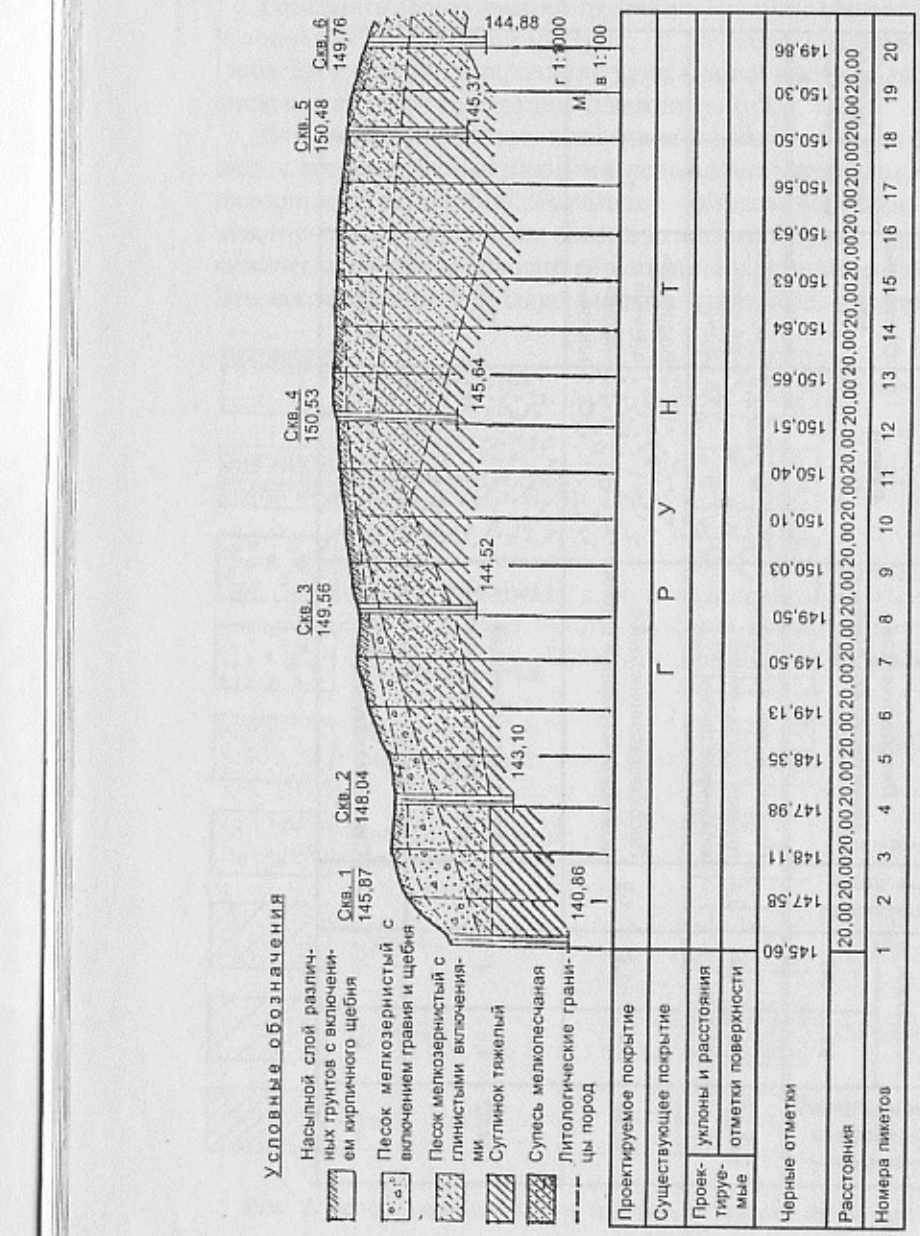



**Рис. 3.** Продольный профиль дороги с геологическим разрезом



(требующие улучшения) и не пригодные для застройки участки территории.

**Гидрогеологические изыскания** определяют характер залегания, минерализации и режим грунтовых (подземных) вод, которые во многих случаях отрицательно влияют на устойчивость грунтов, а следовательно, и на устойчивость возводимых на них сооружений.

Грунтовые воды могут содержать различные вредные примеси и разрушительно действовать на подземные части сооружений. При высоком уровне стояния грунтовых вод ухудшаются условия строительства, требуется проведение мероприятий по понижению их уровня, что ведет к удорожанию строительства. Переувлажнение грунтов приводит также к ухудшению санитарно-гигиенических условий населенных мест. В условиях переувлажненности верхних слоев грунта и замерзания вод в зимних условиях может происходить пучинообразование, т. е. неравномерное поднятие грунтов, особенно пылеватых и глинистых. При оттаивании образовавшихся в грунте ледяных прослоек (линз) возможно продавливание грунтов под нагрузкой, приводящее к разрушению расположенных на нем сооружений, а также дорожных покрытий. Данные геологических и гидрогеологических изысканий фиксируют в таблицах, тексте, на планах местности с применением условных обозначений (рис. 4).

Для определения условий водоснабжения населенных мест с использованием грунтовых вод производят специальные гидрогеологические изыскания. При использовании грунтовых вод для нужд населения через артезианские скважины либо колодцы необходимо определить качество воды, дебит и глубину залегания. При этом устанавливают источники образования грунтовых вод (ключи или просачивающиеся в грунт атмосферные осадки — процесс инфильтрации). В результате изысканий на местности составляют гидрогеологическую карту с указанием глубины расположения грунтовых вод (с помощью гидроизогипс-линий их горизонтов). Указывают характер изменения глубины залегания грунтовых вод в различные сезонные периоды года.

**Гидрографические исследования** проводят для получения общих характеристик и режимов рек, озер и других водоемов, а также болот и плавней.

## Гидрография и рельеф

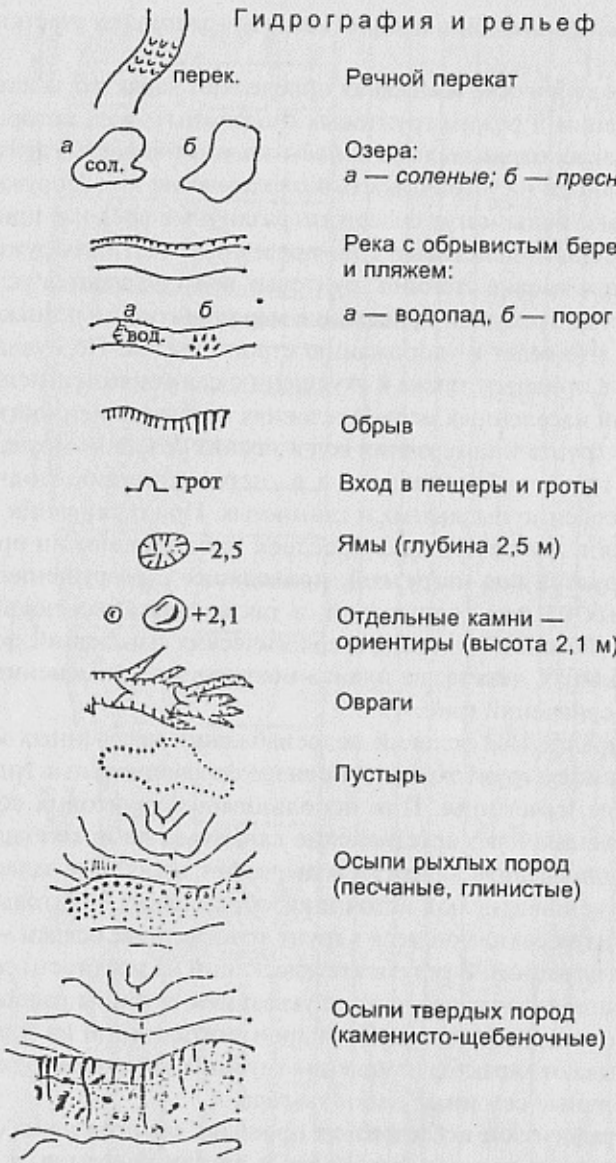



**Рис. 4.** Условные обозначения на планах, характеризующие геологическое строение территории



## Грунты и растительность

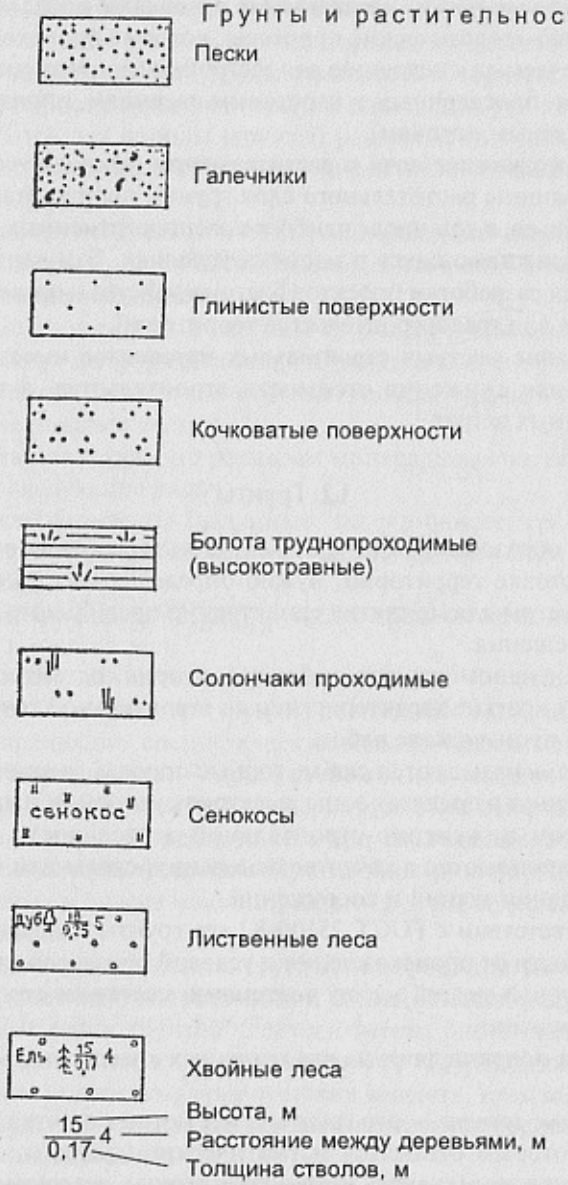



**Рис. 4.** Окончание

**Геоморфологические исследования** позволяют определить рельеф и физико-геологические процессы, которые происходят в районах, намечаемых к освоению для застройки (подверженность сейсмическим, просадочным и карстовым явлениям, оползням, подмывам, селевым потокам).

В **характеристике почв и растительности** приводят сведения о почвах, толщине растительного слоя грунта, произрастающих породах деревьев, в том числе наиболее распространенных и лучшим образом приживающихся в местных условиях. Эти данные необходимы для разработки проектов благоустройства и озеленения осваиваемых для градостроительства территорий.

**Изыскание местных строительных материалов** имеет большое значение для снижения стоимости строительства, в том числе транспортных затрат.

## 1.2. Грунты

Таким образом, прежде чем приступать к работам по инженерной подготовке территории, нужно определить все вышеуказанные параметры для принятия единственно правильного и обоснованного решения.

Вкратце напомним, что любая территория состоит из грунтов, и дадим их краткие характеристики со строительной точки зрения и условий производства работ.

*Грунтами* называются любые горные породы, залегающие преимущественно в пределах зоны выветривания земли и являющиеся объектом инженерно-строительной деятельности человека. Грунты используются в качестве основания, среды или материала для возведения зданий и сооружений.

В соответствии с ГОСТ 25100-82 все грунты классифицируют в зависимости от происхождения и условий образования, характера структурных связей между частицами, состава и строительных свойств грунтов.

Грунты подразделяют на два основных класса: скальные и нескальные.

*Скальные грунты* — это грунты с жесткими структурными связями, к которым относятся магматические (граниты, диориты), метаморфические (гнейсы, кварциты, сланцы), осадочные сцементированные (песчаники, конгломераты) и искусственные.



*Нескальные грунты* — это грунты без жестких структурных связей. К ним относят рыхлые горные породы, включающие несвязные (сыпучие) и связные породы, прочность которых во много раз меньше прочности связей минералов, слагающих эти породы. Характеризуются эти породы (грунты) раздробленностью, дисперсностью, что коренным образом отличает их от скальных весьма прочных пород.

В состав грунтов входят твердые минеральные частицы, вода в различных видах и состояниях и газообразные включения, а иногда и органические соединения.

Твердые минеральные частицы грунта представляют систему разнообразных по форме, составу и размерам зерен. Размеры зерен колеблются от десятков сантиметров для валунов и до мельчайших коллоидных частиц.

Нескальные грунты по размерам минеральных частиц подразделяют на следующие виды:

- *крупнообломочные* (валунные, галечниковые, гравийные и щебенистые) с содержанием частиц крупнее 2 мм > 50% по массе;
- *песчаные* (гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые);
- *пылевато-глинистые* (супеси, суглинки и глины). Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять грунты, проявляющие специфические неблагоприятные свойства при замачивании, — просадочные и набухающие.

К *просадочным* относятся грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании водой дают осадку, называемую *просадкой*. Просадочными свойствами обладают лёссовые и другие макропористые грунты, содержащие карбонаты кальция.

К *набухающим* относятся грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме.

К *особым видам* грунтов следует отнести биогенные грунты, плывуны, растительные и мерзлые грунты. Грунты, содержащие значительное количество органических веществ, называются *биогенными*. К ним относятся заторфованные грунты, торфы и сапропелы (пресноводные илы).

*Ил* — водонасыщенный современный осадок водоемов, образовавшийся в результате протекания микробиологических процес-

31870
БИБЛИОТЕКА
ЛЫСЬВЕНСКОГО ФИЛИАЛА
государственного образовательного
учреждения
высшего профессионального образования
"ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

сов, имеющий влажность, превышающую влажность на границе текучести.

*Плывуны* — это грунты, которые при вскрытии приходят в движение подобно вязко текучему телу, встречаются среди водонасыщенных мелкозернистых пылеватых песков.

*Почвы* или *растительные грунты* — это природные образования, слагающие поверхностный слой земной коры и обладающие плодородием.

К *нескальным искусственным грунтам* относятся грунты, уплотненные различными методами (трамбованием, укаткой, виброуплотнением, взрывами, осушением), насыпные и намывные.

## 1.3. Мероприятия по охране окружающей среды

Активное воздействие строителей на природную окружающую среду объясняется в первую очередь тем, что все возводимые здания и сооружения непосредственно взаимодействуют со многими элементами природной среды. Для обеспечения этого взаимодействия приходится в той или иной мере прибегать к нарушению сложившейся природной обстановки.

При возведении подземной части зданий и сооружений в первую очередь нарушаются природные условия, поэтому при проектировании зданий и сооружений, а также методов их возведения необходимо прогнозировать возможные изменения окружающей природной среды и разрабатывать необходимые меры защиты и сохранения природы.

Характер нарушения природной окружающей среды при возведении подземной части зданий и сооружений разнообразен, при этом на этот характер существенное влияние оказывает вид выполняемых работ (рис. 5).

Разрушение природного рельефа связано с выполнением земляных и водопонизительных работ, а также с другими работами по устройству оснований и фундаментов. Нарушение природного рельефа проявляется в виде оползней, обвалов, обрушений, провалов, эрозии, оседания местности.

Наиболее опасной считается водная эрозия, при которой смывается верхний слой земли талыми и дождевыми водами, уничтожаются растительность, леса, особенно на склонах гор и речных



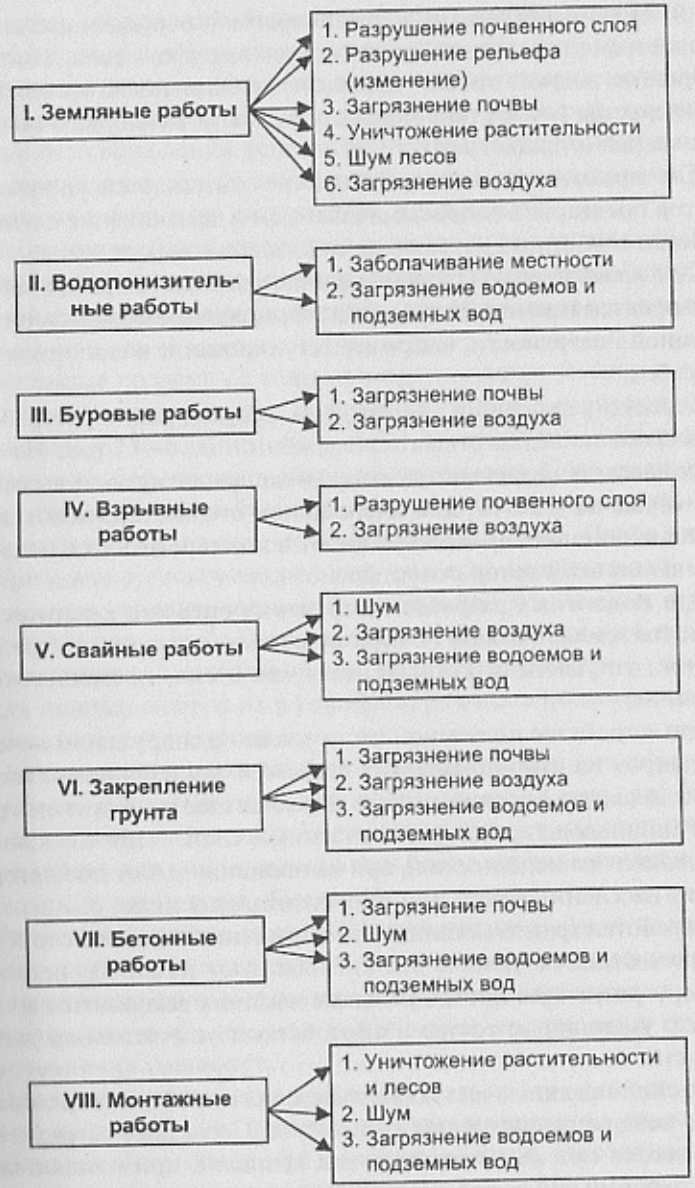



Рис. 5. Характер нарушения природной окружающей среды

долин, что способствует развитию оврагов и обрушению склонов. Распространению эрозии способствует вырубка лесов. Иногда к ускорению водной эрозии приводят неправильная организация строительства (отсутствие подъездных и внутриплощадочных дорог с твердым покрытием).

Для предотвращения оползней не допускается уплотнение грунтов предварительным замачиванием и замачивание с использованием глубинных взрывов на оползнеопасных склонах.

При производстве крупных водопонизительных работ необходимо предусматривать меры, предотвращающие сдвижки и осадки земной поверхности, например регулирование водопонизительных работ.

Нередко территории, на которых ведутся земляные работы, превышают площадь открытых выработок в 10—15 раз. На площадях навсегда разрушаются природные ландшафты, и восстановить их уже не удается. Для уменьшения этих потерь необходимо заранее обосновать проведение работ и планировать их с большой тщательностью и осторожностью.

При подземных разработках грунта происходит оседание поверхности земли, что ведет к образованию на поверхности трещин, воронок, углублений, которые, не имея стока, превращаются в болота.

При устройстве подземной части зданий и сооружений почвенный покров на стройплощадках срезается землеройными машинами и зачастую перемещается и перемешивается с другим грунтом. Рационально срезанный почвенный слой следует сохранять и в дальнейшем использовать при выполнении работ по благоустройству населенных мест или рекультивации земель.

Разработка грунта машинами и нарушение верхнего слоя земли передвижением транспорта способствуют развитию ветровой эрозии, в результате которой мелкие частицы выдуваются из почвы, что ухудшает ее состав и способствует уничтожению растительности.

Стройплощадки зачастую являются источниками загрязнения почвы, поверхностных и подземных вод. Серьезные загрязнения наблюдаются при рытье котлованов, траншей, при изыскательских и буровзрывных работах, закреплении оснований, намыве грунта земснарядами, при прокладке коммуникаций, возведении



подземных сооружений, бетонных работах, смыве загрязнений со стройплощадок и образовании свалок строительного мусора.

Транспортировка и хранение ряда строительных материалов (цемент, гипс, раствор, бетон, химические растворы), осуществляемые без соблюдения установленных технических требований, часто приводят к загрязнению поверхности, почвы, дорог и последующему смыву этих загрязнений в водоемы.

Неблагоприятное воздействие на состояние водных бассейнов оказывают буровзрывные работы, намыв грунта, устройство котлованов, смыв поверхностных вод со стройплощадок в водные бассейны.

Вскрытые подземные воды при производстве земляных работ, излившись на поверхность, распространяются в горизонтальном положении (направлении), заполняют пониженные места рельефа и образуют заболоченные участки и солончаки. Соль поднимается ветрами, загрязняет большие территории сельхозугодий. Происходит нарушение водно-солевого баланса почв. Наиболее эффективен для регулирования водно-солевого баланса почв глубокий дренаж, обеспечивающий стабильное понижение уровня подземных вод. Необходимо отметить, что дренажные воды во многих случаях содержат большое количество солей и не пригодны для полива, а сброс их в реки может создать неблагоприятные условия для их обитателей.

Иногда для производства работ приходится осушать заболоченные земли. В таких случаях необходимо иметь в виду, что болота играют роль аккумуляторов влаги, регулируя речной сток (например, в случае полного осушения всех болот вся вода сойдет весной в паводок, и летом реки обмелеют).

Ряд машин, работающих на устройстве подземной части зданий и сооружений, имеет двигатели внутреннего сгорания, которые загрязняют воздух выхлопными газами. Загрязняется воздух также при термическом или химическом закреплении грунтов, приготовлении растворов.

Для снижения вредных выбросов в атмосферу существует необходимость широкого перевода на электропривод компрессоров, грузоподъемных механизмов и машин, насосов, сваебойных агрегатов, экскаваторов и других машин.

Особое внимание следует обратить на необходимость снижения объема земляных работ в черте города, так как перевозка грунта связана с загрязнением воздуха выхлопными газами и пылью.

Серьезная проблема городов — шум, который наносит вред человеку и природе. Источниками шума на стройплощадке являются транспортные средства и строительная техника, в особенности сваебойные агрегаты.

В комплексе мероприятий по охране природной окружающей среды не последнее место занимает использование в строительстве промышленных отходов. Особенно широкое применение при устройстве оснований находят шлаки — побочные продукты, получаемые при плавке металлов. Зола может быть использована в качестве вяжущего компонента для укрепления грунтов.

Необходимо иметь в виду, что важнейшая задача строителей — не только сохранение природных ландшафтов и сельхозугодий, но и восстановление их путем рекультивации ранее использованных промышленностью и строителями земель.

Под рекультивацией понимается комплекс инженерных и мелиоративных работ, направленных на восстановление продуктивности нарушенных территорий и возвращение их в сельскохозяйственный оборот или другие виды использования. Методы рекультивации использованных земель включают засыпку выработок отвальными породами и грунтом, восстановление растительного слоя и насаждений.

## 1.4. Особые условия инженерной подготовки территорий

Стихийные бедствия: оползни, карстовые образования, селевые потоки, землетрясения — наносят большой материальный ущерб. На пути движения они разрушают постройки, дороги, уничтожают сельхозугодия. Разрушительное действие перемещающихся земляных масс при образовании оползней или селевых потоков распространяется далеко за пределы области их возникновения (конус выноса). Участки территории, подверженные этим явлениям, люди никогда не заселяли. Однако карсты, оползни, обвалы часто возникали на потенциально опасных участках после их заселения в результате неправильной хозяйственной деятельности человека. Обвалы, оползни, селевые потоки также возникают на



территориях, расположенных в сейсмических районах во время землетрясений.

Опасные участки устанавливают в натуре по следам оставшихся разрушений и уточняют по опросу местного населения, постоянно проживающего в этих условиях.

***Оползни***

Оползнями называют перемещения земляных масс на склонах, возникающие под действием силы тяжести в результате нарушения равновесия земляных масс. По объему пришедших в движение земляных масс и глубине их захвата оползни разделяют на оплывины, осовы и собственно оползни.

*Оплывины* — движение земляных масс, захватывающих небольшой верхний слой почвы крутых откосов, сложенных из глинистых пород (побережье Азовского моря: Чумбур-коса, Круглое, Семибалки).

*Осовы* — движение по склону отложившихся разрушенных пород в результате их сильного переувлажнения.

*Собственно оползни* — перемещение больших объемов земляных масс, захватываемых на большую глубину. Оползни возникают на откосах берегов рек, морей, оврагов и горных склонах.

При небольшой глубине смещения земли оползневые накопления имеют вид неровной бугристой поверхности, при больших смещениях рельефа поверхности оползни носят более спокойный характер. Деревья, расположенные на оползневых склонах, имеют наклонное положение или дугообразное искривление у комлевой части («пьяный лес») и характеризуют этот склон как оползневый.

Не следует на склонах и верхней бровке откосов складывать строительные и другие тяжелые материалы, а также размещать монументальные массивные сооружения. При выполнении планировочных работ нельзя срезать у подошвы оползневого склона большие массы грунта, которые являются естественным упором (контрфорсом).

Изменение сложившихся условий на оползневом склоне может привести к возникновению оползня. Во избежание динамических нагрузок и сотрясений склонов нельзя строить автомобильные дороги для движения грузового транспорта по верхней бровке откоса.

выявленной границы закарстованной территории во избежание возможных просадок и провалов дороги.

***Сели***

Селями называют горные потоки, насыщенные большим количеством обломочных материалов и рыхлых пород (грязевые потоки). Селевые потоки появляются внезапно, они имеют большую разрушительную силу и сносят все на своем пути: транспортные сооружения, дороги, строения, дома, другие встретившиеся препятствия, увлекают их за собой, тем самым еще более увеличивая свою разрушительную силу. В долинах погребенными под слоем камней и грязи остаются возделанные сельхозугодия и селения. Сели встречаются почти во всех горных районах страны. Селевой поток формируется в верхней области горной реки в результате выпадения ливня на крутые участки склона, образующего потоки воды, имеющие большую скорость движения. Кроме того, при интенсивном таянии снега, накопившегося в горах, вода заполняет пониженные места, образовавшиеся среди каменных завалов, и когда устойчивость завалов оказывается недостаточной, разрушает их. В этот момент происходит сброс накопившейся воды в долину по руслу реки.

В зависимости от количества и состава несомого материала селевые потоки разделяют на водокаменные, грязевые и грязекаменные. *Водокаменные* потоки образуются на слаборазрушенных горных склонах, на которых накопились обломочные породы. *Грязевые* потоки формируются на склонах, покрытых большим количеством рыхлых песчано-глинистых пород, а *грязекаменные* потоки — при наличии на склонах в достаточном количестве и тех и других материалов. Такие потоки обладают наибольшей разрушительной силой.

Разрушительная сила селевых потоков характеризуется объемом наносов за период одного селевого паводка, который зависит от размеров водосборной площади бассейна и измеряется в тыс. $м^3$, отнесенных на 1 $км^2$.

Комплекс защитных мероприятий составляют агроселемелиоративные работы, которые проводят для уменьшения размеров образующегося селевого потока, а также строительство специальных защитных инженерных сооружений для борьбы с уже сформировавшимся потоком. Большое значение имеет сохранение травяного покрова, кустарников и деревьев, растущих в пределах селеопасного бассейна стока.



Для снижения скорости движения потоков создают искусственные препятствия, устраивая поперечные борозды на горных склонах и выполняя террасирование склонов. Строят защитные сооружения — плотины, запруды, дамбы, аккумулирующие емкости.

В местах пересечения селевых потоков с оросительными каналами, дорогами, сельхозугодьями устраивают селеотводные желоба типа акведуков для перепуска потока воды и грязи на противоположную сторону защищаемого сооружения и обеспечения дальнейшего движения потока к месту образования конуса выноса.

***Сейсмические явления***

В результате действия внутренних сил Земли возникают движения земной коры, которые сопровождаются упругими колебаниями, вызывающими сейсмические явления — *землетрясения*. Они постоянно наблюдаются в горных районах Восточного и Западного полушария. В равнинных условиях землетрясения или совсем не наблюдаются, или очень редки и сила их составляет 1—3 балла. Области, подверженные частым землетрясениям, называют *сейсмическими*.

По происхождению землетрясения бывают *тектоническими*, т. е. связанными с горообразовательной деятельностью (90%) , *вулканическими* и *обвальными*, возникающими при обрушении пустот, появившихся при образовании карста. Очаг возникновения землетрясения называют *гипоцентром*. Точку на земной поверхности, расположенную над центром очага возникновения землетрясения, называют *эпицентром*.

Прежде всего и наиболее сильно сотрясение земной поверхности происходит в эпицентре. От одного и того же удара возникает сотрясательное и волнообразное движение.

Скорость распространения сейсмических волн в горных породах изменяется в зависимости от возраста пород. Кроме того, в плотных породах землетрясения распространяются быстрее и захватывают большие пространства. При этом разрушения зданий менее значительны, чем на рыхлых породах. В рыхлых породах,

слабо сцепленных между собой каменных массах землетрясения распространяются слабее, но в то же время являются наиболее разрушительными. На равнинных участках при прочих равных условиях сила сотрясения будет меньше, чем на участках поверхности со сложным рельефом.

Сила землетрясений в нашей стране измеряется по 12-балльной шкале. При силе до 5 баллов нет заметного ущерба зданиям и сооружениям.

При проектировании и застройке территории в сейсмических районах, в которых сила землетрясений достигает 6–9 баллов, следует руководствоваться соответствующими СНиПами, применять монолитные железобетонные пояса, монолитные железобетонные обрамления дверных и оконных проемов и другие конструкции. На территориях, сейсмичность которых превышает 9 баллов, возводить здания не допускается.

При застройке сейсмоопасных территорий следует избегать строительства зданий, имеющих большую длину и сложные очертания, нужен компактный план, приближенный к квадрату.

Внешние транспортные связи дублируют, при этом дублеры располагают на значительном расстоянии один от другого. Ширину улиц намечают с учетом этажности зданий, но не уже трехчетырехкратной высоты зданий. Перекрестки магистралей общественного транспорта выполняют в виде небольших площадей во избежание образования завалов на проезжей части улиц при возможном обрушении зданий и приостановлении движения городского транспорта.

Конструкции зданий и других сооружений выполняют из монолитного железобетона с жесткими связями. Деревянные конструкции более пригодны, чем кирпич, который не может противостоять сдвигающим и растягивающим усилиям, возникающим в момент землетрясения.

## 1.5. Выбор пригодных территорий

На выбор территории для размещения населенных мест оказывают влияние различные факторы, недоучет которых может привести к значительному удорожанию строительства или неблагоприятным условиям проживания в них.



Важнейшим фактором являются природные условия, предопределяющие рациональность проектных решений. От характера природных условий зависит объем мероприятий по инженерной подготовке территорий для размещения различных объектов городского строительства (промышленность, жилье, места отдыха и спортивных занятий и т. д.).

По природным и санитарным условиям территории, подлежащие использованию в градостроительных целях, подразделяют на *благоприятные, неблагоприятные* и *особо неблагоприятные* категории. Отнесение территории к той или иной категории зависит от характера рельефа местности, сопротивления грунтов сжатию, гидрогеологических условий, степени затопляемости, наличия заболачиваемости, оврагов, оползневых и карстовых явлений, характера почвы, условий проветривания и инсоляции, размыва берегов рек и водоемов (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика природных условий территории по степени благоприятности их использования для жилищного строительства**

| Природные факторы | Природные условия | | |
|---|---|---|---|
| | благоприятные | неблагоприятные | особо неблагоприятные |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Грунты | Пески, супеси, суглинки | Тяжелые суглинки, глины | Просадочные грунты, плывуны |
| Сопротивление их сжатию, МПа | Более 0,15 | 0,1—0,15 | Менее 0,1 |
| Овраги: | | | |
| подверженность развитию | Неразвивающиеся | Неразвивающиеся или слабо развивающиеся | Развивающиеся (действующие или растущие) или стабилизировавшиеся |
| крутизна склонов | Пологие | Крутые | Крутые |
| глубина оврагов, м | Менее 3 | 3—10 | Свыше 10 |
| Заболоченность — торфяники мощностью слоя, м | Заболоченность отсутствует | Менее 2 | Более 2 |

Окончание табл. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Затопляемость и степень повторяемости | Незатопляемые или затопляемые не чаще, чем 1 раз в 100 лет (обеспеченность 1%) | Затопляемые 1 раз в 100 лет и 1 раз в 25 лет с наивысшим горизонтом высоких вод не более 0,6 м над уровнем земли | Затопляемые 1 раз в 25 лет и чаще с катастрофическими последствиями |
| Размыв берегов — зона их переработки по ширине, м | Размыв отсутствует | Менее 10 | Более 10 |
| Оползни — наличие оползневых склонов | Оползней нет | Отдельные оползневые склоны | Многочисленные или сплошные оползневые склоны |
| Карсты — наличие воронок | Карстовые явления отсутствуют | Отдельные карстовые воронки | Значительное число глубоких карстовых воронок |

## 1.6. Основные планировки населенных мест

В соответствии с проектной численностью населения города и другие населенные пункты подразделяют на несколько групп:

1) *Города* с населением (тыс. чел.):
   сверхкрупные — более 3000;
   крупнейшие — >1000;
   крупные — 250—500;
   большие — 100—250;
   средние — 50—100;
   малые — до 50.
2) *Поселки:*
   крупные — более 10;
   большие — 5—10;
   средние — 3—5;
   малые — до 3.



3) *Сельские населенные пункты:*
   крупные — более 5;
   большие — 2—5;
   средние — 1—2;
   малые — до 0,5—1.

При разработке проектов застройки городов или поселков должно быть обеспечено зонирование территории по функциональному назначению с учетом обеспечения благоприятных условий проживания и удобной связи с местом трудовой деятельности жителей и местами отдыха.

По функциональному назначению территории города или поселка выделяют *селитебную* (рекреационную) и *внеселитебную* (промышленную) зоны.

Селитебная предназначается для жилых районов, а внеселитебная — для размещения промышленных, производственных, коммунально-складских объектов (склады, гаражи, депо, автопарки и внешний транспорт), очистных сооружений и т. д. Правила и нормы проектирования населенных мест предусматривают размещение селитебных территорий с наветренной стороны для ветров преобладающего направления (согласно данным розы ветров), а также выше по течению рек по отношению к промышленным зонам. Наибольший вектор розы ветров указывает, с какой стороны горизонта действуют преобладающие ветры.

Селитебную территорию города делят на жилые районы, в состав которых входят несколько микрорайонов. По своей организации микрорайон обеспечивает полную систему культурно-бытового обслуживания. На территории микрорайона располагают жилые и общественные здания (школы, магазины, детские сады). Размещение учреждений в микрорайоне производят исходя из условия пешеходной доступности: до школ, остановок городского транспорта — не более 500 м; до детских садов — не более 300 м.

Сеть микрорайонных проездов, тротуаров должна составлять единую систему, обеспечивающую безопасность движения пешеходов и транспорта, исключающую вредное воздействие городского транспорта на жилую территорию. Внутри микрорайона не допускается городское транспортное движение. Разрешается передвижение автотранспорта к учреждениям обслуживания и жилым домам для подвоза грузов, мебели, что избавляет население от необходимости пересекать напряженные транспортные пути.

Комфортные санитарно-технические условия проживания зависят от благоустройства и озеленения микрорайона, жилых районов города или поселка, расположения и ориентации зданий. Размещение и ориентация жилых и общественных зданий должны обеспечивать инсоляцию жилых помещений и территорий, а также меры по ограничению в соответствии с требованиями санитарных норм теплового воздействия солнечного облучения.

Санитарные и противопожарные нормы разрывов между зданиями для нормальной инсоляции и проветривания помещений следует принимать по СНиПам.

Расстояние от жилых и общественных зданий до детских садов, лечебных учреждений, школ должно составлять не менее 2,5 высоты противостоящего наиболее высокого здания.

Большое значение имеет и озеленение микрорайонов — не менее 40—45%.

## 1.7. Основные положения проектирования генерального плана

При разработке проектов планировки и благоустройства населенных мест, жилых районов и микрорайонов, а также при проектировании зданий или сооружений одним из важнейших этапов проектной работы является разработка генерального плана.

Генеральный план представляет собой горизонтальную проекцию участка, на котором расположены проектируемое здание или группа зданий.

В составе рабочих чертежей проектов гражданских зданий разрабатывают генпланы 1 : 500 и 1 : 1000 с детальным изображением всех сооружений, проездов, дорожек, озеленения и благоустройства с учетом функциональной или технологической связи проектируемого здания с другими зданиями или сооружениями, их ориентации по сторонам света.

При разработке генплана большое внимание уделяется привязке здания к рельефу местности, выраженному на чертеже горизонталями по данным геодезических исследований, а также подводке инженерных коммуникаций.

Экономичность благоустройства при решении генплана жилого микрорайона зависит от целесообразности использования территории, определения количества жилой площади в м$^2$ на 1 га территории микрорайона (плотность жилого фонда брутто). Жилая территория брутто включает собственно жилую территорию и участки детских учреждений, школ, коммунальных учреждений, физкультурные площадки, микрорайонный сад.



Санитарно-технические условия проживания характеризуются плотностью застройки, определяющейся как отношение площади застройки (м$^2$) к жилой территории (м$^2$), выраженной в %.

Плотность жилого фонда и плотность застройки являются технико-экономическими показателями генплана микрорайона по СНиПам.

В промышленности генеральный план представляет собой схему (в метрах 1 : 1000 или 1 : 500) проектируемого объекта промышленного комплекса с расположением проектируемых и существующих зданий и сооружений, основными проездами, подъездными железнодорожными и автомобильными путями, озеленением и т. д.

В основу разработки генерального плана предприятия закладывают схемы подачи сырья и вывоза готовой продукции. Схемы должны исключать транспортные встречи готовой продукции с сырьем.

Генеральный план предприятия разрабатывают исходя из обеспечения наилучшей организации технологического процесса, применения прогрессивных видов транспорта и рационального использования территории.

Здания и сооружения на генеральном плане размещают с учетом минимальной протяженности наружных коммуникаций (электрокабельных, холодных и горячих трубопроводов, канализационных сетей и т. д.), обеспечивающих технологический процесс в проектируемых зданиях и сооружениях.

Расстояние между зданиями и сооружениями должно отвечать требованиям санитарных норм и соответствующих СНиПов.

Взаимное расположение зданий и сооружений осуществляется с учетом выделяемых производственных вредностей и розы ветров.

Промышленные предприятия, выделяющие производственные вредности (газ, дым, копоть, пыль, неприятные запахи и шум), необходимо располагать по отношению к ближайшему жилому району внизу по течению реки и с подветренной стороны для господ-

ствующих ветров, определяемых по розе ветров. Их отделяют от границ жилых районов санитарно-защитными зонами (разрывами). Господствующее направление ветров принимают по средней розе ветров теплого периода на основе многолетних наблюдений.

Санитарно-защитной зоной считают территорию между производственными помещениями, складами и установками, выделяющими производственные вредности, и жилыми и другими зданиями жилого района.

Санитарно-защитная зона (разрыв) устанавливается в зависимости от класса предприятия и колеблется от 1000 м для I класса до 50 м для V класса.

Разрывы между зданиями и сооружениями должны быть минимальными (не менее 6 м) исходя из условий размещения проезжих дорог, тротуаров и инженерных сетей, с соблюдением требований санитарных и противопожарных норм.

В проекте генерального плана предприятия предусматривают озеленение свободной от застройки территории предприятия в виде газонов с посадкой деревьев и кустарников. На магистральных проездах, используемых для массового прохода рабочих, применяют рядовую посадку деревьев и кустарников. Ширину зеленой зоны планируют от 3 до 5 м.

Строительство группы предприятий в составе промышленных узлов с общими коммуникациями, инженерными сооружениями и вспомогательными производствами, с единой системой бытового обслуживания работающих и их семей, рациональным решением архитектурно-планировочных и градостроительных задач дает неоспоримые преимущества и значительный экономический эффект по сравнению со строительством отдельно стоящих предприятий.

## 1.8. Элементы городских улиц и дорог

*Улицей* называется полоса территории города, ограниченная застройкой и предназначенная для движения транспорта и пешеходов. Городские дороги служат для движения транспорта между обособленными районами города, а также для связи улиц с загородными дорогами и для объезда города транзитным транспортом. В зависимости от назначения улицы и дороги разделяются на категории, т. е. классифицируются (табл. 4). Городские транс-



Таблица 4

**Классификация городских улиц и дорог**

| Категория улиц и дорог | Основное назначение |
|---|---|
| Скоростные дороги | Скоростная транспортная связь удаленных районов населенных пунктов между собой, с крупными промышленными районами и с автомобильными дорогами общей сети. Развязка движения в разных уровнях с обеспечением непрерывности движения транспорта |
| Магистральные улицы: общегородского значения, районного значения | Транспортная связь между жилыми, промышленными, складскими районами, а также с центром населенного пункта, объектами общегородского значения (вокзал, парк, стадион и др.), скоростными магистралями и автомобильными дорогами общей сети. Развязка движения в одном или разных уровнях. Местная транспортная связь в пределах жилых и промышленных районов, транспортная связь жилых и промышленных районов с магистральными улицами общегородского значения и скоростными дорогами |
| Улицы и дороги местного значения: жилых районов, промышленных и складских районов | Транспортная пешеходная связь микрорайонов и отдельных групп зданий с магистральными улицами. Транспортная и пешеходная связь отдельных промышленных предприятий и складов с магистральными улицами |
| Проезды | Транспортная и пешеходная связь внутри микрорайонов с улицами местного движения; подъезды к отдельным объектам промышленных районов |

портные площади являются узловыми пунктами городского движения, их располагают на пересечениях и слияниях магистральных улиц. На них происходит сосредоточение и распределение транспортных потоков по основным направлениям движения в городе.

Городские скоростные дороги являются автомагистралями высшего технического класса, предназначенными для пропуска транзитных по отношению к центру потоков автомобильного транс-

порта, и должны обеспечить удобные транспортные связи селитебных районов между собой, с промышленными территориями, а также с аэропортами, загородными зонами отдыха и автомобильными дорогами общегосударственного значения.

Скоростные автомобильные дороги могут располагаться на специальных полосах отвода по селитебным территориям, между защитными полосами озеленения, на эстакадах, в выемках, тоннелях, на территории внешнего транспорта (например, в полосе отвода железной дороги), на резервных селитебных территориях.

Дороги проектируют в полной изоляции от пешеходных дорожек, местного движения транспорта.

Магистральные улицы в зависимости от интенсивности движения и других местных особенностей проектируют для непрерывного движения — с устройством пересечения с другими улицами и дорогами, а также пешеходных переходов в разных уровнях и регулируемого движения — с устройством пересечений в основном на одном уровне. Пересечения с другими улицами на одном уровне магистральных улиц общегородского значения с регулируемым движением предусматривают не чаще, чем через 0,5 км.

В состав поперечных профилей улиц и дорог входят проезжие части, тротуары, полосы зеленых насаждений и полосы для прокладки подземных инженерных сетей и сооружений, в необходимых случаях — полосы для трамвайного движения, разделения движения разных направлений, а также полосы для проезжих частей местного движения и велосипедных дорожек.

Размер и состав элементов поперечного профиля улиц и дорог следует определять с учетом категорий улиц, характера и расчетной интенсивности движения всех видов городского транспорта и пешеходов, распределения проезжих частей, типа застройки, рельефа местности, способа отвода поверхностных вод, размещения подземных инженерных сетей, зеленых насаждений, оросительных каналов.

В генеральных планах строительства и реконструкции городов при проектировании схемы магистральных улиц, их пересечений, при расчете пропускной способности всей сети улиц необходимо предусматривать создание достаточных по вместимости автомобильных стоянок, пересечения в разных уровнях и другие планировочные решения, способные обеспечить бесперебойное движение транспорта.



Ширину улиц в пределах красных линий следует принимать не менее: магистральных улиц общегородского значения — 45 м, районного значения — 35 м, улиц местного движения при многоэтажной застройке — 25 м, при малоэтажной — 15 м. При этом необходимо соблюдать установленные санитарные разрывы между зданиями.

Проезжую часть улиц и дорог в зависимости от состава, размера, скорости и условий безопасности движения транспорта проектируют либо общей для всех видов транспорта, либо в виде самостоятельных конструктивно выделяемых полос, предназначенных для отдельных видов транспорта, а также для движения с разными скоростями или в разных направлениях.

Ширину проезжей части улиц, дорог и площадей устанавливают в зависимости от перспективной интенсивности движения и пропускной способности одной полосы, а также с учетом категории улицы или дороги (табл. 5).

Таблица 5

**Зависимость ширины проезжей части от категории улиц, дорог и площадей**

| Категория улиц, дорог и площадей | Ширина одной полосы, м | Количество полос движения в обоих направлениях | |
|---|---|---|---|
| | | наименьшее | с учетом резерва на перспективу |
| Скоростные дороги | 3,75 | 4 | 6 |
| Магистральные улицы: | | | |
| общегородского значения | 3,5—3,75 | 4 | 6—8 |
| районного значения | 3,5 | 4 | 6 |
| Улицы и дороги местного значения | 3 | 2 | 3—4 |
| Площади | 3,5 | 4 | 6—8 |

Улица современного города представляет собой сложное инженерное сооружение. Она имеет наземное оборудование и подземное хозяйство. К наземному оборудованию относятся дорожные одежды проезжей части и тротуаров, конструктивные элемен-

ты освещения, связи и городского электрического транспорта, указатели остановок транспорта, устройства и знаки регулирования уличного движения, киоски, будки и павильоны различного назначения, зеленые насаждения. Подземное хозяйство включает сети трубопроводов и кабелей различного назначения (водоснабжение, канализация, водостоки, электроснабжение, теплофикация, связь и газоснабжение и др.), проложенные под проезжей частью, тротуарами и зонами зеленых насаждений.

Степень сложности подземного и наземного оборудования и благоустройства городской улицы может быть различной. В первую очередь она зависит от назначения улицы, сроков ее застройки, видов и характера располагающихся на ней зданий, интенсивности и характера движения, состава транспорта, перемещающегося по улице.

При проектировании городской улицы решают ряд вопросов инженерного благоустройства, среди которых важнейшими являются: вертикальная планировка улицы и прилегающих к ней территорий, организация движения транспорта и пешеходов на перегонах и перекрестках улиц, прокладка подземных инженерных сетей, организация водоотвода на самой улице и с прилегающих кварталов застройки, освещение и озеленение улиц. Эти вопросы решают с учетом эстетических, бытовых и технико-экономических требований при проектировании планировки и застройки улицы, а также в процессе ее строительства или реконструкции. Поэтому при проектировании и строительстве улиц необходимо учитывать, что городская улица является не только дорогой, по которой движутся транспорт и пешеходы, но и частью городского архитектурного ансамбля.

### ? *Вопросы для самопроверки*

1. *Назовите основные местные условия, влияющие на выбор территории для населенных мест.*
2. *Перечислите классы и виды грунтов.*
3. *Назовите вредности и нарушения природной среды, возникающие в зависимости от видов выполняемых работ.*
4. *Каковы особые условия инженерной подготовки территории, их особенности и меры по предотвращению материального ущерба?*



5. *Дайте характеристику селитебной и внеселитебной зон планировки населенных мест.*
6. *Чем различаются благоприятная, неблагоприятная и особо неблагоприятная категории территорий населенных мест?*
7. *Назовите основные положения проектирования генерального плана.*
8. *Дайте классификацию городских улиц и дорог.*

# *Глава 2.* ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ТЕРРИТОРИЙ ПОСЕЛЕНИЙ

## 2.1. Назначение вертикальной планировки

Вертикальная планировка является одним из основных элементов инженерной подготовки территорий населенных мест и представляет собой процесс искусственного изменения естественного рельефа для приспособления его к требованиям градостроительства.

Задача вертикальной планировки заключается в придании проектируемой поверхности уклонов, обеспечивающих: отвод дождевых и талых вод по открытым лоткам в водосточную сеть и далее в естественные водоемы; благоприятные и безопасные условия движения транспорта и пешеходов; подготовку осваиваемой территории для застройки, прокладки подземных сетей и благоустройства; организацию рельефа при наличии неблагоприятных физико-геологических процессов на местности (затопление территории, подтопление ее грунтовыми водами, оврагообразование и т. д.); придание рельефу наибольшей архитектурно-композиционной выразительности.

Важным условием проектирования вертикальной планировки является достижение наименьшего объема земляных работ и возможного баланса перемещаемых масс грунта, т. е. равенство объемов насыпей и выемок, с тем чтобы сократить транспортные расходы на доставку или вывоз грунта.

При разработке проектов вертикальной планировки надо стремиться к максимально возможному сохранению сложившегося природного рельефа местности, существующих зеленых насажде-

Территорию оползневых склонов используют для посадки деревьев, кустарников и приспосабливают для прогулок и отдыха населения.

При недостаточном солнечном освещении и плохом проветривании затененных склонов снег в весенний период будет таять медленно, что может привести к переувлажнению склонов. В этих случаях при озеленении склонов не следует делать загущенную посадку деревьев и кустарников.

Для предохранения от разрушения оползневых склонов, сохранения на них растительности и их благоустройства проводят ряд мероприятий, направленных на устранение причин, способствующих возникновению оползней. Основными из них являются:

а) правильная организация стока дождевых и талых вод, не допускающая поступлений их на оползневый склон;
б) устройство дренажа, позволяющего перехватить подземные воды в глубине склона и предотвращающего таким образом выход их на поверхность склона и подошву откоса;
в) правильная эксплуатация сети фекальной канализации, водопровода и других сооружений, связанных с хранением запасов воды, обеспечивающая невозможность утечки воды и обводнения склона;
г) проведение берегоукрепительных работ в пределах береговой полосы рек, морей и других водоемов;
д) создание механического сопротивления на пути движения земляных масс в виде подгорных стенок, свайных рядов и других препятствий. При устройстве свайных рядов сваи устанавливают способом забуривания;
е) организация постоянно действующих противооползневых станций для наблюдения за состоянием поверхности оползневых склонов и процессов, происходящих в их глубине.

***Овраги***

Овраги возникают на поверхности почвы в результате воздействия потоков воды на рыхлые породы. Талые воды весной, ливневые воды летом систематически разрушают поверхность почвенного слоя. Чем больше расход поверхностного стока и его скорость, тем интенсивнее разрушаются рыхлые породы. Легче всего разрушаются глинистые породы. Сыпучие породы, хорошо пропускающие воду, разрушаются значительно слабее.



Овраги развиваются в пределах водосборной площади по направлению движения поверхностного стока, т. е. от устья бассейна стока до водораздельного гребня бассейна.

В зависимости от характера предполагаемого использования заовраженной территории составляют проект ее благоустройства. Меры по приспособлению территории для городской застройки сводятся к предотвращению роста оврагов. Неглубокие овраги (до 2,2—5 м) засыпают и полученные площади используют для городской застройки. При глубоких оврагах их площади используют для водоемов (пруды), а также устройства вводов железнодорожных линий и автомобильных дорог с удобным устройством пересечений и развязок, располагаемых на разных уровнях. Крутые склоны сохраняемых оврагов уполаживают и благоустраивают.

В верховьях неглубоких оврагов удобно располагать здания, имеющие подвалы (торговые помещения), подземные гаражи.

***Карстовые образования***

Подземные воды при встрече с легкорастворимыми горными породами (каменная соль, гипс, известняки, доломит и др.) растворяют и выщелачивают их. Растворимые вещества уносятся вместе с водой. В результате этого в толще земной коры образуются трещины, колодцы, пустоты или пещеры. Такое образование называют *карстом*. В результате карстовых образований на поверхности почвы появляются просадки, провалы или воронки, заполненные водой. Характер этих образований зависит от толщины слоя и состава грунтов, покрывающих горные породы.

Закарстованные площади считают неудобными для городской застройки и используют их для озеленения и создания зон отдыха. Для предохранения от проникновения поверхностных вод к неустойчивым по отношению к воде породам устраивают дренаж, организуют хороший отвод поверхностного стока.

При выполнении работ по вертикальной планировке закарстованной территории не следует допускать большой срезки грунта, так как при этом будет облегчена возможность проникновения поверхностных вод в толщу прикрывающего карст слоя. Следует избегать устройства на них сооружений, при эксплуатации которых будет возможна утечка воды в грунт (водопровод, канализация, резервуары для воды, пруды и др.), что может привести к обводнению территории. Трассу дорог следует направлять в обход

выбора типов застройки и характера ее расположения, определения условий водоотвода и снегоудаления с территорий городов, системы искусственного орошения (в засушливых районах) либо осушения (в переувлажненных районах) и т. п.

Для определения условий прокладки различных подземных сооружений и коммуникаций требуются также данные о глубине промерзания грунтов, определяемые по таблицам (например: Архангельск — 160 см, Волгоград — 140 см, Ростов-на-Дону — 80 см). По климатическим условиям, определяющим требования строительства, наша страна делится на четыре строительных климатических района, каждый из которых подразделяется на 16 подрайонов, характеризующихся установленными по данным многолетних наблюдений климатическими условиями. Подрайоны обозначают буквенными индексами (IA, IБ...IIA, IIБ и т. д.) на схематической карте климатического районирования.

Для разработки проектов планировки и застройки городов необходимо также располагать метеорологическими данными: об осадках (среднегодовых и по отдельным месяцам, об интенсивности ливневых дождей, толщине снегового покрова, периоде его образования и таяния); о температуре воздуха (минимальной, среднесуточной, о наибольших перепадах температур в течение суток); силе, направлении и повторяемости действия ветров (за год и по сезонам); влажности воздуха; густоте и повторяемости туманов; солнечном освещении (инсоляции) — числе часов солнечного освещения в сутки, солнечных дней в году. Для полной оценки климатических условий местности используют данные, приведенные в СНиП II-А.6-72.

Здания по странам света ориентируют с учетом архитектурно-композиционных требований, инсоляции и климата (широтная и меридиональная ориентация). Исходя из направления господствующих ветров, определяемого по розе ветров, предусматривают размещение промышленных предприятий, особенно с повышенной санитарной вредностью, по отношению к жилым (селитебным) районам и местам отдыха с наветренной стороны.

Направление ветров учитывается при планировке сети улиц и зеленых коридоров, которые наряду с их функциональным назначением служат для проветривания территории города.



Кроме направления ветра существенное значение имеет его сила. Скорости ветра соответствует определенная сила, которую необходимо учитывать при расчете устойчивости сооружений. Скорость ветра иногда выражают в баллах (табл. 1).

Таблица 1

**Скорость и сила ветра**

| Характеристика ветра (1 кг/м$^2$ = 10 ПА) | Скорость ветра, м/с | Сила ветра, Па | Баллы |
|---|---|---|---|
| Штиль (безветрие) | 0 | < 0,2 | 0 |
| Легкий | 2—3 | 8 | 2 |
| Умеренный | 6—8 | 40 | 4 |
| Сильный | 11—13 | 100 | 6 |
| Шторм | 21—24 | 280 | 9 |
| Ураган | 36—50 | 600—1800 | 12 |

**Топографические условия** отражают на геодезических картах или ситуационных планах с изображением рельефа местности (в горизонталях), природных объектов (реки, озера, зеленые массивы, заболоченные территории) и искусственных сооружений (населенные пункты, отдельно стоящие здания, автомобильные и железные дороги, плотины, мосты) с указанием на плане, в ведомостях или пояснительной записке кратких характеристик этих объектов. Планы, карты и разрезы (профили) уровня поверхности земли отдельных участков составляют в необходимом масштабе на основании геодезических изысканий с показом на них существующих искусственных сооружений в условных обозначениях (рис. 1).

**Геологические условия** для проектирования планировки населенных мест определяют по данным инженерно-геологических изысканий, степень детальности которых устанавливают в зависимости от сложности природных условий территории, характера и стадии проектирования. Первичными материалами геологической характеристики районов могут служить обзорные геологические карты страны или отдельных районов. Для детального уточнения исследуют пробы грунта, взятые из шурфов и буровых скважин (керн). Глубина производимых геологических изысканий зависит от проектируемых на территории сооружений и колеблется от 5—10 м и более.

ний и растительного почвенного покрова. В связи с этим вертикальная планировка должна предусматриваться, как правило, на земельных участках, занятых зданиями, сооружениями, улицами, дорогами и площадями. Сплошную вертикальную планировку допускается применять на территориях общественных центров при плотности застройки более 25%, а также при большой насыщенности их дорогами и инженерными сетями.

Естественно сложившийся растительный слой земли является золотым фондом для дальнейшего его использования при озеленении территории. Поэтому СНиПы обязывают в проектах вертикальной планировки территорий предусматривать места снятия и временного складирования плодородного слоя почвы и меры по защите его от загрязнения при производстве строительных работ для последующего его использования при благоустройстве территории.

В сложных условиях подготовки территории может возникнуть необходимость коренного изменения существующего рельефа путем сплошной подсыпки участков, подверженных затоплению паводковыми водами, засыпки оврагов или срезки возвышенностей, препятствующих размещению застройки, улиц, проездов и т. д. При этом необходимо предусматривать такое размещение земляных масс, которое не могло бы вызвать оползневых и просадочных явлений, нарушение поверхностного стока, режима грунтовых вод и заболачивания территорий. Указанные обстоятельства приобретают особое значение при засыпке оврагов и избыточном увлажнении территорий.

Разработке проектных решений вертикальной планировки предшествует тщательное изучение рельефа местности и других перечисленных ранее природных факторов. Работы по вертикальной планировке желательно осуществлять до строительства зданий и сооружений.

## 2.2. Изучение рельефа, его использование и изменение

При разработке генеральных планов населенных мест, проектов детальной планировки и застройки их территорий важное значение приобретает характер рельефа местности. Недоучет или неправильное использование особенностей рельефа приводит к



усложнению проектных решений, удорожанию строительных работ и созданию в ряде случаев неблагоприятных условий для размещения зданий и сооружений, организации движения транспорта и пешеходов, санитарно-гигиенических условий проживания и благоустройства. Рельеф местности часто определяет внешний облик города и условия его территориального развития.

По принятой планировочной практикой терминологии рельеф местности расположения города (населенного пункта) подразделяют на следующие виды:

1) *равнинный* — слабовыраженная пологая поверхность земли без холмов и оврагов (например, г. Санкт-Петербург);
2) *средний* — с холмами, небольшими долинами и котлованами (например, г. Москва);
3) *сложный* — с резко выраженными крутыми скатами и холмами (например, г. Киев).

Рельеф местности определяют геодезической съемкой и изображают на плане в горизонталях, представляющих собой условные линии проекции пересечения поверхности горизонтальными плоскостями, расположенными по высоте на равных расстояниях одна от другой. Так как каждая горизонталь в отдельности — это линия, соединяющая между собой точки с одинаковыми отметками, разные по высоте горизонтали не могут пересекаться между собой в плане.

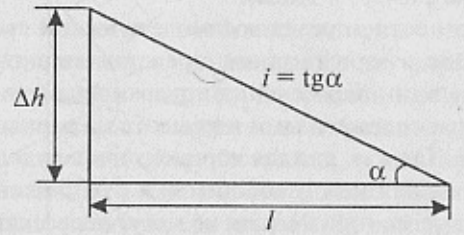
На горизонталях надписывают их высотные — *абсолютные отметки,* отсчитываемые от абсолютного нуля (Балтийского моря). При отсутствии таких данных поверхность нивелируют от условно принятого уровня и отметки называют *относительными.* Разность между соседними по высоте горизонталями называют *высотой сечения рельефа,* или *шагом горизонталей*, а расстояние между ними в плане — *заложением.* На поверхности с одинаковым углом падения рельефа местности расстояния между горизонталями будут равными. При пологом рельефе расстояния между горизонталями будут бóльшими, а по мере повышения крутизны ската они уменьшаются.

В зависимости от стадийности проектирования и соответственного увеличения масштаба плана изменяется детальность изображения рельефа. При разработке детальных проектов планировки и застройки городов целесообразнее пользоваться топографическими пла-

нами с масштабом 1 : 2000 и шагом горизонталей 0,5 или 1 м и др. (М 1 : 500) (рис. 6).

На рис. 6 представлен план местности, отображающий в горизонталях различные условия рельефа. Из плана видно, что отметки горизонталей заложены с падением по высоте, или шагом, 1 м. Стрелками показаны направления уклонов поверхности, наибольшие из которых определяют по кратчайшему расстоянию между горизонталями (по нормали к ним). Следовательно, условия рельефа местности характеризуются главным образом уклонами и их направлениями. *Уклон* — это их отношение разности высот между двумя отдельно взятыми точками к расстоянию между ними. Уклон поверхности на каждом рассматриваемом участке определяют по формуле

$$i = \Delta h / l,$$




где $\Delta h$ — разность отметок между двумя точками или соседними горизонталями, м; $l$ — расстояние между двумя точками или горизонталями в рассматриваемом направлении, м.

Уклон выражают десятичными дробями в процентах и в промиле (‰) (тысячные доли). Например: $i = 0{,}01$ соответствует $i = 1\%$ или $i = 10‰$. Чаще всего на практике — ‰.

В природе редко встречаются безуклонные поверхности земли, за исключением заболоченных территорий. На рис. 6 план рельефа местности характеризуется наличием лощин, холмов, оврагов, равнинных участков.

Наивысшие линии хребтов являются водораздельными, а по наиболее низким участкам оврагов и лощин, называемых *тальвегами*, концентрируется сток поверхностных вод. Хребты, или водоразделы, характеризуются на плане выпуклостью следующих одна за другой горизонталей (в направлении уклона), а лощины,



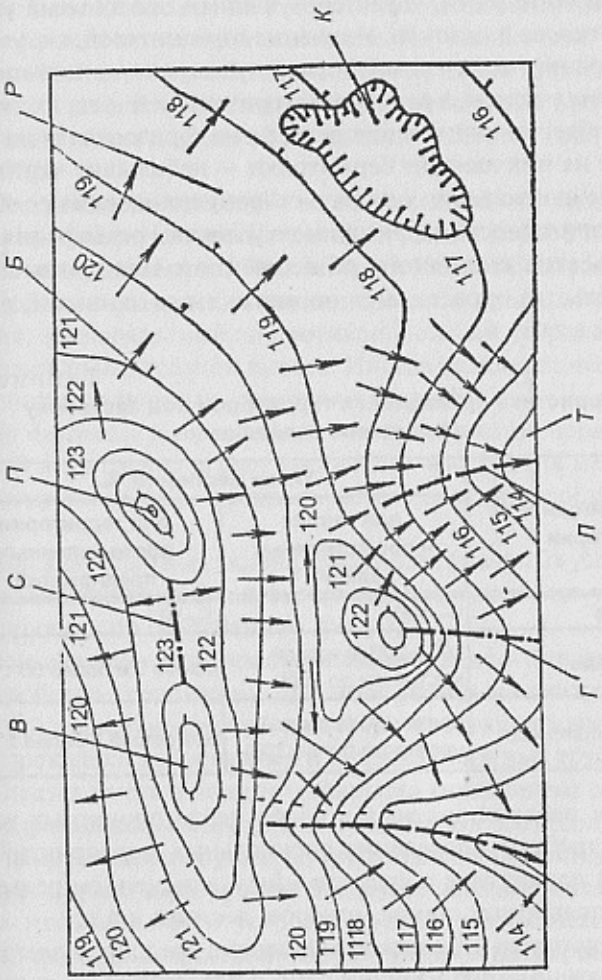



**Рис. 6.** План местности, отображающий условия рельефа:
*В — вершина; С — седловина; П — пик; Б — бергштрих, указывающий направление склона; Р — равнинный участок; К — участок выработки (котлован); Т — тальвег; Л — лощина; Г — гребень (стрелки показывают направление поверхностного стока)*

или тальвеги, — их вогнутостью. Характер водоразделов и тальвегов определяется разностью наиболее высоких и низких отметок, частотой горизонталей на отдельных участках и степенью их выпуклости или вогнутости, характеризующими продольный уклон и крутизну откосов и склонов. Учащение горизонталей, т. е. уменьшение расстояний между ними в плане, указывает на повышение уклонов на этих участках, а разряжение горизонталей — на их уменьшение. Для облегчения изучения рельефа на горизонталях по перпендикуляру на них наносят бергштрихи — небольшие черточки, указывающие направление уклона в сторону понижения рельефа.

Степень пригодности территории по условиям рельефа для размещения объектов жилищного, общественного или промышленного строительства определяется нормативными данными, представленными в табл. 6.

Таблица 6

**Характеристика пригодности территории под застройку по условиям рельефа**

| Степень пригодности территории | Уклон местности, ‰ | |
|---|---|---|
| | для жилых и общественных зданий | для территории промышленных предприятий |
| Благоприятные | 5—100 | 3—50 |
| Неблагоприятные | 100—200 (в горной местности до 300) | Менее 3 и более 50 |
| Особо неблагоприятные | Более 200 (в горной местности более 300) | Без уклона и более 50 |

Категории неблагоприятных и особо неблагоприятных условий рельефа требуют проведения специальных мероприятий по вертикальной планировке с существенным изменением рельефа, устройством подпорных стенок, откосов, лестниц и т. д.

Рельеф территории в значительной степени предопределяет планировочную композицию уличной сети, а следовательно, и плана города. Для прокладки сети улиц наиболее благоприятен рельеф с уклонами 5—60‰, для магистральных улиц — 5—80‰, для жилых улиц и проездов — в зависимости от их классификации.



В условиях сложного рельефа трассирование улиц и дорог может проектироваться по трем схемам.

*По наибольшему уклону* — поперек горизонталей, что иногда необходимо для создания кратчайших расстояний между отдельными пунктами населенного места. По такой схеме продольные уклоны становятся наибольшими и могут быть применены только на жилых улицах и местных проездах небольшой протяженности. При этом уклон не должен превышать 80‰, а в горных условиях — 100‰.

*По наименьшему уклону* — вдоль горизонталей. Такая схема наиболее приемлема для магистральных улиц и дорог с насыщенным движением транспорта. При этом требуется производство земляных работ по выравниванию поперечного профиля с тем, чтобы здания, закладываемые по противоположным сторонам улицы, не располагались на разной высоте. Иногда возникает необходимость устройства подпорных стенок или откосов.

*По диагонали к горизонтали,* т. е. комбинация первой и второй схем. В этом случае за счет увеличения расстояния между перепадом отметок рельефа обеспечивается создание необходимого уклона.

При значительных уклонах местности (в горных условиях) приходится застройку размещать по террасам, а дорожно-уличную сеть трассировать по серпантинам (рис. 7).

Вертикальная планировка оказывает заметное влияние на благоустройство территории, при этом одним из важнейших мероприятий является обеспечение стока поверхностных вод и удобство прокладки водосточных и канализационных трубопроводов.

Следует иметь в виду, что закрытая (подземная) сеть водостоков и фекальной канализации относится к категории безнапорных, самотечных сооружений, требующих соответствующих уклонов для нормальной работы. Недоучет этих обязательств приводит к необходимости устройства дополнительных сложных и дорогостоящих искусственных сооружений (дюкеров, акведуков, станций перекачки). Так как подземные трубопроводы в населенных местах обычно прокладывают вдоль улиц и дорог, проектирование вертикальной планировки дорожно-уличной сети должно наряду с транспортными требованиями обеспечивать необходимые условия для их комплексного сооружения.

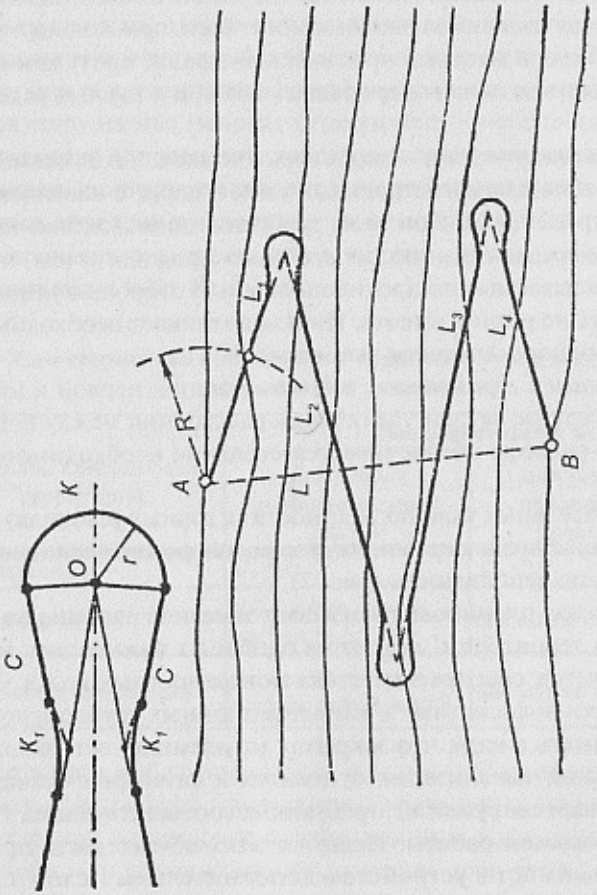



**Рис. 7.** Участок серпантинной дороги:
*L — воздушная линия; $L_1$—$L_4$ — участки развитой трассы дороги; O — вершина угла поворота; K — основная кривая на участке серпантина; $K_1$ — обратные кривые; r — радиус кривой; C — вставки между кривыми*



Условия обеспечения поверхностного стока вод предопределяют необходимость создания минимального продольного уклона улиц 5‰ и в исключительных случаях при монолитном дорожном покрытии (асфальтобетонном, цементобетонном) — не менее 4‰. Максимальный продольный уклон устанавливают с учетом категорий улиц и дорог, с тем чтобы обеспечивались удобство и безопасность движения по ним транспорта с расчетными скоростями.

Как правило, разработке вертикальной планировки территории городов, отдельных районов и участков предшествует вертикальная планировка сети улиц и дорог, при которой устанавливают проектные (красные) отметки на линиях, ограничивающих с двух сторон в плане площадь, занимаемую улицей или дорогой, именуемые «красными линиями». Вертикальную планировку прилегающей «к красным линиям» территории для ее застройки и благоустройства разрабатывают с обязательной привязкой к проектным (красным) отметкам, являющимся руководящими.

## 2.3. Стадии и методы проектирования

Проекты вертикальной планировки разрабатывают в соответствии с архитектурно-планировочным заданием, которое составляет архитектурно-планировочное управление или отдел главного архитектора города.

В зависимости от стадийности проектирования разработка вертикальной планировки производится тремя методами:

1) методом проектных («красных») отметок;
2) методом продольных и поперечных профилей;
3) методом проектных (красных) горизонталей.

*Метод проектных («красных») отметок* применяют при разработке схемы вертикальной планировки, являющейся первым этапом высотного решения территории населенного места или отдельного его района. Сущность его заключается в том, что на схеме генплана, выполненного на геодезической подоснове, отображающей существующий рельеф территории в отметках или горизонталях, в характерных точках наносят проектные («красные») отметки. Проектные отметки и намечаемые уклоны на участках между ними характеризуют планируемый рельеф и определяют организацию поверхностного стока дождевых и талых вод.

В схеме вертикальной планировки проектные отметки наносят по осям улиц и дорог в точках их взаимных пересечений, а также в местах намечаемых переломов (изменений уклонов) продольных профилей. Определяют проектные отметки на пересечениях улиц и дорог, у искусственных сооружений, в местах намечаемых значительных подсыпок или срезок и в других характерных точках. Разность между проектными и существующими отметками называют рабочими отметками (+ или –), которые характеризуют размер подсыпок или срезок, а также высотное положение поверхности проектируемых искусственных сооружений. На участках между точками задаваемых проектных отметок поверхностям в профиле придают прямолинейные очертания. При этом средние проектные уклоны поверхностей определяют отношением разности проектных отметок граничных точек рассматриваемых участков к расстоянию между этими точками.

Отметки существующей поверхности территории в намечаемых переломных точках на плане в горизонталях или в отметках определяют методом интерполяции, для чего через эти точки проводят прямые линии примерно перпендикулярно ближайшим горизонталям (рис. 8). Отметки искомых точек определяют по формуле:

$$H_x = H_b + (H_a - H_b)l / L,$$

где $H_b$ — отметка нижележащей горизонтали; $H_a$ — отметка вышележащей горизонтали; $L$ — расстояние между горизонталями по

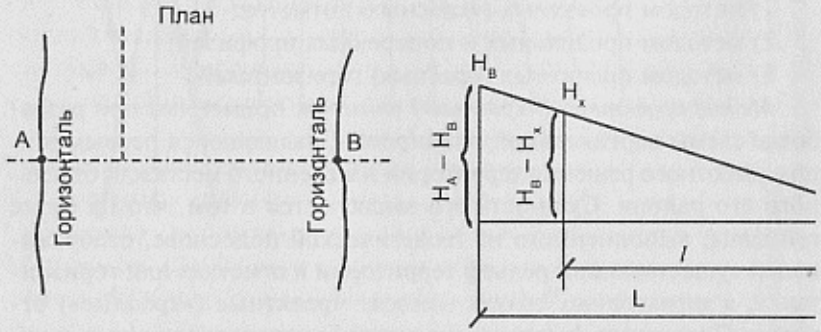



**Рис. 8.** Схема определения промежуточных отметок между горизонталями (метод интерполяции)



проложенной прямой линии (заложение горизонталей); $l$ — расстояние от рассматриваемой точки до нижележащей горизонтали.

Метод проектных (красных) отметок применяют на первых стадиях градостроительного проектирования — при разработке технико-экономического обоснования и генерального плана.

*Метод продольных и поперечных профилей* применяют в основном при проектировании линейных сооружений автомобильных и железных дорог, трамвайных путей, подземных инженерных коммуникаций и т. д. Система проектных профилей (чаще продольных) дает достаточно полное представление о намечаемых проектных решениях и возможность точного осуществления их в натуре.

Профили представляют собой условные разрезы существующей и проектируемой поверхностей в рассматриваемых сечениях. Условность состоит в следующем: а) предусматривается, что между точками с известными отметками рельеф выражается прямолинейными участками; б) для более наглядного изображения рельефа масштабы разрезов искажаются. Для продольных профилей обычно искажение принимают 1 : 10, т. е. вертикальный масштаб в 10 раз крупнее горизонтального; для поперечных профилей улиц и дорог соотношение масштабов 1 : 2.

*Метод проектных («красных») горизонталей* выгодно отличается от метода профилей большей наглядностью, ясностью сочетания проектируемого рельефа с размещением сооружений, возможностью охвата всей проектируемой территории. Благодаря этому метод проектных горизонталей получил преимущественное распространение при разработке проектов вертикальной планировки площадей, микрорайонов, зеленых массивов. Сущность этого метода заключается в том, что на план с геодезической подосновой наносят горизонтали, отображающие проектируемый рельеф местности. На рис. 9 приведены сопоставляемые примеры проектирования вертикальной планировки перечисленными выше методами.

Основой для вертикальной планировки территории проектируемых объектов является генеральная схема вертикальной планировки населенных мест или отдельных районов, составляемая при разработке генеральных планов. При проектировании этих схем решают вопросы высотной ориентации территории, а также корректируют трассы улиц и дорог по условиям рельефа с учетом обеспечения поверхностного водоотвода, удобства и безопаснос-

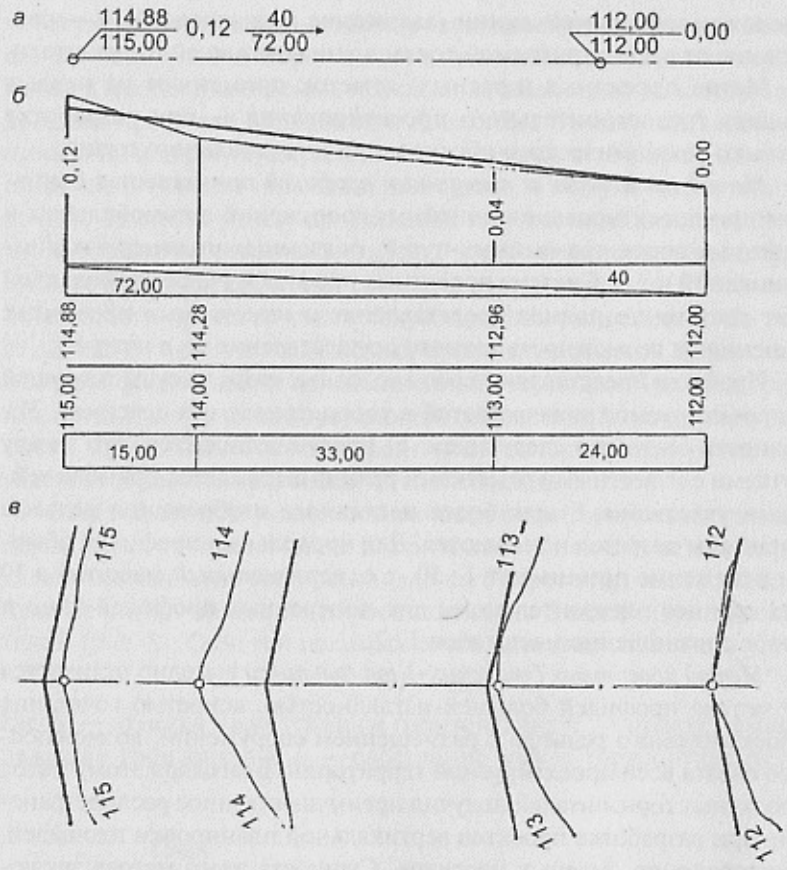



**Рис. 9.** Фрагменты проектов вертикальной планировки, выполненные различными методами:
*а — проектных («красных») отметок; б — профилей, в — проектных («красных») горизонталей. Стрелкой показано направление уклона; над стрелкой — уклон, ‰, под ней — расстояние между отметками, м. Существующая поверхность на профиле и в горизонталях показана тонкой линией, а проектируемая — толстой*

ти движения, экономичных условий канализования территории и минимальных объемов земляных работ, связанных с перепланировкой рельефа.



## 2.4. Вертикальная планировка территорий населенных мест и их районов

На основе генерального проекта планировки населенного места в целом (генплан), разработанного на геодезической подоснове (М 1 : 5000), для определения наиболее целесообразного и экономически оправданного решения приспособления рельефа к условиям застройки составляют схему вертикальной планировки. В зависимости от размеров проектируемой территории (города, района) и сложности рельефа масштабы и степень их подробности могут быть различными. Основой для их решения служат планы дорожно-уличной сети.

Схемой вертикальной планировки должны быть определены изменения рельефа территории, условия организации поверхностного стока и канализования. Для этого устанавливают места сброса ливневых и фекальных вод и намечают сеть основных водоотводящих коллекторов. Исходя из преимущественного расположения водоприемных сооружений и водоотводящих сетей ливневой и фекальной канализации вдоль улиц последние обычно трассируют по пониженным местам по отношению к прилегающей территории, чем обеспечивается сток поверхностных вод с прилегающей территории и удобство канализования отдельных их участков.

В зависимости от рельефа местности планируемым территориям придают односкатную, двухскатную или четырехскатную поверхность (рис. 10). Лучшими являются двух- и четырехскатные поверхности, так как они обеспечивают быстрый сток поверхностных вод в направлении проходящих по улицам водостоков и способствуют сокращению сети водостоков на внутриквартальных территориях.

Наименее удобны участки территории с замкнутым контуром, т. е. с пониженным расположением их по отношению к прилегающим улицам. На таких территориях необходимо устраивать развитую водосточную сеть с размещением во всех пониженных местах водоприемных колодцев. Однако это не устраняет возможности подтопления территории, особенно в период сильных ливней, а также в случае засорения ливневой канализации. Поэтому дорожно-уличную сеть, а также прилегающие территории следует планировать по возможности таким образом, чтобы обеспечивал-

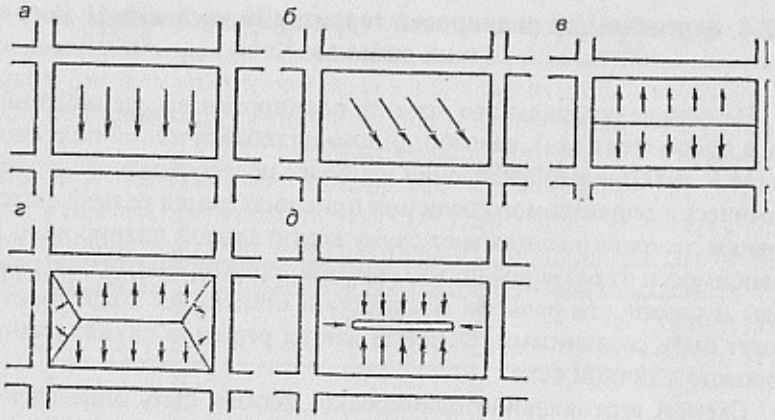



**Рис. 10.** Схемы организации поверхностного стока на микрорайонных территориях:
*а, б — с односкатной поверхностью; в — с двухскатной поверхностью; г — с четырехскатной поверхностью; д — на пониженном участке*

ся поверхностный сток в направлении прокладываемых вдоль улиц водосточных сетей.

Как уже было отмечено, при проектировании вертикальной планировки следует стремиться к достижению нулевого баланса земляных работ, т. е. к равенству объемов насыпей и выемок на соседних участках планируемых территорий. Иногда необходимость подсыпки территорий может вызываться наличием пониженных участков местности с затрудненным водоотводом, заболоченных участков, затапливаемых территорий и т. д., однако большие объемы земляных работ связаны со значительными затратами и изменением природных условий, а в отдельных случаях с необходимостью переустройства существующих наземных или подземных сооружений. Поэтому намечаемые работы по подъему уровня поверхности территорий следует сопоставлять с другими возможными инженерными решениями: понижением уровня грунтовых вод, устройством на планируемых территориях сети водостоков, водозащитных сооружений (от затопления) и т. п.

При проектируемой срезке грунта следует учитывать наличие участков с высоким уровнем грунтовых вод, трудноразрабатываемыми скальными породами, возможность повреждений или необходимость переустройства подземных сооружений и дорожных покрытий. Иногда изменение рельефа может быть связано с осуществлением своеобразного архитектурно-композиционного замысла.



Условия изменения рельефа характеризуются объемом подсыпок и срезок на отдельных участках поверхности. Подсыпки или срезки определяются рабочими отметками, представляющими собой разность проектируемых и существующих отметок в отдельных точках (рис. 11).




**Рис. 11.** Фрагмент схемы вертикальной планировки участка городской территории

Указанные на схемах вертикальной планировки стрелки вдоль осей улиц и дорог характеризуют направления продольных уклонов на участках между опорными точками. Цифры над стрелками показывают проектные продольные уклоны улиц и дорог (‰ — промилле), а под стрелками — расстояния между соседними опорными точками (в м). Нижние цифры у опорных точек показывают существующие отметки поверхности в этих точках, верхние — проектные отметки и средние — рабочие отметки. Положительные рабочие отметки (+) характеризуют намечаемый объем подсыпок, а отрицательные — (–) срезок.

Проектные уклоны определяют по формуле

$$i = (H_2 - H_1)/l,$$

где $H_2$ и $H_1$ — проектные отметки в рассматриваемых точках; $l$ — расстояние между ними.

Значение $i$ обычно округляют до тысячных долей с соответствующим корректированием отметок рассматриваемых точек.

## 2.5. Городские улицы и дороги

Продольные и поперечные уклоны улиц, дорог и отдельных их элементов должны быть в пределах значений, допускаемых СНиПами. Допустимые *продольные уклоны* зависят от расчетных скоростей движения. Их устанавливают в соответствии с категориями проектируемых улиц или дорог (табл. 7).

В местах взаимных пересечений улиц и дорог в одном уровне рекомендуется, чтобы продольные их уклоны не превышали 20—30‰. Для мостов уклон 30‰ является предельно допустимым. Места пересечения с железными дорогами участка автомобильных дорог следует устраивать безуклонными на протяжении не менее 10 м в каждую сторону от железнодорожных путей (а при переездах в выемках — не менее 20 м).

Участки проезжих частей улиц и дорог с различными продольными уклонами сопрягают между собой с помощью криволинейных вставок. Радиусы вертикальных кривых устанавливают с учетом обеспечения плавности движения и его безопасности (табл. 8).

Радиусы выпуклых кривых принимают больше вогнутых с учетом обеспечения видимости дороги, а также впереди идущих автомобилей на расстояниях, необходимых по условиям безопасности движения на расчетных скоростях.



Таблица 7

**Значения предельно допустимых уклонов**

| Категория улиц и дорог | Расчетные скорости движения, км/ч | Наиболее допустимые продольные уклоны, ‰ |
|---|---|---|
| Скоростные дороги | 120 | 40 |
| Магистральные улицы и дороги общегородского значения: | | |
| непрерывного движения | 100 | 50 |
| регулируемого движения | 80 | 50 |
| районного значения | 80 | 60 |
| дороги грузового движения | 80 | 40 |
| Улицы и дороги местного значения: | | |
| жилые улицы | 60 | 80 |
| дороги промышленных и складских районов | 60 | 60 |
| Пешеходные улицы и дороги | — | 40 |
| Проезды | 30 | 80 |

Таблица 8

**Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м**

| Категория улиц и дорог | Кривые | |
|---|---|---|
| | выпуклые | вогнутые |
| Скоростные дороги | 10000 | 2000 |
| Магистральные улицы и дороги: | 6000 | 1500 |
| общегородского значения | | |
| районного значения | 4000 | 1000 |
| дороги грузового движения | 6000 | 1500 |
| Улицы местного значения | 2000 | 500 |

*Поперечные уклоны* поверхностей проезжих частей и дорог устанавливают в зависимости от типов дорожных покрытий и при-

нимают в среднем для асфальтированных и цементобетонных покрытий из плит 20‰ для мостовых, а также покрытий из щебня и гравия, обработанных вяжущими материалами, — 25‰; для щебеночных и гравийных покрытий — 30‰.

*Продольные профили* проектируют в основном по осям проезжих частей улиц и дорог (рис. 12, *а*).

Наиболее часто при детальной планировке применяют для продольных профилей М 1 : 1000 и для вертикальных — М 1 : 100. Для удобства учета гидрогеологических условий и сокращения числа чертежей продольные профили улиц и дорог обычно совмещают с геологическими профилями (разрезами). При построении проектного продольного профиля (нанесении проектной линии) руководствуются следующими условиями:

1. Обусловленные нормами продольные уклоны следует создавать при минимально возможном объеме земляных работ по всей ширине улицы в пределах «красных линий». Для этого, проектируя продольный профиль по оси улицы (дороги), следует одновременно учитывать, какое влияние окажут продольные уклоны на объем земляных работ по созданию проектируемого поперечного профиля улицы.

Переломные отметки продольного профиля устанавливают с таким расчетом, чтобы при сохранении типовых элементов поперечного профиля и их нормативных поперечных уклонов по возможности сохранить существующие отметки поверхности земли вдоль «красных линий», что исключает необходимость перепланировки рельефа прилегающих территорий (рис. 12 *а*, *б*). При ограниченных поперечных уклонах местности указанное условие может достигаться за счет изменения поперечных уклонов газонов (уменьшения их с подуклонной стороны и увеличения с нагорной). При значительных поперечных уклонах (улицы на косогорах) часто возникает необходимость проектирования отдельных элементов улиц на разных уровнях с сопряжением террасовых участков при помощи откосов или подпорных стенок.

2. При местных неровностях рельефа продольные профили улиц и дорог надо проектировать методом секущих линий со срезкой отдельных выступающих участков и засыпкой срезанным грунтом пониженных мест (микропланирование рельефа).



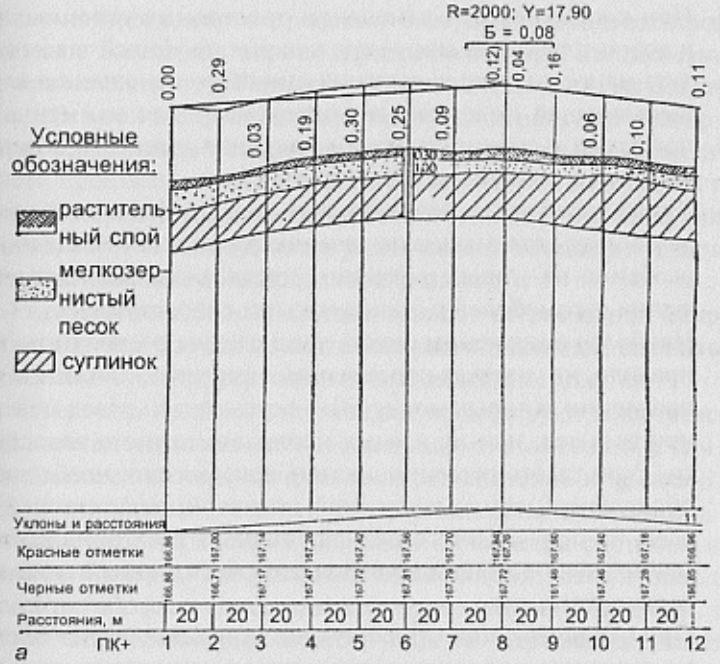



**Рис. 12, *а*.** Продольный профиль городской улицы (дороги), совмещенный с геологическим разрезом

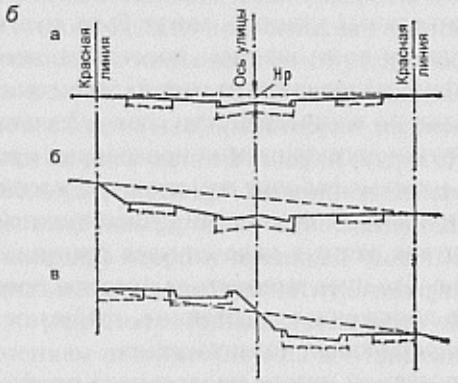



**Рис. 12, *б*.** Примеры поперечных профилей улиц в условиях различного рельефа:
*а — на равнинном участке; б, в — на косогорных участках, $H_р$ — руководящая отметка*

3. При необходимости изменения продольных уклонов улиц и дорог проектные линии продольных профилей также следует наносить в виде секущих линий по отношению к существующей поверхности, предусматривая наименьшие подсыпки и срезки грунта и возможное равенство объемов насыпей и выемок на соседних участках.
4. Число переломных точек продольного профиля следует ограничивать, стремясь к увеличению расстояния между ними, особенно на улицах и дорогах, предназначенных для движения автомобилей с повышенными скоростями.
5. Наиболее пониженные места улиц следует располагать, как правило, на участках пересечений с другими улицами, в направлении которых может быть осуществлен отвод поверхностных вод, или же в иных местах возможного водосброса. Если такого решения достичь невозможно, необходимо оборудовать улицы подземной ливневой канализацией на всем их протяжении с размещением во всех пониженных местах водоприемных колодцев для обеспечения отвода поверхностных вод.
6. При реконструкции существующих улиц и дорог необходимо сохранять по возможности капитальные сооружения, дорожные покрытия и другие элементы улиц. Если дорожные покрытия находятся в хорошем состоянии, то рабочие отметки на отдельных участках могут быть нулевыми или с незначительным возвышением проектных линий. В этом случае профиль исправляют за счет наращивания покрытий путем укладки по их поверхности слоя асфальтобетона.
7. Конечные точки проектируемых продольных профилей должны иметь нулевые рабочие отметки, т. е. проектная линия должна сопрягаться с отметками существующей поверхности. Вследствие этого в ряде случаев границы проектных профилей необходимо выводить за пределы проектируемых участков на достаточное расстояние, требуемое для сопряжения с существующей поверхностью.

Положение проектной линии продольного профиля характеризуется проектными отметками, уклонами и длиной участков между точками перелома продольного профиля. В точках изменения уклонов возникают углы, образующие выпуклые и вогнутые



переломы продольного профиля. Выпуклые переломы профиля ухудшают видимость дороги и вызывают удары автомобиля при переезде его через гребень. На вогнутых переломах под действием центробежной силы возникают толчок и перегрузка рессор. Для обеспечения плавности движения транспорта и видимости поверхности проезжей части на достаточном расстоянии в местах переломов продольного профиля прямолинейные в профиле участки должны сопрягаться кривыми радиальными вставками (выпуклыми и вогнутыми вертикальными кривыми).

Радиус вертикальных кривых зависит от расчетной скорости движения. Чем больше принятая скорость движения, тем большим должен быть радиус вертикальных кривых (см. табл. 8).

*Поперечные профили* улиц и дорог проектируют в соответствии с установленными элементами, входящими в их состав, в том числе с проезжей частью, центральной разделительной полосой, полосами озеленения (газоны), тротуарами, велодорожками, а также обочинами и кюветами для дорог с открытой системой водопровода. Поперечный профиль, отражающий все его составные элементы, называют *типовым конструктивным*, а профили, устанавливающие высотные отметки всех его переломных точек, — *рабочими профилями*.

Вертикальная планировка поперечных профилей должна быть полностью увязана с предварительно запроектированными отметками продольных профилей и выполнена с учетом рельефа прилегающих территорий, а также высотного расположения существующих опорных зданий и сооружений в условиях реконструкции. Рабочие поперечные профили проектируют перпендикулярно к оси улицы и дороги на расстоянии 20 м один от другого на застроенных участках и 100 м на дорогах при спокойном рельефе (рис. 13).

Тротуарам и газонам придают односкатную поверхность с поперечным уклоном в сторону проезжей части. Проезжим частям придают односкатную или двухскатную поверхность, при этом односкатную поверхность придают проезжим частям с односторонним движением шириной до 10,5 м. Проезжим частям с двухсторонним движением придают двухскатный профиль, а при значительной ширине — полигональный. Пешеходные дорожки обычно имеют параболические очертания (рис. 14).

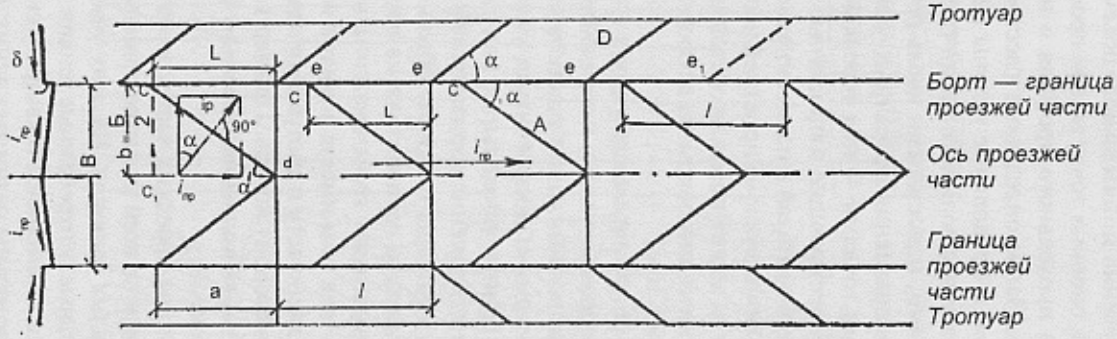



**Рис. 16.** Схема построения проектных горизонталей



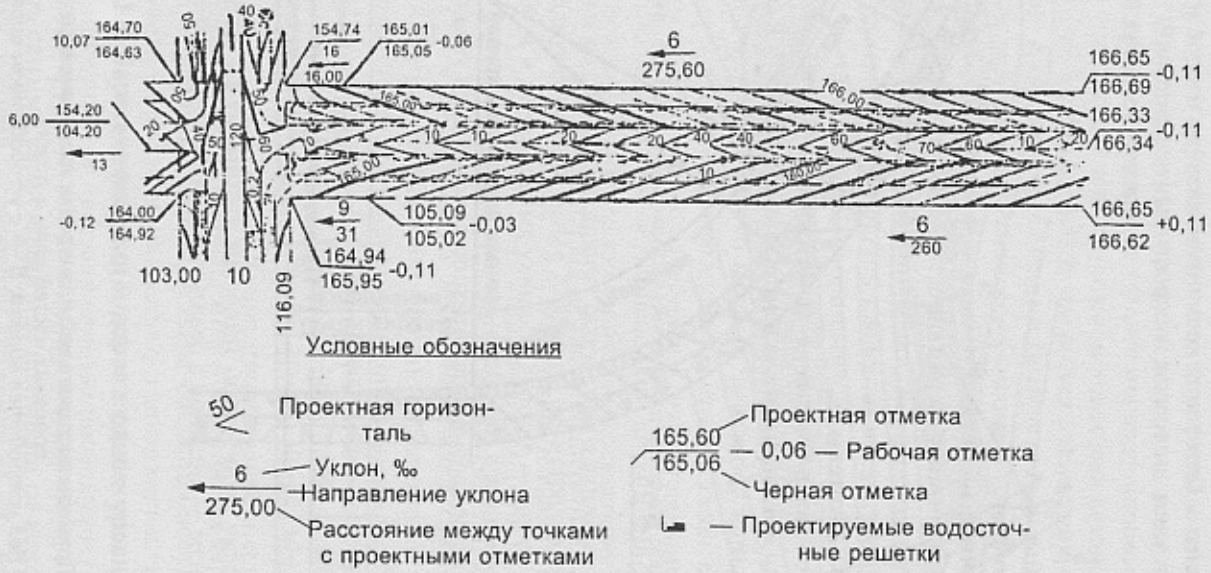



**Рис. 17.** Пример проекта вертикальной планировки участка городской улицы в проектных горизонталях

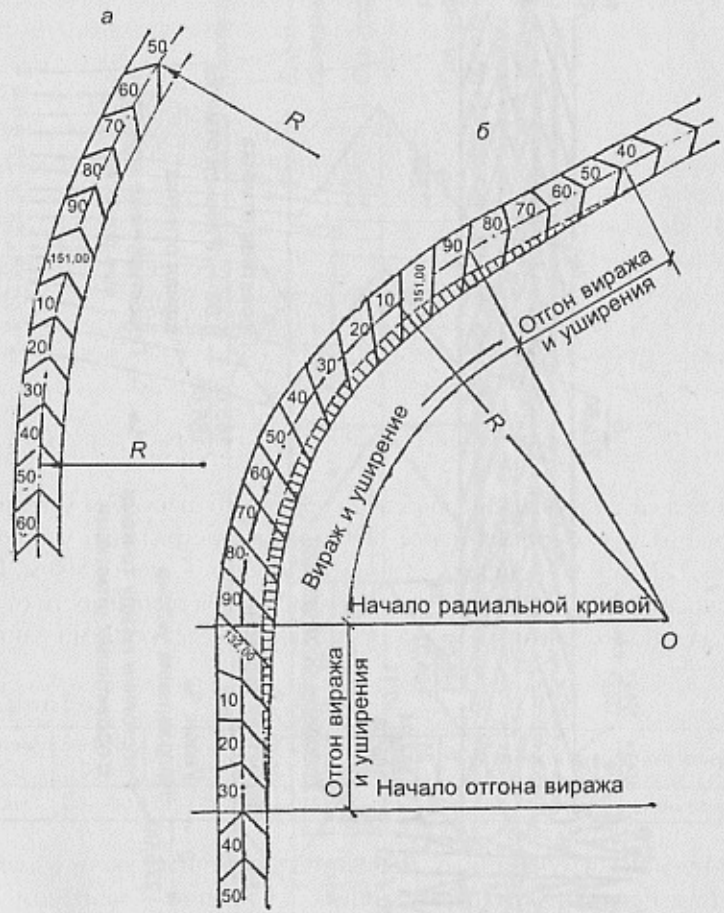



**Рис. 18.** Примеры вертикальной планировки криволинейных участков проезжих частей улиц и дорог:
*а — без устройства виража; б — с устройством виража при ограниченных радиусах кривых*



верхности дороги односкатный уклон (профиль) к центру кривой (рис. 18, 19). Односкатный профиль делают на всем протяжении основной круговой кривой.

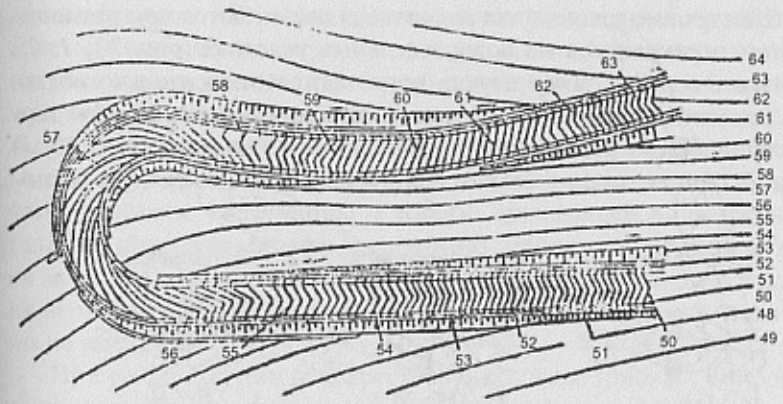


**Рис. 19.** Вираж на криволинейном участке горной дороги

Виражи на городских дорогах скоростного движения устраивают при радиусах кривых менее 2000 м; на магистральных улицах — менее 1200 м и на остальных улицах и дорогах — менее 800 м. Поперечные уклоны проезжих частей на виражах в зависимости от радиусов кривых принимают в соответствии со следующими данными (табл. 9):

Таблица 9

| Рисунки кривых в плане, м | 2000—1000 | 1000—700 | 700—650 | 650—600 | Менее 600 |
|---|---|---|---|---|---|
| Поперечные уклоны, ‰ | 20—30 | 30—40 | 40—50 | 50—60 | 60 |

Меньшие из указанных значений поперечных уклонов соответствуют большим радиусам кривых, а большие — меньшим.

## 2.6. Пересечения улиц и дорог в одном уровне

Решения вертикальной планировки пересечений улиц и дорог могут быть самыми различными в зависимости от конфигурации перекрестка, условий организации движения на них, рельефа, а в

отдельных случаях от наличия каких-либо сооружений у перекрестков, расположение и высотные отметки которых могут повлиять на проектные решения. Примеры вертикальной планировки простых перекрестков приведены на рис. 20.

Наилучшие условия для водоотвода достигаются при расположении перекрестков на водораздельных участках (рис. 20, *1*, *2*), однако в городах такие случаи встречаются относительно редко, так как улицы обычно проектируют по пониженным участкам территорий. Часто перекрестки располагают в тальвегах (рис. 20, *3*) или на односкатных участках территорий (рис. 20, *4*). При распо-

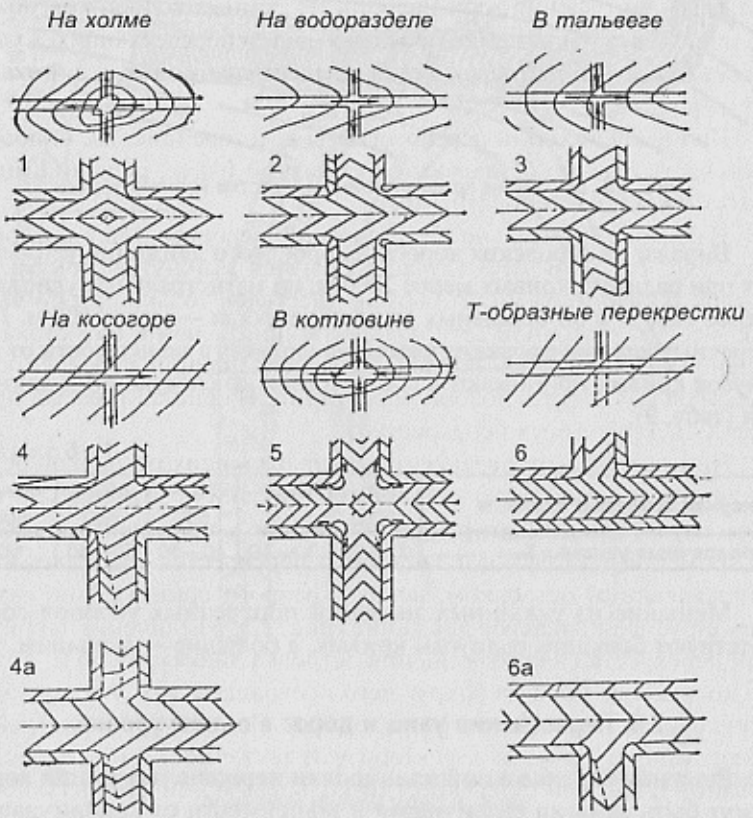



**Рис. 20.** Примеры вертикальной планировки простых перекрестков



ложении уличных перекрестков в тальвеге воду с лежащей выше части участка на лежащую ниже обычно перепускают по мелким лоткам на поверхность проезжей части. Эти перекрестки проектируют с таким расчетом, чтобы создавались наименьшие помехи для движения и не затапливались места пешеходных переходов. Для перехвата воды с верховых участков улиц перед пешеходными переходами устанавливают водоприемные колодцы подземной водосточной сети. При открытых водостоках под дорогами прокладывают перепускные трубы, соединяющие клюверты, расположенные на верховых и низовых участках территории. Поперечный профиль проезжей части улицы и дороги, проходящей в поперечном тальвегу направлении, при наличии подземных водостоков может не меняться, а сопряжение проезжих частей пересекающихся улиц на верховом участке перекрестка осуществляется так, как показано на рис. 20, *5*.

При расположении перекрестка на косогоре (рис. 20, *4*) проезжую часть обычно оставляют односкатной и т. д., решения могут быть самыми разнообразными.

Наименее желательно расположение перекрестков в котловинах (рис. 20, *5*). В этом случае образуется замкнутый контур, из которого водоотвод может быть осуществлен только при помощи закрытой водосточной сети. Однако и при наличии водостока не исключена полностью возможность подтопления перекрестков. Желательно избегать подобной ситуации. На рис. 21 показан пример Х- и Т-образных перекрестков.

При наличии на перекрестке направляющих островков безопасности принцип вертикальной планировки не изменяется, и в этом случае принимают решения, близкие к приведенным выше, — пример вертикальной планировки перекрестка с центральным направляющим островком, вокруг которого организовано саморегулируемое кольцевое движение (рис. 22). Увеличение территории перекрестка для размещения островка диаметром 60 м, а также кольцевого проезда вокруг него превращают по существу этот перекресток в транспортную площадь. Поэтому приводимый и последующие примеры характеризуют также принципы проектирования площадей с перекрестно-кольцевым или саморегулируемым движением.

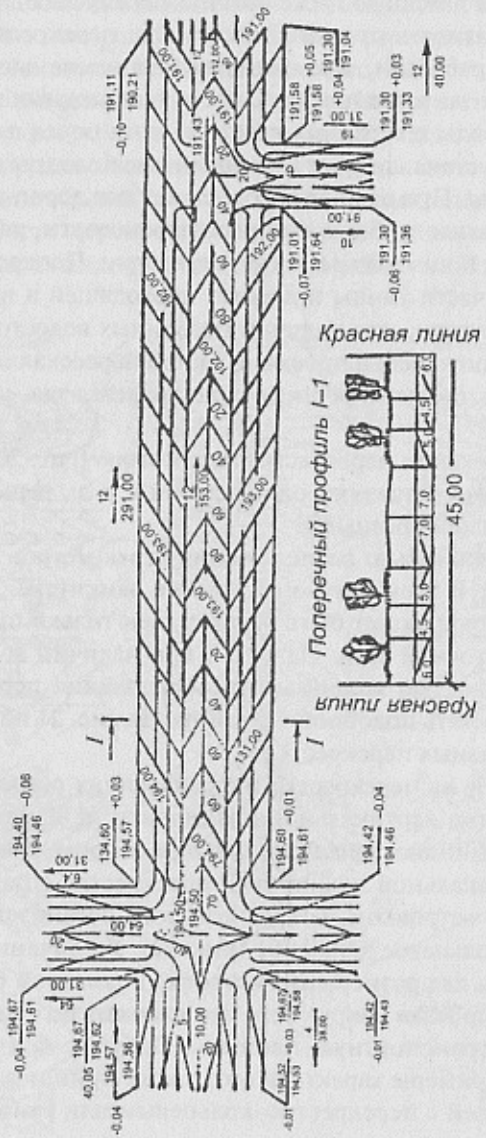



Рис. 21. Проект вертикальной планировки участка улицы с Х- и Т-образными перекрестками



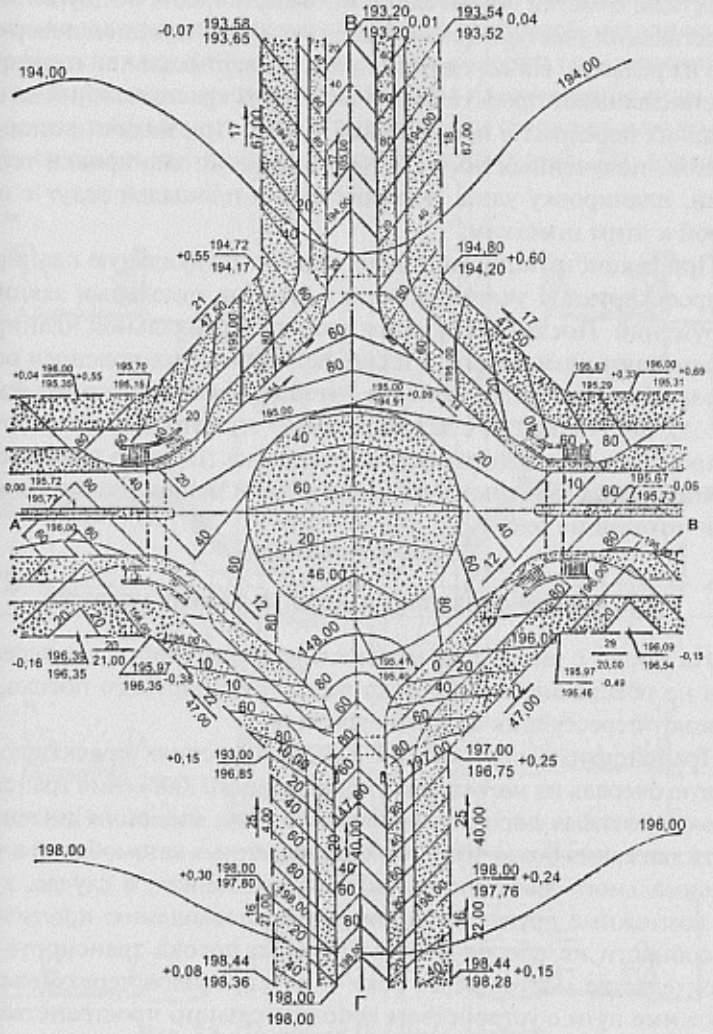


Рис. 22. Вертикальная планировка перекрестка с центральным направляющим островком

Вертикальную планировку улиц проектируют в границах между их «красными линиями», а в тех случаях, когда существующие проектные отметки значительно отличаются одна от другой, и на прилегающих участках до сопряжения с существующей поверхностью их рельефа. На основании проектов вертикальной планировки устанавливают проектные отметки вдоль красных линий во всех точках их перелома в профиле или плане. При наличии опорных отметок, полученных по схеме вертикальной планировки территории, планировку улиц, перекрестков и площадей ведут с привязкой к этим отметкам.

При реконструкции улиц и площадей вертикальную планировку проектируют с учетом опорных отметок отдельных зданий и сооружений. После составления проекта вертикальной планировки намечают размещение в плане водоприемных колодцев водостоков. Колодцы размещают так, чтобы их решетки перехватывали воду, поступающую с лежащих выше территорий, и исключался пропуск ее на поверхность перекрестка. Пример размещения водоприемных колодцев перед наземными пешеходными переходами показан на рис. 22.

## 2.7. Пересечения улиц и дорог в разных уровнях

На улицах с интенсивным движением транспорта, где перекрестки не обеспечивают пропуска всего транспортного потока, сооружают пересечения в разных уровнях.

Транспортные пересечения в разных уровнях проектируют в первую очередь на магистралях непрерывного движения транспорта и скоростных дорогах; на пересечениях, имеющих интенсивность движения более 4000—6000 приведенных автомобилей в часы максимального движения во всех направлениях; в случае, когда все возможные другие мероприятия по повышению пропускной способности не обеспечивают пропуска потока транспорта при строительстве мостов через реки и путепроводов через железнодорожные пути с устройством дополнительного пространства под ними для пропуска транспорта.

Транспортные пересечения в разных уровнях — это инженерное сооружение, обеспечивающее в местах пересечения улиц и в узловых пунктах прокладку проезжих частей в различных плоскостях. Разнообразие местных условий в городах предопределяет большое разнообразие транспортных пересечений в разных уровнях. В практике проектирования и строительства применяют пересечения в двух, трех и четырех уровнях. При этом исходя из топографических условий конструкции инженерных сооружений на транспортных пересечениях подразделяют на следующие виды: путепроводы тоннельного типа с подпорными стенками или земляными откосами на подходах к ним (пандусах) (рис. 23); путепро-



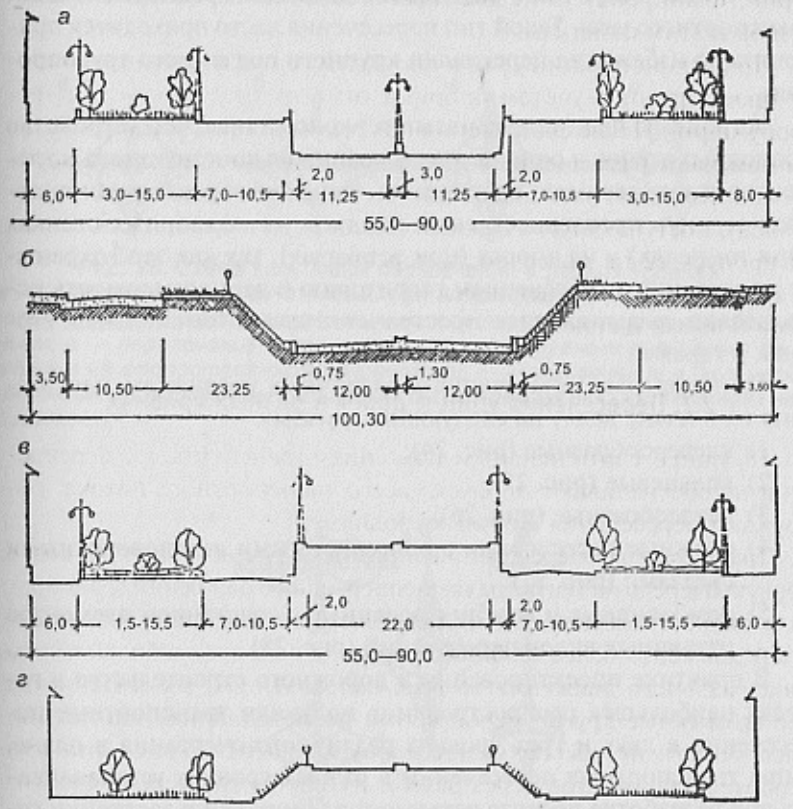



**Рис. 23.** Поперечный разрез пандуса:
*а — с подпорными стенками на подходах к путепроводу тоннельного типа; б — с земляными откосами на подходах к путепроводу; в — расположенного в насыпи на подходах к путепроводу эстакадного типа; г — расположенного в насыпи с откосами*

воды эстакадного типа с пандусами, расположенными на железобетонных опорах либо на грунтовом полотне (насыпи) с откосами; полутоннели и полуэстакады (полувыемки, полунасыпи); сочетание тоннелей и эстакад. Последние применяют при проектировании транспортных пересечений в трех и более уровнях.

Полутоннели и полуэстакады проектируют в целях сокращения глубины заложения тоннеля и высоты насыпи, а также длины пандусов, которые в отдельных случаях из-за недостаточной ширины улицы могут быть размещены только в пределах площади транспортного узла. Такой тип пересечения часто приходится применять во избежание перекладки крупного подземного трубопровода.

Устройство пандусов на насыпях экономичнее, чем устройство подпорных стенок и опор за счет сокращения конструктивных элементов искусственного сооружения. Однако в городах рекомендуется строить преимущественно пандусы на подпорных стенках (при тоннелях) и на опорах (при эстакадах), так как это сокращает занимаемую пересечением территорию и дает возможность использовать подэстакадное пространство для автомобильных стоянок и гаражей.

Транспортные пересечения в различных уровнях по начертанию их в плане делят на следующие группы:

1) клеверообразные (рис. 24);
2) кольцевые (рис. 25);
3) петлеобразные (рис. 26);
4) сложные пересечения с обособленными левоповоротными съездами (рис. 27);
5) ромбовидные и комбинированные с сочетанием элементов различных видов пересечений (рис. 28).

В практике проектирования и дорожного строительства в городах наибольшее распространение получили транспортные пересечения в двух и трех уровнях различного очертания в плане. Типы транспортных пересечений в разных уровнях устанавливают при разработке проекта детальной планировки и застройки города или отдельного района. По запроектированному транспортно-планировочному решению узла пересечения в проекте «красных линий», выполненном в М 1 : 2000, резервируют территорию для его размещения.



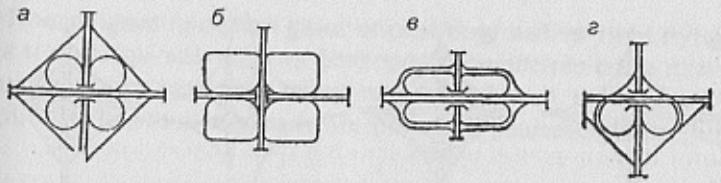



**Рис. 24.** Схема клеверообразных пересечений в разных уровнях:
*а — полный «клеверный лист»; б — «клеверный лист» с объездом кварталов; в — сплющенный «клеверный лист»; г — неполный «клеверный лист» (с регулированием левых поворотов)*

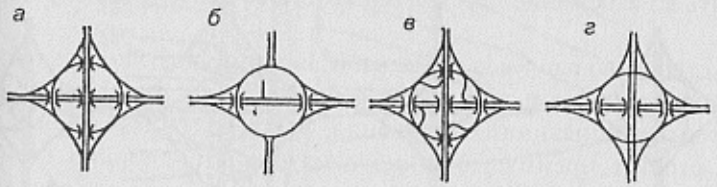



**Рис. 25.** Схема кольцевых пересечений в разных уровнях:
*а — улучшенное кольцо с пятью путепроводами; б — пересечение в трех уровнях с саморегулируемым кольцевым левоповоротным движением; в — пересечение в двух уровнях с регулируемым кольцевым движением на второстепенном направлении; г — пересечение в двух уровнях с саморегулируемым кольцевым движением на второстепенном направлении*

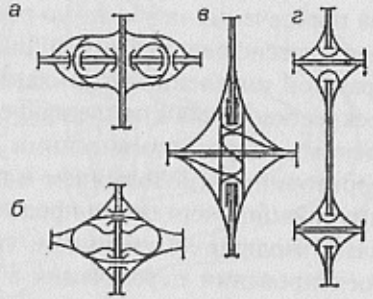



**Рис. 26.** Схема петлеобразных пересечений в разных уровнях:
*а — улучшенная двойная петля; б — двойная петля; в — пересечение в двух уровнях с регулируемым движением на второстепенном направлении; г — пересечение в двух уровнях с пропуском левоповоротного движения через соседние узлы*

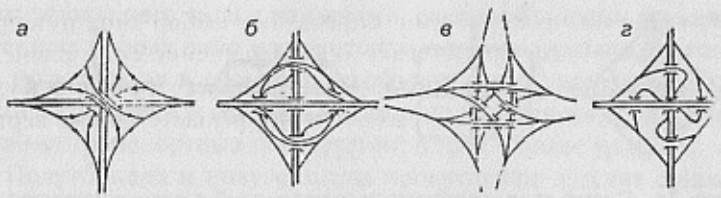



**Рис. 27.** Схема сложных пересечений в разных уровнях:
*а — в четырех уровнях; б — турбинный тип; в — пересечение с путепроводами; г — винтовой тип*

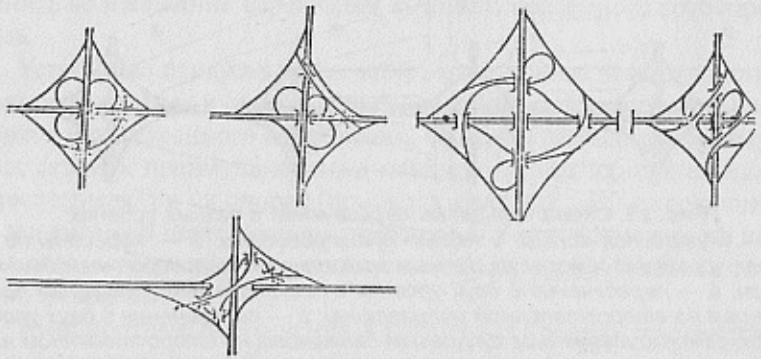


**Рис. 28.** Схемы комбинированных пересечений в разных уровнях

При выборе типа пересечения необходимо располагать следующими материалами: классификацией входящих в узел улиц по категориям, картограммой интенсивности и характера движения на площади или перекрестке, планом прилегающей территории на геодезической подоснове, гидрогеологическими условиями прилегающей к узлу территории, расположением и глубиной залегания подземных коммуникаций, чертежами продольных и типовых поперечных профилей, входящих в узел улиц, типом дорожного покрытия. При проектировании пересечения в разных уровнях необходимо учитывать геологический состав грунтов и уровень стояния грунтовых вод, которые определяют условия производства работ по строительству искусственных сооружений, глубину заложения фундаментов опор и подпорных стенок и конструкцию путепровода.



Продольные профили улиц определяют выбор типа путепровода и с учетом всех других факторов размещение его в плане. В зависимости от характера продольных профилей, входящих в узел улиц, направления уклонов и их значений решается также верти-

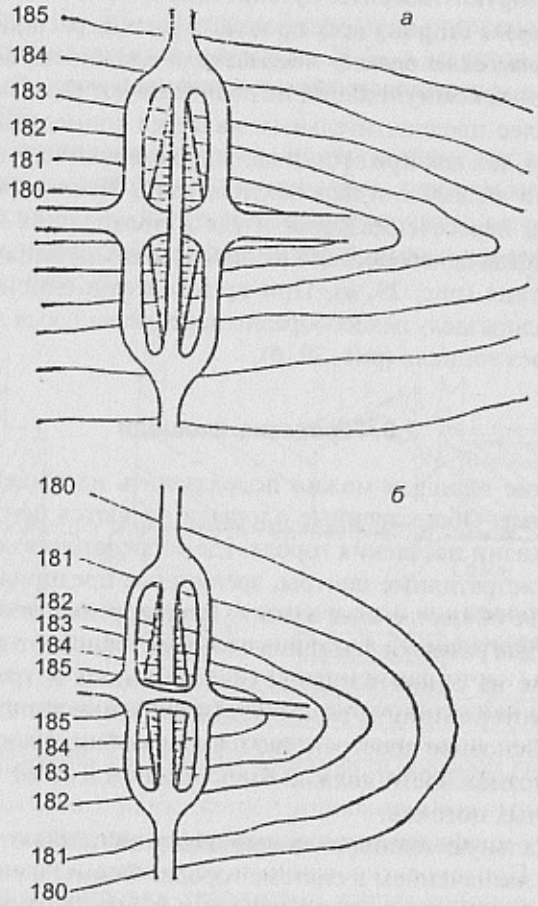



**Рис. 29.** Схема пересечений в разных уровнях эстакадного и тоннельного типа:
*а — перекрытие тальвега эстакадой; б — пересечение водораздела тоннелем*

кальная планировка узла с пересечением в разных уровнях. Продольные уклоны улиц, вдоль которых размещают путепровод, определяют длину его пандусов, а следовательно, и общую протяженность искусственного сооружения (тоннеля, эстакады).

В соответствии с поперечными профилями входящих в узел улиц проектируют габариты путепровода и прилегающих к нему съездов, а также ширину всех проезжих частей, расположенных в пределах узла. Если рельеф местности и сложность переустройства подземных коммуникаций не препятствуют размещению тоннеля, то более предпочтительным является тоннельный вариант пересечения, так как при этом в меньшей степени нарушаются архитектурный ансамбль и перспектива улиц. Исключение составляют случаи пересечения дорог и улиц, проходящих в оврагах и тальвегах, когда целесообразно их перекрывать путепроводами эстакадного типа (рис. 29, *а*). При прохождении одной из улиц и дорог по водоразделу целесообразно пересекающуюся дорогу пропустить через тоннель (рис. 29, *б*).

## 2.8. Городские площади

Городские площади можно подразделить на общественные и транспортные. Общественные площади являются центром общественной жизни населения города, где сосредоточиваются основные административные центры, зрелищные предприятия, торговые и прочие общественные здания. Транспортные площади предназначены для развязки движения сложных транспортных потоков. Соединение на одной площади общественных и транспортных функций, которое иногда возникает (вокзальные площади), нежелательно. Основное пространство площади общественного назначения по возможности должно быть освобождено от транзитных транспортных потоков.

Вертикальную планировку площадей выполняют в соответствии с их назначением в системе города. Формы и размеры площадей определяются транспортными и пешеходными потоками, их направлением, пропускной способностью и числом вливающихся в площадь улиц. На форму поверхности площади влияют рельеф и высотное положение входящих в нее улиц, система водоотвода, а также архитектура застройки площади в целом. Особенно



важно для поверхности площадей, чтобы с одного тротуара был виден другой на противоположной стороне. Это позволяет обеспечить зрительно восприятие площади как единого целого. Для соблюдения этого условия поверхность площади проектируют по сложной кривой со следующим чередованием поперечных уклонов: от лотка — 30‰, далее — 20, ближе к оси — 15 и непосредственно у оси 10—5‰. Продольные уклоны поверхности городских площадей не должны превышать 30‰, а автостоянок — 20‰. Продольный уклон площади прямоугольной формы должен быть не более 15‰.

Условие организации рельефа на территории площадей следует определять в каждом конкретном случае с учетом местных природных факторов, архитектурно-планировочного решения, обеспечения беспрепятственного и быстрого стока и удаления поверхностных вод (рис. 30).

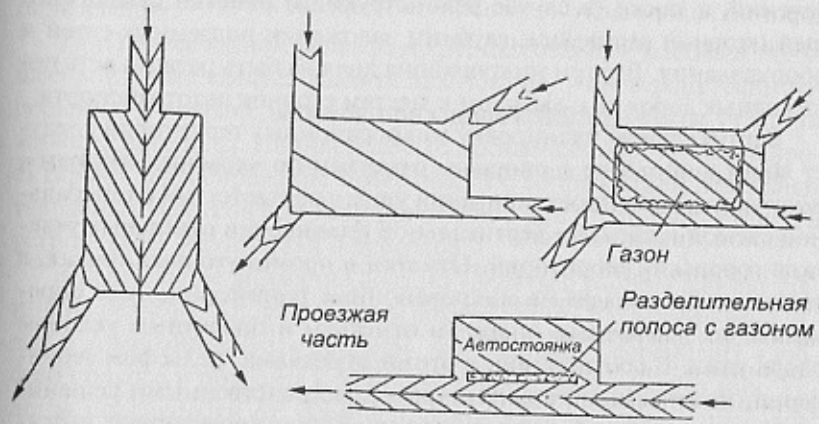



**Рис. 30.** Примеры организации поверхности городских площадей

## 2.9. Микрорайонные территории

Принцип планировки территории жилых районов в виде укрупненных кварталов и микрорайонов позволяет надежно изолировать жилые дома от уличного шума, удовлетворять потребность населения в отдыхе и отказаться от сплошной периметральной застройки и сооружения угловых домов, применяя принцип свобод-

ной застройки. При такой планировке уменьшаются затраты на устройство улиц, проездов и вертикальную планировку, а также более экономично решаются вопросы инженерного оборудования, благоустройства кварталов и эксплуатации территории и зданий, чем при строительстве кварталов мелких размеров.

Основные задачи вертикальной планировки микрорайонов города заключаются в высотном размещении путей для внутримикрорайонного транспорта и пешеходного движения, а также в правильном и экономичном размещении избыточных масс грунта, получаемых из котлованов под здания и от прокладки подземных сетей. Вертикальная планировка микрорайона оказывает заметное влияние на архитектурно-планировочное решение, на целесообразное высотное размещение зданий внутри района.

Исходными данными для вертикальной планировки микрорайонов являются проектные отметки окружающих улиц и их пересечений, а также (в случае реконструкции) отметки существующей опорной застройки, глубины заложения подземных сетей и оборудования. Внутри микрорайона должна быть развита сеть пешеходных дорожек с выходом к местам стоянок автотранспорта.

Вертикальную планировку микрорайонных территорий следует вести в привязке к опорным отметкам по «красным линиям», получаемым при проектировании улиц в соответствии с генеральной схемой и схемами вертикальной планировки отдельных участков городских территорий. Отметки в промежуточных точках, в том числе на въездах на микрорайонные территории, надо определять по задаваемым опорным отметкам и проектным уклонам вдоль улиц. В соответствии с этими отметками, рельефом территории, намечаемыми архитектурно-пространственными решениями, типами зданий и условиями застройки проектируют вертикальную планировку территории.

При проектировании вертикальной планировки микрорайонных территорий сток дождевых вод предусматривают в направлении прилегающих улиц с размещением перед ними водоприемных колодцев водосточной сети. При расположении микрорайонных территорий на пониженных участках по отношению к лоткам проезжих частей прилегающих улиц, в частности на косогорных участках, следует принимать решения, исключающие возможность попадания поверхностных вод с улиц на микрорайонные территории. Для этого примыкающие к улицам микрорайонные проезды приподнимают по отношению к лоткам улиц, устанавливая въездные борта, а проездам на протяжении 20—25 м придают уклон (10—20‰ в сторону улиц).



Тротуары также возвышают над проезжими частями улиц (на 15 см) и придают им поперечный уклон в сторону проезжей части. В местах примыкания микрорайонных проездов к улицам продольные уклоны проездов не должны превышать 20—30‰.

При проектировании микрорайонных территорий оптимальные решения могут быть достигнуты только в результате компромиссного решения горизонтальной и вертикальной планировки, а также благоустройства этих территорий.

Малопригодные для застройки участки территории могут быть отведены под озеленение. На больших площадях участков устраивают внутримикрорайонные сады или же сады и парки общего пользования.

При пересеченном рельефе и крупных зеленых массивах большое внимание следует уделять архитектурно-пространственному решению и сохранению или приданию проектируемым участкам живописного вида. На участках со сложным рельефом иногда проектируют террасирование поверхности с сопряжением отдельных террасных участков при помощи откосов или подпорных стенок и устройством лестниц для пешеходов.

Значительное внимание должно уделяться расположению зданий на рельефе. Кроме решения архитектурно-планировочных задач и композиционных проблем, необходимо обеспечивать удобство подхода и подъезда к зданиям, а также водоотвод от них. Уклоны поверхности от зданий проектируют в сторону проездов, особенно от зданий с цокольными этажами. При удалении проезда от здания на 3 м отметка отмостки здания у него должны быть выше отметки лотка проезда не менее чем на 18 см из расчета высоты борта проезда 15 см и поперечного уклона тротуара не менее 10‰. При расположении зданий с цокольными этажами длинной стороной поперек горизонталей условия вертикальной планировки обычно значительно усложняются (рис. 31). Из чего видно, что такое расположение здания приводит к необходимости террасирования рельефа, к усложнению подъезда к нему и приданию от-

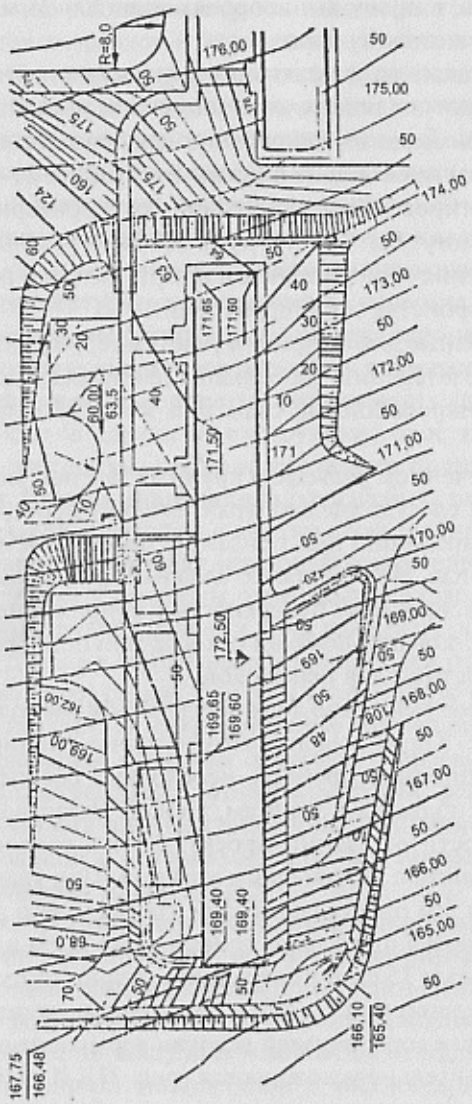



**Рис. 31.** Вертикальная планировка участка микрорайонной территории



дельным проездам и тротуарам повышенных уклонов, что создает заметное неудобство и опасность для движения.

Уклоны микрорайонных проездов и тротуаров должны быть в пределах допустимых. При больших уклонах местности уменьшение продольных уклонов внутриквартальных проездов создают путем соответствующего их террасирования или устройства выемок и насыпей. При проектировании на микрорайонных территориях площадок, газонов и других благоустроенных участков им придают уклоны, обеспечивающие беспрепятственный сток дождевых и талых вод в водоотводящие устройства на территории микрорайонов или прилегающих к ним улиц.

Площадки различного назначения на территориях микрорайона проектируют с разной формой поверхности. Хозяйственные или детские площадки устраивают в основном одно- или двухскатными с уклоном 5—30‰, спортивные — обычно с двухскатной поверхностью (реже — с четырехскатной) с продольным и поперечным уклонами 4—5‰. Учитывая малые уклоны, поверхность спортивных площадок планируют особенно тщательно и предусматривают повышение их над прилегающей территорией на 0,5 м или более для обеспечения стока поверхностных вод и быстрого высыхания поверхности после дождя.

## 2.10. Особые условия вертикальной планировки. Подсчет объемов земляных работ

***Сложный рельеф.*** Территорию со сложным рельефом можно осваивать с небольшими изменениями или радикальной перепланировкой поверхности. Последнее решение связано с большими расходами, особенно при наличии скальных или других трудноразрабатываемых грунтов, поэтому оно должно быть обосновано технико-экономическими расчетами.

Коренные изменения рельефа в большинстве случаев не вызываются необходимостью. Иногда целесообразна срезка лишь отдельных возвышенностей или засыпка оврагов и котловин. Практика показывает, что при правильной планировке территорий, расположении зданий, проложении внутриквартальных дорог и тротуаров, размещении зеленых насаждений самые сложные территории можно осваивать без существенных изменений рель-

Отдельные террасные участки сопрягают путем устройства откосов или подпорных стенок. Откосы засевают травой или одерновывают, что обеспечивает их укрепление и создает декоративное оформление. Для исключения размыва вдоль откосов с нагорной стороны устраивают лотки для приема поверхностных вод и отвода их в водосточную сеть.

***Участки с малыми уклонами.*** Для обеспечения беспрепятственного стока воды поверхности придают уклон (не менее 4‰) в сторону водоотводящих сооружений. Исключение составляют озелененные участки территорий в условиях жаркого климата, а также участки с водонепроницаемыми (гидрофильными) грунтами, способными поглощать воду. Если уклон недостаточен, необходимо произвести планировку территории с подсыпкой и срезкой грунта.

При проложении улиц и дорог по безуклонным участкам территории им приходится придавать пилообразный профиль с размещением в пониженных местах водоприемных устройств ливневой канализации. При больших расстояниях между точками перелома профиля возникает необходимость в значительных насыпях и выемках, обусловливающих большой объем земляных работ. При частичных же изменениях направлений уклонов создаются неблагоприятные условия для движения транспорта. Поэтому на участках с незначительными уклонами или на горизонтальных участках (набережных) пилообразный профиль проектируют только вдоль водоотводящих лотков, а профильный уклон по оси проезжей части сохраняют равным существующему уклону местности или даже горизонтальным. При этом поверхности проезжей части придают переменные поперечные уклоны на площади шириной до 1,5 м, приближенной к лоткам проезжей части, где транспорт при остановках движется на малых скоростях.

На рис. 33 представлены продольный профиль по лотку и план с проектными горизонталями на проезжей части улицы, имеющей пилообразный профиль. В пониженных местах лотков предусмотрена установка водоприемных решеток. При минимальном возвышении бортов над лотками проезжей части на водораздельных участках, равном 8 см, максимальном (у водоприемных решеток), равном 20 см, и при продольном уклоне лотков 4‰, расстояние между водоприемными решетками



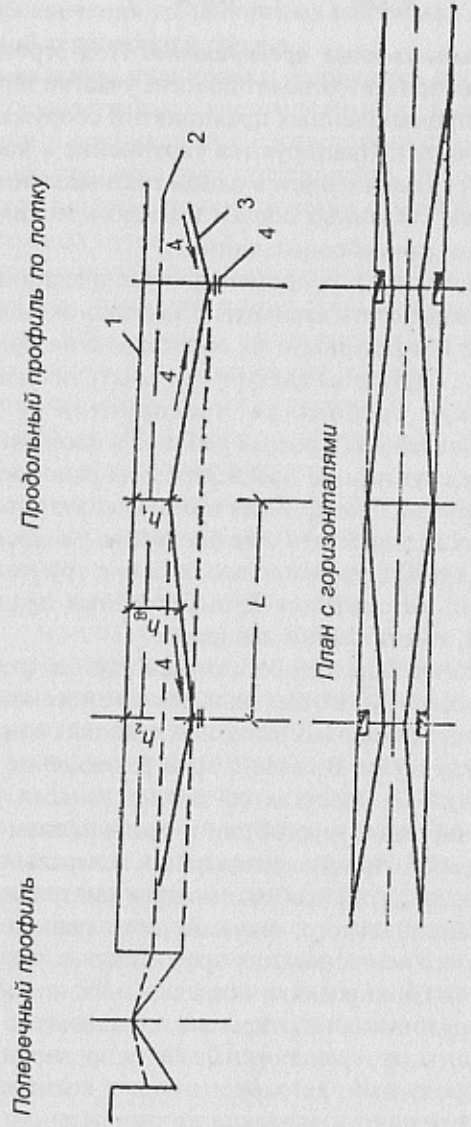



**Рис. 33.** Вертикальная планировка проезжих частей на участках улиц с малыми уклонами или на горизонтальных участках (для наглядности соотношение горизонтального и вертикального масштабов профилей принято 1 : 10):
*1 — поверхность борта; 2 — уровень оси проезжей части; 3 — профиль лотка; 4 — водоприемные решетки*

$$L = 2l = 2\left(\frac{h2 - h1}{0{,}004}\right) = 2\left(\frac{0{,}20 - 0{,}08}{0{,}004}\right) = 60 \text{ м}.$$

***Территории промышленных предприятий.*** Под строительство промышленных предприятий отводят пологие участки территорий. Для современных промышленных предприятий сооружают крупные корпуса (тысячи м$^2$). Планируются укрупнение и кооперирование предприятий с соединением в одном промышленном районе ряда производств, связанных общим технологическим процессом и использующих конвейерные линии.

При выборе площадки под промышленные предприятия сначала необходимо разработать варианты с технико-экономическими обоснованиями и в результате их сопоставления принять оптимальное решение. При этом следует учитывать производственно-технологические требования предприятий и характер размещения промышленных и жилых районов в населенном пункте, транспортное обслуживание населения этих районов, получение и доставку сырья на предприятия и реализацию готовой продукции. Следует также учитывать условия энерго-, водоснабжения и канализования, климат, уровень паводковых и грунтовых вод и рельеф территории, который для промышленных предприятий, особенно крупных, имеет важное значение.

Условия технологических процессов в ряде случаев требуют проектирования корпусов, полы в отдельных помещениях которых должны размещаться на одинаковых высотных отметках или с небольшой разницей между ними. В связи с этим размещение промышленных предприятий на участках со значительными уклонами связано с перепланировкой территории и выполнением большого объема земляных работ. При проектировании генеральных планов промышленных предприятий необходимо предусматривать организацию наиболее рационального, экономичного технологического процесса, правильного использования производственных площадей с возможно большим блокированием отдельных зданий или размещением части оборудования на открытых площадках.

Необходимо учитывать транспортные связи предприятий с внешними железнодорожными, автодорожными и водными магистралями, а также сеть внутризаводских автомобильных дорог, а в отдельных случаях — и железнодорожных путей. При значительных территориях, которые занимают отдельные предприятия, входящие в промышленный комплекс, проектируют сквозные проезды для обеспечения транспортных связей каждого предприятия с селитебной территорией города.



Вертикальную планировку территорий промышленных предприятий осуществляют с учетом взаимного высотного расположения зданий и сооружений в соответствии с требованиями технологического процесса этих предприятий, используя для привязки имеющиеся опорные точки (отметки существующих зданий, железнодорожных путей и т. д.).

При наличии отдельно располагаемых цехов предприятий площадки для них, имеющие длину ската поверхности более 100 м и уклон более 30‰, обычно планируют террасами с сопряжением последних откосами, а в стесненных условиях — подпорными стенками. Пандусы (спуски) между террасами предусматривают с уклонами не более 60‰ с учетом пропуска по ним тяжелогрузных автомобилей, авто- и электрокаров.

Вертикальную планировку дорог промышленных предприятий, проходящих вдоль цеховых зданий, заезд в которые можно осуществлять с различных сторон, необходимо проектировать в увязке с отметками полов первого этажа зданий. Это требует проектирования дорог с минимальными продольными уклонами. В ряде случаев дороги проектируют безуклонными, придавая уклоны лишь лоткам проезжих частей с созданием пилообразного профиля вдоль них.

На территориях предприятий тупиковые железнодорожные ветки проектируют горизонтальными или с уклонами до 2,5‰. Горизонтальными устраивают участки путей вдоль складов или пакгаузов, когда уровни платформ и пола склада должны совпадать с уровнем пола подходящих железнодорожных вагонов.

Указанные требования усложняют вертикальную планировку территорий предприятий и отвод с нее поверхностных вод. Для обеспечения поверхностного стока воды с территорий, уклоны которых менее 5‰, необходимо тщательно планировать ее поверхность и оборудовать площадки развитой сетью водоприемных и водоотводящих устройств. Промышленные площадки обычно оборудуют закрытой водосточной сетью. Как временное решение может быть принято устройство открытого водоотвода (с кюветами).

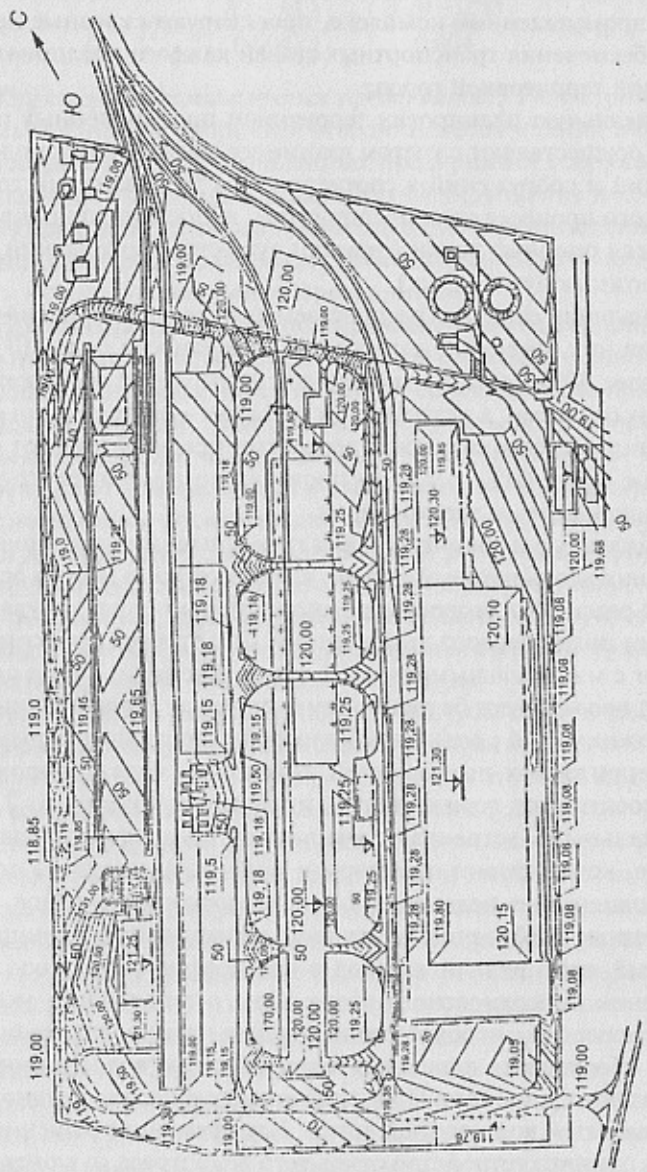



Рис. 34. Вертикальная планировка территории промышленного предприятия



Проекты вертикальной планировки выполняют методом горизонталей. При малых продольных уклонах лотков и кюветов иногда дополнительно проектируют продольные профили. Пример вертикальной планировки территории промышленного предприятия, выполненной в проектных горизонталях, показан на рис. 34.

***Реконструктируемые участки.*** На территориях, подлежащих реконструкции, проектирование горизонтальной и вертикальной планировки значительно усложняется из-за существующих объемов, расположение которых в плане и по высоте ограничивает, а иногда предопределяет планировочное решение.

При проектировании вертикальной планировки необходимо учитывать как отметки у отдельных зданий и сооружений (отметки мостов, тоннелей, входов в здания), которые следует по возможности сохранять, так и отметки, которые можно изменять лишь в допустимых пределах. Так, например, высотные отметки поверхностей над некоторыми подземными сооружениями, если глубина этих сооружений является минимально допустимой, могут быть только повышены. Отметки тротуаров вдоль зданий при наличии оконных приямков подвальных и полуподвальных помещений повышать не следует, однако их можно несколько понизить в зависимости от типов и глубины заложения фундаментов зданий.

Если же не представляется возможным выполнить указанные выше условия, то приходится прибегать к сложным планировочным решениям или реконструктивным мероприятиям: освобождать подвальные помещения, переустраивать входы в здания, встраивать внутренние лестницы, перекладывать подземные сети и т. д. Ввиду значительной стоимости проведения этих мероприятий следует по возможности их избегать и найти такое решение горизонтальной и вертикальной планировки, при котором все опорные сооружения были бы сохранены. В ряде случаев прибегают к террасированию территории с устройством откосов, подпорных стенок и лестниц.

Примеры проектирования поперечных профилей реконструктируемых улиц приведены на рис. 35. Реконструкция связана с необходимостью расширения проезжей части улиц и уменьшения их продольных уклонов. При необходимости сохранения отметок вдоль уличной застройки на участках, где исправление продоль-

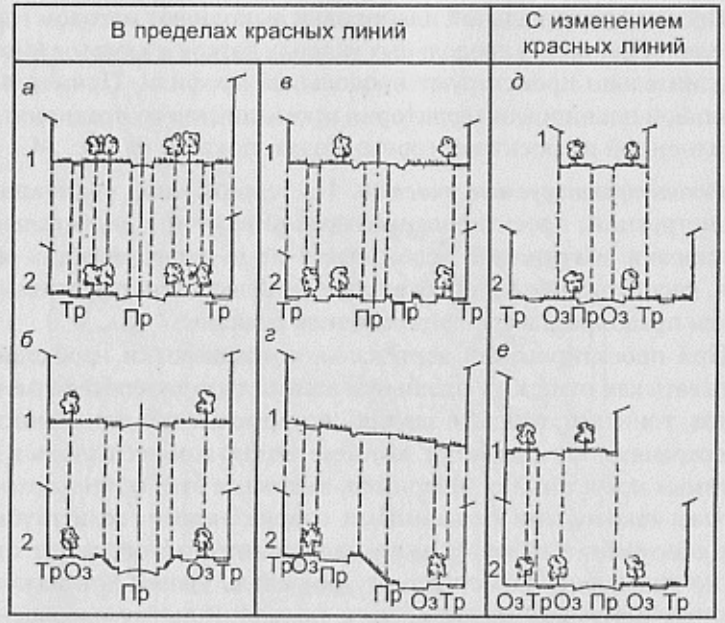



**Рис. 35.** Примеры изменений поперечных профилей улиц при их реконструкции:
*а — с уширением проезжей части улицы; б — с изменением продольного профиля проезжей части улицы; в — с сохранением проезжей части и постройкой новых; г — с устройством двух проезжих частей для одностороннего движения (улица на косогоре); д — со сносом застройки по обеим сторонам улицы; е — со сносом застройки вдоль одной из сторон улицы; 1 — существующие профили; 2 — проектные профили; Тр — тротуары; Пр — проезжие части; Оз — озеленение*

ного профиля проезжей части связано со значительным повышением или понижением ее поверхности, устройство насыпей или выемок предусматривают не по всей ширине улицы, а только на проезжей части и смежных с ней элементах, с сопряжением соседних участков улицы с разными отметками при помощи откосов или подпорных стенок.

Для обеспечения подъезда к зданиям и заезда в микрорайоны на улицах, на которых проезжие части на большом протяжении пролегают в выемках или насыпях, обычно устраивают местные проезды у тротуаров вдоль застройки. Местные проезды устраивают также при выделении центральной проезжей части для скоростного транспорта. Если же ширина улицы ограничена, предусматривают въезды на микрорайонные территории и подъезды к зданиям со стороны других прилегающих к микрорайону улиц.



***Подсчет объема земляных работ*** производят для определения их стоимости, выбора методов и средств производства работ, а также установления количества потребного для планировочных работ грунта или же его излишков. При нехватке или избытке грунта в первую очередь следует учитывать ближайшие строительные объекты, с которых можно его получить или где можно использовать избыток грунта для подсыпки территории. Если отсутствуют грунты вблизи строящегося объекта или имеющиеся грунты не отвечают строительным требованиям, планируют получать его из карьеров. Если излишки грунтов нельзя использовать на перепланировку территории, их отвозят на свалку.

Как известно, наибольшей составляющей стоимости земляных работ являются транспортные расходы. В связи с этим вертикальную планировку следует вести с учетом минимальных перемещений земляных масс, чтобы объемы насыпей и выемок на отдельных объектах балансировались, а земляные работы производились с применением землеройно-транспортных машин (бульдозеры, автогрейдеры и скреперы) без перегрузочных работ. При этом надо учитывать объем грунта, извлекаемого из-под зданий, корыта проезжих частей, тротуаров и т. д.

Результаты подсчетов объема земляных работ служат, в частности, материалом для экономической оценки вариантов решений, предложенных в проектах вертикальной планировки. Объем земляных работ также предопределяет выбор способов организации работ по вертикальной планировке и ее очередность, кроме того, он влияет на очередность застройки и благоустройство отдельных районов города. Поэтому еще до составления проектов вертикальной планировки необходимо обследовать возможные для подсыпки участки, места понижения рельефа, участки, предназначенные для устройства парков и скверов, овраги, места бывших свалок, набережные и т. п.

Объем земляных работ подсчитывают различными способами: по продольным и поперечным профилям, по «красным» горизонталям, квадратам и др. При всех способах подсчета определяют гео-

метрический объем земляного массива для естественно залегающего грунта при определенной его пористости (наличие пустот между частицами грунта). В процессе выемки происходит разрыхление грунта, которое называют первоначальным. Его учитывают при расчете транспорта, так как при транспортировании грунта из выемки вместо одной единицы объема приходится нагружать и вывозить $1 + n/100$ объема разрыхленного грунта (где $n$ — разрыхление грунта, %, зависящее от вида грунта). Таким образом, объем грунта для перевозки

$$Q = Q(1 + n/100) \text{ или } Q = [(100 + n)/100],$$

где $Q$ — объем грунта в выемке.

При определении объема грунта в насыпи нельзя ограничиваться его геометрическим объемом, так как в насыпь идет грунта меньше, чем получают его из выемки. Если объем земли в насыпи обозначить $Q_н$ и остальное разрыхление (после уплотнения грунта) — $P$, %, то объем выемки при естественном залегании грунта для образования насыпи

$$Q = Q_н/(1 + P/100) \text{ или } Q = 100Q_н/(100 + P).$$

Значения первоначального и остаточного разрыхления даны в ЕНиР на земляные работы.

При проектировании вертикальной планировки *методом продольных и поперечных профилей* объем земляных работ определяют как сумму объемов работ (отдельно для выемок и отдельно для насыпей) на участках между соседними поперечными профилями. Степень точности подсчетов зависит от частоты расположения поперечных профилей.

Поперечные профили проектируют во всех переломных точках продольного профиля, а также в интервалах между ними (обычно через 20 м), в том числе в местах наибольших и наименьших отметок. Объем работ на каждом участке определяют по формуле

$$W = [(F_1 + F_2)/2]L,$$

где $F_1$ и $F_2$ — площади поперечных сечений насыпей (или выемок) на рассматриваемых поперечных профилях; $L$ — расстояние между этими профилями.

При подсчете объемов земляных работ на участках с дорожными одеждами рабочие отметки в пределах проезжих частей определяют по основанию дорожного корыта. Данные подсчета объема земляных работ по участкам заносят в ведомость (табл. 10) с суммированием частных объемов отдельно для насыпей и отдельно для выемок.



Таблица 10

**Пример ведомости подсчета объема земляных работ по поперечным профилям**

| № поперечного профиля | Расстояние между поперечными профилями, м | Площадь поперечного сечения, м² | | Объем земляных работ, м³ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Насыпи | Выемки | Насыпи | Выемки |
| 1 | 20 | 0,56 | 3,12 | 47,1 | 31,2 |
| 2 | 20 | 4,15 | — | 43,7 | — |
| 3 | 12 | 0,22 | — | 1,3 | 6,9 |
| 4 | 8 | — | 1,14 | 28,9 | 5,6 |
| 5 | 20 | 7,22 | 0,27 | 75,6 | 9,1 |
| 6 | | 0,34 | 0,66 | | |

При определении объемов земляных работ по профилям на нелинейных участках (при больших размерах планируемых территорий) подсчет ведут в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение из этих двух подсчетов.

При проектировании вертикальной планировки *методом горизонталей* объем земляных работ подсчитывают по участкам, на которые разбивают планируемую территорию. Для этого обычно строят сетку квадратов со сторонами, равными 20 м (при больших площадях, пологом рельефе стороны квадратов могут быть увеличены до 50 м, а при сложном рельефе уменьшены до 10 м). На этой сетке проектируют картограмму земляных работ, которую выполняют обычно в том же масштабе, в каком разработан план вертикальной планировки. Для построения картограммы в углах квадратов вписывают черные и красные (существующие и проектные) отметки, находимые по отметкам на плане методом интерполяции. Черные отметки вписывают внизу, справа от рассматриваемых точек, а красные — вверху, рабочие отметки, т. е. разность между красными и черными отметками, характеризующие объем подсыпки (со знаком «+») или срезки (со знаком «—»), пишут ря-

дом с красными отметками (рис. 36). Между точками с рабочими отметками, имеющими разные знаки, находят на сторонах квадрата нулевые точки. Соединяя эти точки между собой прямыми линиями, получают границы насыпей и выемок. Для наглядности изображения площадь выемок или насыпей может быть заштрихована (обычно штрихуют площадь, меньшую по размерам). В некоторых случаях картограммы могут быть раскрашены. Участки насыпей обычно окрашивают желтой, а выемки розовой или красной краской.

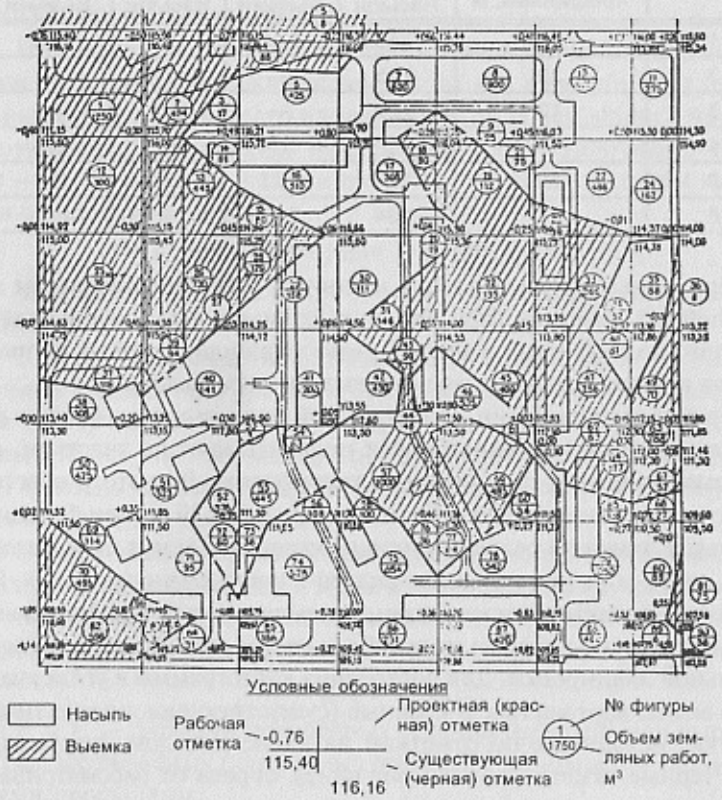



**Рис. 36.** Пример картограммы подсчета земляных работ. Объемы земляных работ приведены без учета грунта из-под фундаментов зданий и корыта дорожной одежды



Положение нулевых точек находят методом интерполяции. Если обозначить соседние разноименные рабочие отметки $H_1$ и $H_2$, то расстояние от нулевой точки до точки с рабочей отметкой $H_1$

$$X = [H_1/(H_1+H_2)]l,$$

где $l$ — расстояние между рассматриваемыми точками с известными рабочими отметками.

Объем земляных работ подсчитывают следующим образом. При одноименных рабочих отметках по углам квадратов объем земляных работ в каждом квадрате определяют как призмы (рис. 37, *а*):

$$vW = (\Sigma H/4)F.$$

При стороне квадрата 20 м $W = 100\Sigma H$.

При сечении нулевой линией противоположных сторон квадрата (рис. 37, *б*) объем земляных работ каждой фигуры подсчитывают по формуле

$$W = (\Sigma H/4)F_1.$$

При сечении нулевой линией соседних сторон квадрата объем одной фигуры (рис. 37, *в*)

$$W = (\Sigma H/3)F_2.$$

Объем второй фигуры (рис. 37, *г*)

$$W = (\Sigma H/4)F_3.$$

Подсчитанные объемы земляных работ записывают на картограмме в кружках: сверху пишут порядковый номер фигуры (квад-

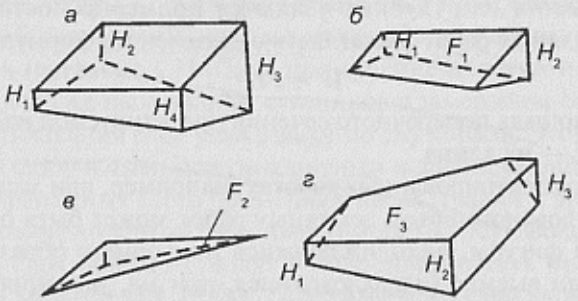



**Рис. 37.** Основные фигуры для подсчета объемов земляных работ по картограмме:
*$H_{1-4}$ — рабочие отметки по углам квадрата; F — площадь квадрата*

рата или части его, отсеченной линией нулевых отметок), а внизу объем земляных работ в пределах этой фигуры (см. рис. 36).

Сумму объемов земляных работ подсчитывают по ведомости (табл. 11).

Таблица 11

**Пример ведомости подсчета объемов земляных работ по картограмме**

| № фигуры | Площадь фигуры, м$^2$ | Средняя рабочая отметка, м | Объем земляных работ, м$^3$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Насыпи | Выемки |
| 1 | 2500 | –0,50 | | 125 |
| 2 | 2020 | 0,2 | | 404 |
| 3 | 480 | +0,16 | 77 | — |
| 4 | 800 | –0,11 | — | 88 |
| 5 | 1700 | +0,25 | 425 | — |
| 6 | 97 | 0,08 | — | 8 |

Ориентировочный подсчет объема земляных работ на значительной по площади территории может быть определен по формуле

$$W = H_{ср}F,$$

где $H_{ср}$ — среднее значение намечаемой подсыпки или срезки; $F$ — площадь территории, на которой должна быть осуществлена подсыпка или срезка.

На линейных участках насыпей или выемок, в пределах которых их высота или глубина являются примерно постоянными, объем земляных работ может быть определен по формуле

$$W = FL,$$

где $F$ — площадь поперечного сечения проектируемой насыпи или выемки; $L$ — их длина.

При концентрированных работах (например, при засыпке глубоких котлованов) объем земляных работ может быть определен как объем фигуры, приближающейся по форме к образующейся насыпи или выемке (параллелепипед, призма, усеченная призма и т. д.).

***Дорожные одежды*** устраивают на специально подготовленном земляном полотне, габариты которого должны соответствовать характеру принятого конструктивного (типового) поперечного профиля улицы или дороги с учетом всех его элементов. Земляное полотно представляет собой выемку (дорожное корыто) для укладки в нем искусственных материалов, составляющих дорожную одежду.



Для городских улиц и дорог с закрытой сетью водоотвода земляное полотно охватывает ширину всех их частей с искусственным покрытием (проезжая часть, тротуары, центральная разделительная полоса и пути трамвая). На дорогах с открытой системой водоотвода (кюветами) ширина земляного полотна равна только ширине проезжей части и обочин. На внутриквартальных проездах без тротуаров ширину увеличивают на 0,5 м с двух сторон проезда.

Земляное полотно должно быть прочным и устойчивым против действия нагрузок от транспорта и природных факторов. В том случае, если грунты для этой цели непригодны, их заменяют более устойчивыми, исключающими переувлажнение и размыв под действием поверхностных и грунтовых вод.

Земляное полотно располагают выше уровня грунтовых вод и горизонта вод длительного стояния, поэтому в зависимости от гидрогеологических условий местности его устраивают в насыпи или понижают уровень грунтовых вод путем устройства дренажа. Дну корыта земляного полотна придают продольные и поперечные уклоны, соответствующие проекту вертикальной планировки улиц, дорог и проездов и уплотняют при помощи катков.

Для возведения насыпей следует, как правило, применять дренирующие грунты — скальные, гранитные и песчаные, а при их отсутствии допускается использовать супеси и суглинки. Не допускается (согласно СНиПам) применение илистых и торфяных грунтов, а также пылевидных суглинков в замерзшем состоянии.

Подстилающий слой укладывают по дну корыта. Этот слой должен быть стабильным, морозозащитным и дренирующим. Для устройства дренажных слоев применяют песок, гравий и другие материалы с коэффициентом фильтрации менее 3 м/сут. Воду из дренирующего слоя обычно отводят в водосточную сеть при помощи дренажей мелкого заложения. Подстилающий слой укрепляют путем обработки его верхней части вяжущими материалами, чем достигается дополнительное повышение его устойчивости и сокращение расчетной толщины и стоимости дорожных одежд. Толщину

постилающего слоя назначают в зависимости от типа грунта земляного полотна, климатических зон и условий влажности (табл. 12).

Таблица 12

**Ориентировочная толщина подстилающего слоя в зависимости от климатических условий**

| Группа грунтов | Климатические районы (по карте) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | II | III | IV | V |
| А. Легкие супеси и оптимальные смеси | 10—20 | — | — | — |
| Б. Пылеватые пески и тяжелые супеси | 20—30 | 15—20 | 10—15 | — |
| В. Суглинки и глины | 30—40 | 20—30 | 15—25 | 10—20 |
| Пылеватые суглинки | 40—50 | 30—40 | 25—35 | 20—30 |

Типы покрытий дорожных одежд выбирают в зависимости от условий их применения по видам нагрузок, перспективной интенсивности движения, состава транспортных потоков, категорий улиц и дорог, наличия местных материалов и других факторов.

Покрытия должны быть прочными и устойчивыми, удобными для движения по ним, отвечающими санитарно-гигиеническим требованиям и экономически эффективными. Вопрос экономичности покрытий имеет существенное значение. Стоимость покрытий обычно составляет основную часть затрат на благоустройство городских территорий.

В зависимости от условий применения выбирают различные типы и материалы покрытий, а затем рассчитывают толщину конструктивных слоев дорожной одежды. При небольших нагрузках и благоприятных гидрогеологических условиях покрытия иногда устраивают непосредственно на грунтовых основаниях, при этом их предварительно уплотняют добавками или обрабатывают вяжущими материалами. Обычно же применяют многослойные дорожные одежды, состоящие из покрытий, подстилающих слоев оснований, которые устраивают для уменьшения удельных нагрузок, передаваемых через покрытия и основания на грунт, для создания необходимого водно-теплового режима в грунте земляного полотна, а также для обеспечения его устойчивости при изменяющихся



температурно-влажностных условиях. Это имеет существенное значение, так как большинство грунтов при переувлажнении теряет прочность (несущую способность). Под воздействием отрицательной температуры возможно вспучивание, т. е. неравномерное изменение объемов грунтов и разрушение покоящихся на них конструкций.

В соответствии с требованиями ГОСТов и СНиПов дорожные одежды подразделяют в основном по типам покрытий в зависимости от категорий улиц и дорог (табл. 13).

Таблица 13

**Типы покрытий и конструкций проезжей части**

| Категория улиц и дорог | Тип покрытия и конструкции проезжей части |
|---|---|
| Скоростные дороги, магистральные улицы общегородского значения, дороги грузового движения | Усовершенствованные капитальные (цементобетонные и железобетонные, асфальтобетонные на прочных основаниях, мозаиковые мостовые на бетонных и каменных основаниях, брусчатые мостовые на основаниях, укрепленных вяжущими материалами) |
| Магистральные улицы районного значения | Усовершенствованные капитальные, усовершенствованные облегченные (из битумно-минеральных смесей или холодного асфальта на основаниях из щебня и шлака, на грунтовых основаниях, укрепленных вяжущими материалами, щебеночные и гравийные, брусчатые мостовые на песчаном основании) |
| Улицы и дороги местного назначения:<br>промышленных и складских районов | Усовершенствованные капитальные или облегченные; пешеходные (грунтоасфальтовые, щебеночные, гравийные и шлаковые с поверхностной обработкой вяжущими материалами, грунтощебеночные и грунтогравийные, обработанные вяжущими материалами, мостовые из булыжного и колотого камня).<br>Усовершенствованные облегченные и пешеходные. |
| жилые улицы и проезды<br>поселковые улицы и дороги | Усовершенствованные облегченные или пешеходные; низшие (гравийные, щебеночные, шлаковые, грунтовые, улучшенные местными минеральными материалами) |

Примечание. Нормативную подвижную нагрузку для расчета прочности дорожных одежд и устойчивости земляного полотна следует принимать в соответствии с ГОСТами.

ефа. По возможности при планировке следует полностью сохранить природные условия и сократить до минимума расходы, связанные с реконструктивными мероприятиями.

Условия размещения зданий зависят от их типа, планировки проездов, пешеходных дорожек или тротуаров, размещения спортивных, хозяйственных и других площадок, ориентации зданий по странам света и прочих факторов. Наименьшие затраты, связанные с планировкой рельефа, достигаются при расположении большинства зданий длинной стороной под небольшим углом по отношению к горизонталям. Так как такое решение не всегда может быть осуществлено, то участки со сложным рельефом целесообразно застраивать зданиями небольшой протяженности, со свободной ориентацией по отношению к сторонам света, что дает возможность размещать их в плане применительно к различному рельефу.

Здания, имеющие цокольные этажи и особенно значительную протяженность, целесообразно размещать под таким углом к горизонталям, чтобы перепад рельефа на протяжении участков здания с одинаковыми отметками пола первого этажа не превышал 1—1,5 м, а продольный уклон располагаемых вдоль здания тротуаров — 10—15‰. Применять типовые здания, предназначенные в основном для условий равнинной местности, можно при уклонах не более 100—120‰. При больших уклонах предусматривают здания, предназначенные для условий сложного рельефа, или здания, которые могут быть приспособлены к этим условиям.

На пересеченном рельефе рекомендуется строить односекционные здания башенного типа, а также здания на столбах. При расположении зданий на столбах вдоль участков со значительным продольным уклоном можно сохранить одинаковые отметки пола первого этажа, а также обеспечить проход или проезд под этими зданиями. Размещение подобных зданий в направлении горизонталей дает возможность использовать пространство под ними для стоянки автомобилей или других целей.

На крутых склонах здания можно размещать с террасированием или без террасирования территорий (рис. 32). Террасирование территорий связано с большими объемами земляных работ и значительными затратами, особенно при наличии скальных грунтов, однако этот вариант позволяет размещать на террасах различные



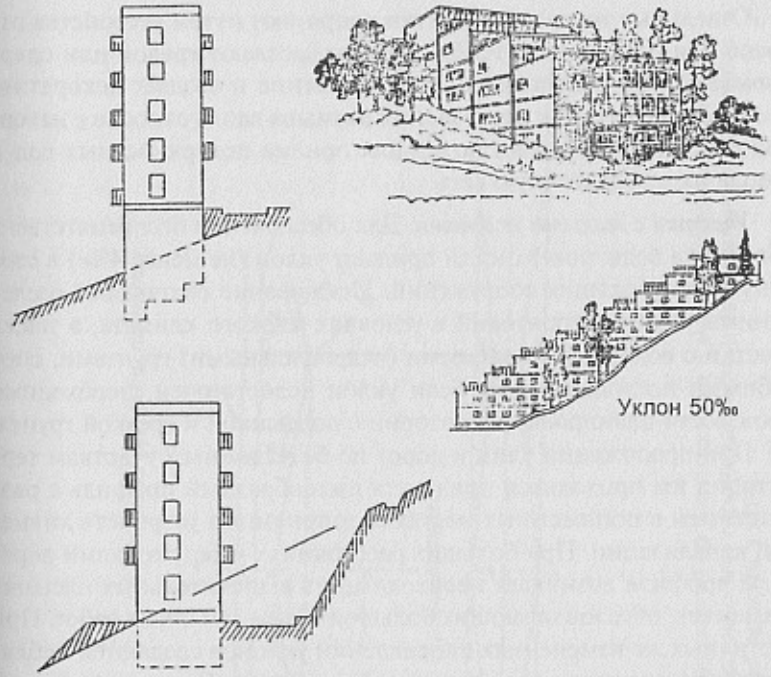



**Рис. 32.** Примеры размещения зданий на крутых склонах

виды типовых зданий и создает благоприятные условия для проездов, тротуаров, размещения автомобильных стоянок и т. д. Односекционные дома башенного типа можно размещать в условиях сложного рельефа как при террасной, так и при бестеррасной застройках. При строительстве многосекционных зданий на крутых склонах целесообразно смещать отдельные их секции по вертикалям или использовать дома ступенчатого типа.

Планировка внутримикрорайонных проездов должна обеспечивать удобство подъезда ко всем зданиям, а также безопасность движения. Пешеходные дорожки и тротуары проектируют с учетом обеспечения удобства и безопасности пешеходного движения внутри микрорайона, а также подхода к ближайшим улицам и остановкам общественного транспорта. Если уклоны дорожек и тротуаров превышают допустимые (60—80‰), то должны быть устроены лестничные сходы.

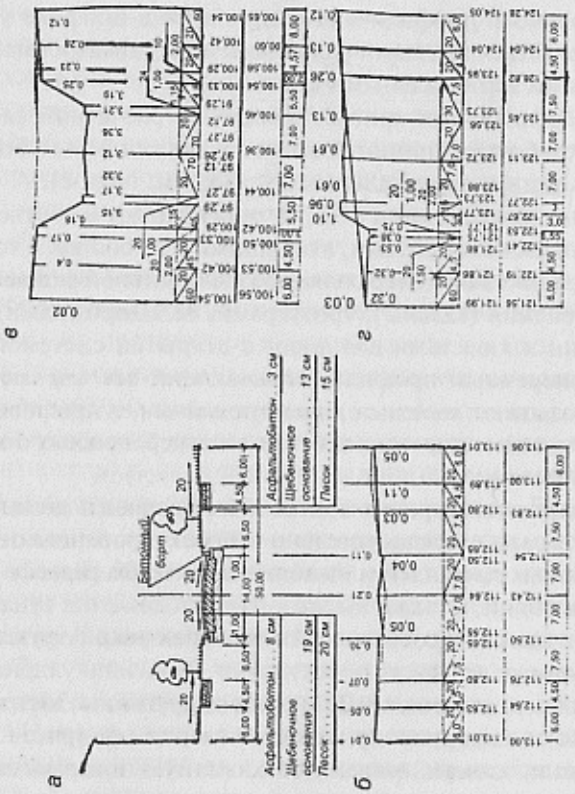



**Рис. 13.** Примеры типовых (конструктивных) и рабочих поперечных профилей городских улиц:
*а — конструктивный (типовой) поперечный профиль; проектные (рабочие) поперечные профили; б — на участке с пологой поверхностью рельефа; в — на участке улицы с расположением проезжей части в выемке; г — на косогорном участке*



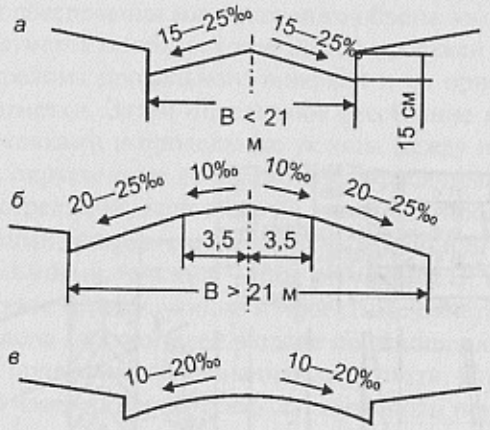



**Рис. 14.** Схемы поперечных профилей проезжих частей городских улиц:
*а — крышеобразные; б — полигональные; в — параболические*

*Проектирование методом проектных (красных) горизонталей* дает наглядное представление о проектируемом рельефе и возможность точного осуществления проекта в натуре, особенно на территориях с малыми уклонами и сложным рельефом.

При методе проектных горизонталей совмещают план и профили в любых рассматриваемых сочетаниях, в результате чего одновременно решается горизонтальная и вертикальная планировка проектируемых участков (рис. 15).

Предварительно перед нанесением проектных горизонталей необходимо определить:

а) участки территории, отметки которых должны быть по возможности сохранены (у входов в здания, капитальные сооружения, поверхности пересекающихся проезжих частей улиц и дорог, трамвайных путей, участки сохраняемых зеленых насаждений и т. д.);

б) водораздельные линии и наиболее пониженные участки местности;

в) места резких изменений уклонов поверхности. При этом определяют направления и значения уклонов отдельных сопрягаемых участков и ориентировочные объемы намечаемых срезок и подсыпок на них.

тия. Однослойные покрытия применяют лишь на проезжей части с ограниченными нагрузками и скоростями движения транспорта. Толщина однослойных покрытий составляет 45, двухслойных — 8—8,5 см. Бетонные основания под асфальтобетонные покрытия устраивают толщиной 18—20 см. Каменные основания выполняют из щебня или гравия, которые обрабатывают вяжущими материалами, что повышает их устойчивость.

Иногда применяют *покрытия из битумоминеральных смесей.* Они дешевле, но и менее прочны. Их применяют на улицах и дорогах местного значения с ограниченными транспортными нагрузками. Грунтовые материалы, обработанные битумом, носят название *грунтоасфальтовых покрытий.* Их устраивают на автостоянках, внутриквартальных проездах.

Асфальтобетонные покрытия рекомендуется подвергать поверхностной обработке для создания на покрытии «коврика износа», который по мере истирания может быть возобновлен. Коврику придают повышенную шероховатость, что увеличивает сцепление автомобильных шин с поверхностью дороги и повышает безопасность движения. Толщина коврика износа составляет 1,5—2,5 см и выполняется из мелкого щебня, обработанного битумом.

*Штучные покрытия* устраивают из мелких плит или камней (мостовые). Недостатками их являются неровность поверхности и большая трудоемкость по созданию покрытия. Вместе с тем они долговечны, их легко разбирать и восстанавливать при прокладке и ремонте подземных коммуникаций.

Бетонные плиты (толщиной 10—18 см) имеют прямоугольную, квадратную или шестиугольную форму с размером сторон 20—50 см. Укладывают их на основания из песка, мелкого щебня, гравия или шлака. Эти покрытия применяют редко из-за невысокой прочности и сложности механизации работ.

Мостовые устраивают из естественного и искусственного камня. Наибольшее распространение в городах получили брусчатые и мозаиковые мостовые. Их строят из камней (шашек), изготовляемых из скальных пород (гранит, диабаз, базальт и др.).

Брусчатые мостовые устраивают на бетонном и песчаном основаниях (выдерживают большие нагрузки). Брусчатые камни укладывают рядами, перпендикулярными оси дороги, или под углом 45° к ней.



Мозаиковые мостовые имеют прочные бетонные или каменные основания по песчаной прослойке в 3—5 см. Швы между камнями заполняют цементным раствором, цементно-песчаной или битумоминеральными смесями. В плане камни мозаиковых мостовых укладывают поперечными и диагональными рядами.

Клинкерные мостовые устраивают из прочного дорожного кирпича размером 220 × 110 × 75 мм. Их строят на песчаном основании с укладкой кирпича на ребро.

Из-за большой трудоемкости штучные материалы применяются в дорожном строительстве крайне редко. Существующие мостовые используют в качестве основания под асфальтобетонное покрытие или для сохранения исторического облика местности.

## ? Вопросы для самопроверки

1. *Для чего необходима вертикальная планировка?*
2. *Назовите виды рельефа местности расположения городов (населенных пунктов).*
3. *Какие три схемы трассирования улиц и дорог в условиях сложного рельефа вы знаете?*
4. *Раскройте сущность и методы проектирования вертикальной планировки (метод проектных («красных») отметок; метод продольных и поперечных профилей).*
5. *Раскройте сущность рабочих отметок положительных (+) (объем подсыпок) и отрицательных (–) (объем срезок).*
6. *Что представляют собой продольные и поперечные профили улиц и дорог?*
7. *Назовите группы транспортных пересечений в разных уровнях по начертанию в плане.*
8. *Определите сущность вертикальной планировки городских площадей.*
9. *Как распределяются микрорайонные территории?*
10. *Как выполняется подсчет объемов земляных работ?*
11. *Назовите типы покрытий и конструкций проезжей части дорог.*

# *Глава 3.* ОРГАНИЗАЦИЯ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

## 3.1. Круговорот воды в природе и атмосферные осадки

В результате действия солнечной энергии происходит постоянное испарение воды с земной поверхности. Наибольшее количество влаги на земном шаре испаряется с поверхности морей и океанов (88%) и значительно меньше (12%) — с поверхности суши. Испарившаяся влага перемещается воздушными потоками. При встрече с холодными потоками воздуха она конденсируется и выпадает на поверхность океана или суши в виде дождя и снега. Осадки, выпавшие на поверхность суши, частично испаряются, частично просачиваются в грунт, а остальная часть выпавших осадков стекает по склонам в наиболее низкие места поверхности, питая ручьи, речки и большие реки, которые несут этот сток снова в моря и океаны. При неполном замкнутом цикле перемещения влаги (океан — атмосфера — океан) происходит малый круговорот воды в природе. При полном замкнутом цикле (океан — атмосфера — суша — океан) происходит полный круговорот воды в природе (рис. 38). Районы, в которых все количество выпавших

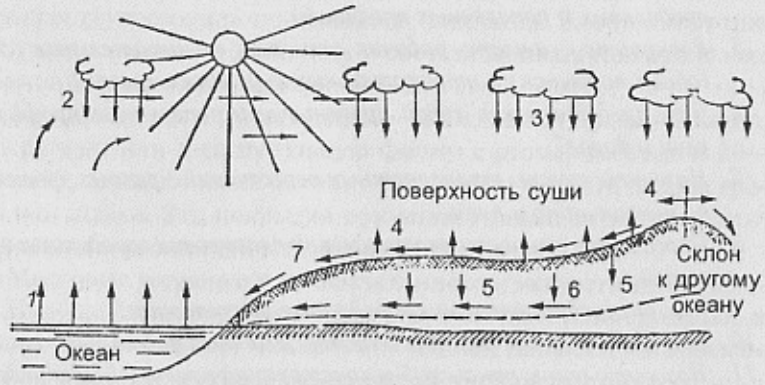



**Рис. 38.** Схема кругового обращения воды в природе:
*1 — испарение с поверхности океана; 2 — осадки, выпадающие в океан; 3 — осадки, выпадающие на сушу; 4 — испарение с поверхности суши; 5 — инфильтрация; 6 — подземный сток; 7 — речной сток в океан*



осадков испаряется (сток отсутствует), называют *бессточными районами* (пустыни, полупустыни).

При постоянном круговом обращении воды между сушей и океаном общее количество осадков $X$, выпавших на поверхность суши, равняется количеству потерь на испарение $Z$, подземному стоку $Y_1$ и поверхностному стоку $Y_2$. Уравнение водного баланса может быть выражено формулой

$$X = Z + Y_1 + Y_2.$$

Или, принимая общий сток $Y = Y_1 + Y_2$,

$$X = Z + Y.$$

В нашей стране существует *положительный водный баланс*: т. е. среднее годовое количество осадков превышает среднее годовое количество испарений влаги. Это подтверждается наличием в стране развитой сети больших и малых рек и их притоков, т. е. существует постоянный речной сток с поверхности суши. Исключение составляют отдельные засушливые районы, где среднегодовое количество выпадающих осадков меньше среднегодового количества испарений влаги с поверхности суши.

Ускорению образования водяных капель в атмосфере способствует ряд условий, из которых следует отметить засорение воздушного бассейна продуктами горения, выбрасываемыми в воздух трубами промышленных предприятий, а также городской пылью. Наблюдениями установлено, что над промышленными районами и центрами больших городов часто проходят короткие интенсивные ливни, тогда как в пригородных и близко расположенных сельских местностях выпадения осадков в это время не наблюдается.

Количество выпавших на поверхность почвы осадков измеряют в линейных и объемных единицах. В линейных единицах измеряют среднегодовое и среднемесячное количество осадков $H$, мм, характерное для данного климатического района, а также интенсивность отдельных дождей $i$, мм/мин. В технических расчетах принимают объемную единицу измерения количества выпавших осадков $g$, выраженную в л/с на 1 га. Для перехода от одной единицы измерения к другой используют зависимость

$$g = ki,$$

где $k = 166{,}7$ — переводной объемный коэффициент, т. е. объем осадков, л/с, выпавших на площадь 1 га при дожде интенсивностью 1 мм/мин; $k = \frac{0{,}001 \cdot 10000 \cdot 1000}{60} = 166{,}7$ л/с на 1 га, здесь 0,001 — высота слоя осадков, м; 10 000 — площадь 1 га, выраженная в м$^2$; 1000 — объем 1 м$^3$, выраженный в л; 60 — число секунд в 1 мин.

Характеристику выпавшего дождя записывают самопишущими приборами — дождемерами, которые отмечают высоту слоя осадков $h$, мм, выпавших за промежуток времени $t$, мин. Количество осадков, выпавших в единицу времени, определяет интенсивность дождя. Средняя интенсивность дождя, мм/мин,

$$i = h/t.$$

Каждый дождь характеризуется интенсивностью ($i$ или $g$), количеством осадков, выпавших за единицу времени, периодом продолжительности дождя и вероятностью его выпадения, т. е. вероятностью повторения такого дождя за тот или иной период наблюдений $c$, лет. Практически при расчетах сети ливневой канализации вероятность повторения интенсивности дождей данной продолжительности принимают $c = 1$ год, $c = 3$ года, $c = 5$ лет, $c = 10$ лет или еще более редкую повторяемость.

Между интенсивностью дождя и его продолжительностью существует определенная зависимость, которая выражается формулой

$$g = A/t^n,$$

где $g$ — интенсивность дождя, л/с на 1 га; $t$ — период продолжительности дождя, мин; $A$ и $n$ — параметры, зависящие от климатического района расположения населенного пункта и принятого периода $c$.

Из приведенной зависимости следует, что более продолжительные дожди имеют меньшую интенсивность, и наоборот.

Атмосферные осадки влияют на условия эксплуатации и благоустройство городской территории. Общее количество осадков, выпадающих на земную поверхность в течение года, изменяется в широких пределах. Наибольшее количество выпавших на земном шаре осадков отмечено в Черрапунджи (Индия, штат Ассам): среднее многолетнее количество за год здесь составило 11 013 мм, максимальное за год — 16 305 мм (1899 г.) и 24 326 мм (1947 г.). В центральной части европейской территории России среднегодовое количество осадков постепенно убывает при движении с запада на восток. У западных границ России среднегодовая норма осадков достигает 650—700 мм в год, постепенно уменьшаясь в восточном направлении до 500—400 мм в год. У западных склонов Уральского хребта среднегодовая норма осадков снова увеличивается до 600—700 мм в год.



На Дальнем Востоке уменьшение количества осадков идет от побережья Тихого океана до восточных склонов Уральских гор. Наибольшее количество осадков в год на территории России выпадает на восточном берегу Черного моря, а также в горах Алтая, на склонах, обращенных к Тихому океану. В горах Алтая сказывается влияние возникшей преграды — высоких гор на пути движения ветров, несущих большие запасы влаги со стороны океана.

## 3.2. Формирование поверхностного стока и его организация

Формирование поверхностного стока зависит от условий рельефа местности, а расход стока — от размеров водосборной площади бассейна и характера использования его территории. Границы водосборной площади бассейна определяют на топографическом плане с учетом рельефа местности и проводят их по водораздельным гребням, расположенным на пересечении двух склонов, один из которых обращен к главному тальвегу конкретной водосборной площади. Главный тальвег бассейна имеет выход в более значительные по размерам тальвеги, ручьи и речки.

В пределах водосборной площади формируются ливневый сток и сток весеннего снеготаяния. В градостроительной практике организацию поверхностного стока рассматривают в пределах сравнительно небольших водосборных площадей (300, 500, 1000 га), в которых наибольшие расходы будут формироваться от ливневого стока. На незастроенной территории, расположенной в естественных условиях стока, основными направлениями отвода поверхностного стока будут являться тальвеги небольших бассейнов. В процессе застройки и благоустройства городской территории естественная система водоотвода нарушается. Взамен ее создают организованную закрытую систему водоотвода.

Главный коллектор бассейна располагают в полосе, свободной от городской застройки, т. е. в пределах «красных линий» и улиц или специально выделенной для этих целей технической полосе, которую располагают по направлению основного тальвега (рис. 39). Данное условие необходимо учитывать в планировке и застройке городской территории. При этом создаются благоприятные усло-

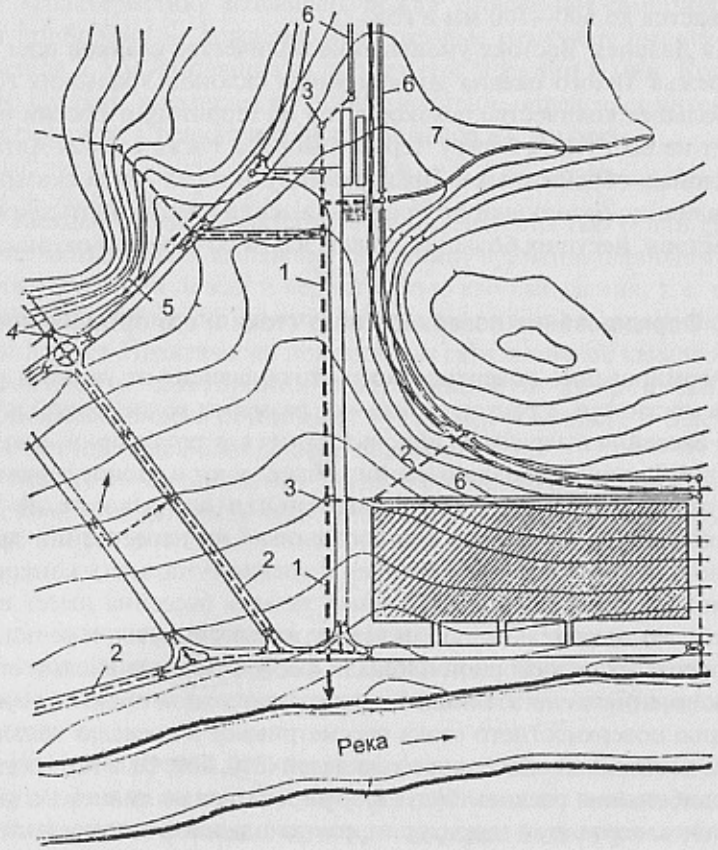



**Рис. 39.** Схема организованной (закрытой) системы водостока:
*1 — главный коллектор бассейна; 2 — боковая сеть; 3 — смотровые колодцы; 4 — дождеприемные колодцы; 5 — линия водораздела; 6 — проектируемые кюветы; 7 — существующий тальвег на незастроенной территории*



вия для размещения магистральных прокладок подземных коммуникаций (ливневая и фекальная канализация и др.).

Для отвода поверхностного стока с боковых склонов бассейна в соответствии с планировкой улиц проектируют боковую сеть водостоков.

Организующей системой водоотвода являются лотки внутриквартальных проездов и городских улиц, обеспечивающие поступление поверхностного стока в закрытую сеть ливневой канализации. В практике планировки и застройки городской территории встречаются различные случаи формирования поверхностного стока, условия формирования зависят от размеров застраиваемой территории и характера ее использования.

*Первый случай.* Поверхностный сток формируют в пределах полностью застроенной водосборной площади бассейна. При этом естественные водостоки (ручьи и небольшие речки), проточные и непроточные водоемы (пруды), расположенные в пределах застраиваемой территории, упраздняют. Загрязненный поверхностный сток, поступающий с застроенной и благоустроенной территории, уже не может быть использован для питания открытых водотоков и водоемов. Взамен упраздняемой естественной системы водоотвода устраивают закрытую сеть городской ливневой канализации, которая должна обеспечить отвод поверхностного стока с площади жилых микрорайонов, а также внутриквартальных и городских проездов.

Поверхностный сток из закрытой сети ливневой канализации выпускают в проточные водотоки (реки) или специальные береговые каналы, отводящие поверхностный сток для осветления за пределы городской застройки в систему технических водоемов отстойников, из которых осветленный сток поступает в реки (рис. 40).

*Второй случай.* Поверхностный сток формируется в пределах большой водосборной площади, значительно превышающей площадь застраиваемой территории. При этом для застройки используют низовую часть бассейна, а верхняя часть его остается в естественных условиях.

По условиям формирования поверхностного стока общую водосборную площадь бассейна можно разделить на две частные площади — $F_1$ и $F_2$ (рис. 41). В пределах водосборной площади $F_1$ сток формируется в естественных условиях поверхности. В пределах

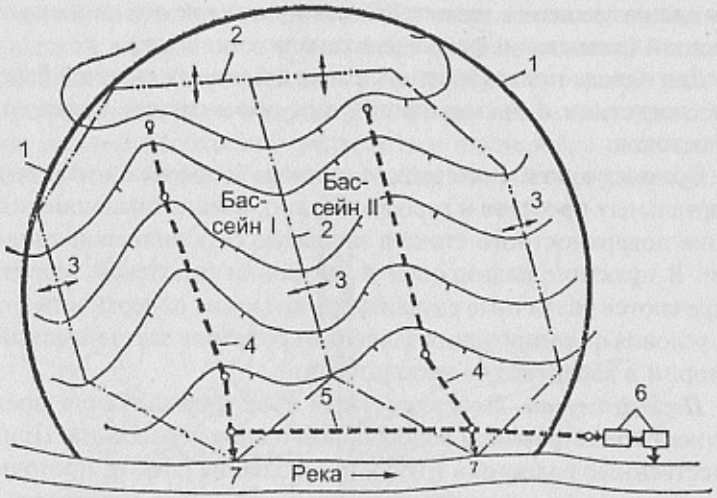



**Рис. 40.** Схема организации поверхностного стока в пределах застроенной территории:
*1 — граница города; 2 — главная граница бассейна; 3 — водораздельный гребень; 4 — главный коллектор бассейна; 5 — береговой канал; 6 — технические пруды-отстойники; 7 — аварийные водосбросы*

водосборной площади $F_2$ поверхностный сток формируют в пределах застроенной городской территории, что соответствует первому случаю (см. рис. 41). Сток, сформированный в пределах водосборной площади $F_1$, которая расположена в загородных условиях, пойдет по естественному тальвегу бассейна до границы городской застройки, а далее через городскую территорию его пропускают по подземному коллектору до места выпуска в проточный водоток (реку). Сечение городского коллектора должно обеспечивать пропуск расчетного расхода, поступающего с водосборной площади бассейна $F_1$ и расходов стока, формируемого в пределах застройки территории $F_2$.

Для уменьшения размеров сечения городского коллектора в тальвеге бассейна у границ городской застройки целесообразно предусмотреть устройство регулирующей емкости — водоема. В планировочном отношении такой водоем используют для различных целей (катание на лодках, спортивная ловля рыбы и т. д.), в том числе и как емкость для аккумуляции поверхностного сто-



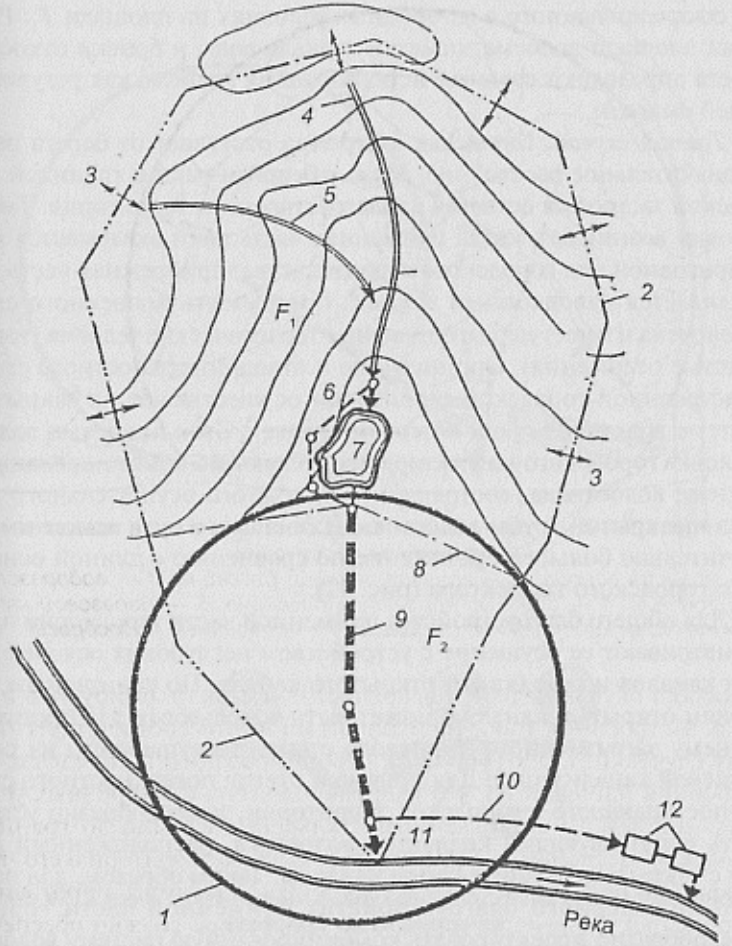



**Рис. 41.** Схема организации поверхностного стока при застроенной низовой части бассейна; верховая часть бассейна сохраняется в естественных условиях:
*1 — граница города; 2 — главная граница бассейна; 3 — водораздельный гребень; 4 — главный тальвег бассейна; 5 — приток; 6 — обводной водосток; 7 — проектируемая регулирующая емкость; 8 — частная граница бассейна; 9 — главный коллектор бассейна; 10 — береговой коллектор: 11 — аварийный водосброс; 12 — технические пруды-отстойники; $F_1$ — незастраиваемая площадь бассейна; $F_2$ — застраиваемая площадь бассейна*

ка, сформированного в загородных условиях на площади $F_1$. Размеры площади водоема, отметки зеркала воды и бровки откоса и берега определяют с учетом использования водоема как регулирующей емкости.

*Третий случай.* Городская застройка отступает от берега реки на значительное расстояние. Между берегом реки и границей городской застройки остается неблагоустроенная территория. Такие условия возникают, когда пойменная часть реки оказывается малопригодной для городского строительства: прибрежная часть затапливается паводковыми водами, поверхность почвенного слоя заболочена и имеет неблагоприятные геологические условия (торф, илистые отложения). Организацию и отвод поверхностного стока с застроенной городской территории осуществляют по закрытой системе водоотвода (как в первом случае). Сток ливневых вод от оголовка городского коллектора пропускают по комбинированной системе водоотвода, состоящей из открытого осушительного канала и закрытой трубы водостока. Длина этого пути может иметь значительно большее протяжение по сравнению с длиной основного городского коллектора (рис. 42).

Для общего благоустройства пойменной части территории предусматривают ее осушение с устройством неглубоких осушительных каналов и отводящего открытого канала. По санитарным условиям открытый канал не может быть использован для пропуска по нему загрязненного ливневого стока, поступающего из сети ливневой канализации. Для приема и отвода поверхностного стока, поступающего с городской территории, целесообразно устраивать сопутствующий коллектор водостока, расположенный рядом с открытым осушительным каналом. Таким образом, для полного инженерного благоустройства пойменной части города целесообразно проектировать комбинированную систему водоотвода, состоящую из открытого и закрытого каналов. Сечение отводящего водостока по экономическим соображениям намечают с учетом пропуска постоянных расходов, поступающих в сеть городского водостока (промышленные воды, сток от полива улиц, выпуски дренажей и др.), а дождевые воды принимают только от дождей частой повторяемости. В период прохождения дождевых паводков более редкой повторяемости при переполнении отводящего водостока открытый канал и отводящий водосток будут работать совместно.



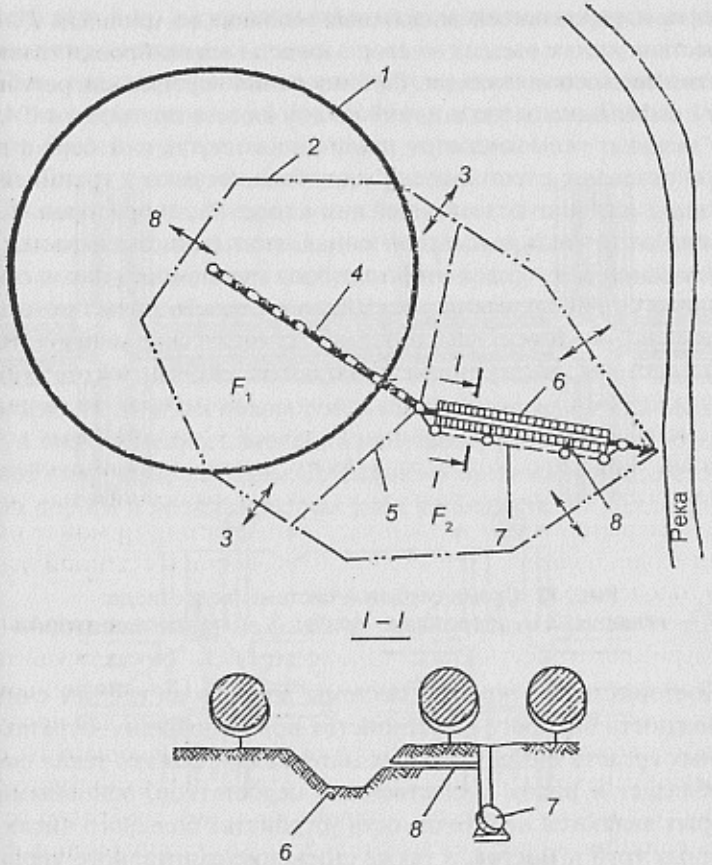



**Рис. 42.** Схема организации поверхностного стока при застроенной верховой части бассейна:
*1 — граница города; 2 — главная граница бассейна; 3 — водораздельный гребень; 4 — главный коллектор бассейна; 5 — частная граница бассейна; 6 — открытый канал; 7 — водосбросный коллектор; 8 — аварийный водосброс; $F_1$ — застраиваемая площадь бассейна; $F_2$ — незастраиваемая площадь бассейна*

В больших и малых городах для отвода поверхностного стока устраивают закрытую систему водоотвода. Для дачных мест, небольших поселков и парковых территорий можно проектировать открытую систему водоотвода, состоящую из бетонных лотков,

кюветов и укрепленных водоотводных каналов (рис. 43). На перекрестках улиц и въездах во дворы кюветы заменяют переездными трубами мелкого заложения. Глубину кюветов устраивают не более 0,8—1 м. Минимальную ширину по дну кювета принимают 0,4 м.

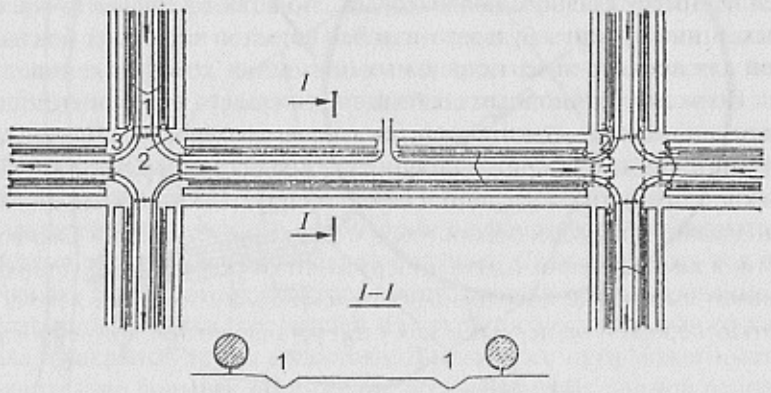



**Рис. 43.** Схема открытой системы водоотвода:
*1 — кюветы; 2 — переездные трубы; 3 — смотровые колодцы*

Достоинством открытой системы водоотвода следует считать возможность быстрого ее устройства при небольших затратах денежных средств и строительных материалов. Однако такая система обладает и рядом существенных недостатков, основными из которых являются необходимость устройства большого числа переездных труб и мостов, а также снижение санитарного уровня в жилых районах, особенно при небольших уклонах местности.

При открытой системе водоотвода ширину улиц между «красными линиями» по отношению к расчетной ширине увеличивают на ширину, необходимую для размещения кюветов. Организованный сток из дорожных лотков и внутриквартальных проездов поступает в дождеприемные колодцы ливневой канализации. Длину свободного пробега потока воды от водораздельной точки до первых дождеприемных колодцев принимают 75—250 м в зависимости от уклонов лотка дороги и размера водосборной площади на этом участке стока. Высота наполнения лотков проезжей части не должна превышать 8—10 см при высоте борта 15 см. Количество



пропускаемой по лотку воды зависит от наполнения лотка и уклона по лотку дороги.

Сеть ливневой канализации состоит из главного коллектора бассейна и присоединений боковой сети водостоков. Главный коллектор бассейна устраивают взамен упраздняемого тальвега бассейна. Трассу главного коллектора располагают в пределах «красных линий» улицы, бульвара или технической полосы, выделенной для прокладки магистральных подземных коммуникаций.

По эксплуатационным соображениям трассу сети ливневой канализации целесообразно располагать вне пределов проезжей части улиц, чтобы при присоединении боковой сети не разрушить дорожное покрытие. Для нормальной эксплуатации сети ливневой канализации на углах поворотов, в местах присоединений боковой сети, а также в местах изменения размеров и уклонов труб устанавливают смотровые колодцы. Для приема организованного стока в лотках дороги и на перекрестках улиц устанавливают дождеприем-

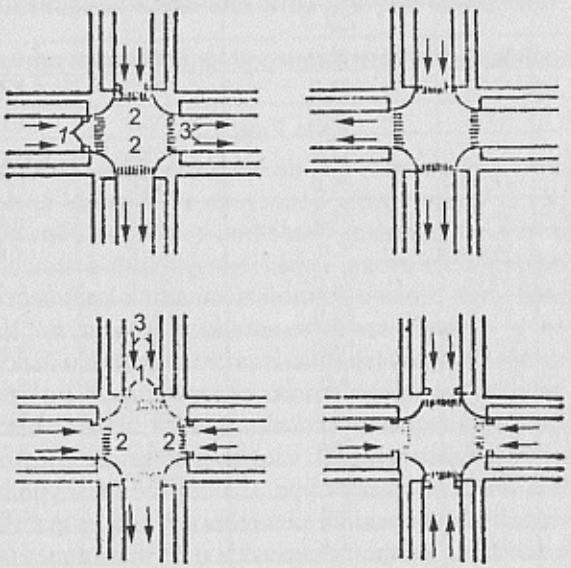



**Рис. 44.** Схемы расстановки дождеприемных колодцев на перекрестках улиц:
*1 — дождеприемные колодцы; 2 — пешеходные переходы; 3 — направления стока*

ные колодцы. При этом стремятся к созданию удобных условий для движения пешеходов и транспорта, а также к удовлетворению требований общего благоустройства территории и защиты городских сооружений от вредного влияния поверхностных вод.

Главное внимание при этом следует уделять защите от поверхностного стока перекрестков улиц, городских и транспортных площадей, а также путей движения пешеходов. Расстояние между дождеприемными колодцами, устанавливаемыми в лотках дороги, принимают в среднем 50—60 м. Схемы размещения этих колодцев на перекрестках улиц в зависимости от направления стока представлены на рис. 44. Кроме дождевых и талых вод в закрытую сеть ливневой канализации принимают выпуски дренажных вод, а также условно чистых вод (т. е. не требующих специальной очистки перед сбросом их в водостоки) промышленных предприятий по согласованию с органами санитарного надзора.

### 3.3. Принципы расчета сети ливневой канализации

Расчетный расход в сети ливневой канализации определяют по формуле

$$Q = F\varphi g,$$

где $Q$ — расчетный расход, т. е. количество воды, которое должно пройти через сечение трубы водостока в единицу времени, л/с; $F$ — действительная площадь бассейна, с которой образуется сток, га; $\varphi$ — коэффициент стока, характеризующий отношение полученного количества стока с данной площади к количеству выпавших осадков; $g$ — расчетная интенсивность дождя, л/с на 1 га.

Значение средних коэффициентов стока $\varphi$ отдельных (частных) площадей зависит от процентного содержания в них различных видов однородных покрытий (крыши зданий, асфальтовые покрытия, зеленые насаждения и др.), частные значения $\varphi$ которых приводятся в технической литературе. С повышением уровня благоустройства территории средние значения $\varphi$ будут возрастать за счет увеличения площади непроницаемых и полупроницаемых покрытий, имеющих более высокое значение частных коэффициентов стока.

Гидравлический расчет сети водостоков, т. е. определение сечений труб на отдельных расчетных интервалах, выполняют по



основным формулам гидравлики. При определении сечений труб водостоков используют готовые таблицы, в которых приведены значения скоростей и отводоспособности труб в зависимости от проектируемых их уклонов. Это избавляет проектировщиков от лишних подсчетов и значительно сокращает затрачиваемое время на проектирование.

В табл. 15 приведены площади сечения $W$ крупных труб различных диаметров $Д$, значения гидравлических радиусов $R = w/p$, т. е. отношение площади живого сечения трубы к периметру трубы, а так-

Таблица 15

**Значения гидравлических элементов для круглых труб при полном их наполнении**

| Диаметр трубы Д, м | Площадь сечения, м | Гидравлический радиус R = w/p | Wv = $= V/\sqrt{I}$ | KQ = $= Q/\sqrt{2}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0,3 | 0,071 | 0,075 | 12,85 | 0,908 |
| 0,4 | 0,126 | 0,1 | 15,55 | 1,954 |
| 0,5 | 0,196 | 0,125 | 18,06 | 3,546 |
| 0,6 | 0,283 | 0,15 | 20,39 | 5,76 |
| 0,7 | 0,385 | 0,18 | 22,6 | 8,7 |
| 0,8 | 0,503 | 0,2 | 24,68 | 12,41 |
| 0,9 | 0,636 | 0,22 | 26,72 | 17,00 |
| 1 | 0,785 | 0,25 | 28,57 | 22,44 |
| 1,1 | 0,95 | 0,28 | 30,49 | 28,98 |
| 1,2 | 1,131 | 0,3 | 32,33 | 36,56 |
| 1,3 | 1,327 | 0,32 | 34,08 | 45,24 |
| 1,4 | 1,54 | 0,35 | 35,79 | 55,09 |
| 1,5 | 1,767 | 0,38 | 37,58 | 66,41 |
| 1,6 | 2,0 | 0,4 | 39,13 | 78,65 |
| 1,7 | 2,269 | 0,42 | 40,41 | 91,69 |
| 1,8 | 2,543 | 0,45 | 42,27 | 107,49 |
| 1,9 | 2,385 | 0,48 | 44,14 | 125,14 |
| 2,0 | 3,14 | 0,5 | 45,32 | 142,37 |
| 2,1 | 3,462 | 0,52 | 46,5 | 160,98 |
| 2,2 | 3,799 | 0,55 | 48,3 | 183,49 |
| 2,3 | 4,153 | 0,58 | 49,91 | 207,28 |
| 2,4 | 4,522 | 0,6 | 51,15 | 231,3 |
| 2,5 | 4,906 | 0,62 | 52,78 | 256 |

же гидромодули скорости $W_v = = V/\sqrt{i}$ и пропускной способности трубы $K_Q = Q/\sqrt{i}$ при полном наполнении трубы и самотечном ее режиме.

Пользуясь в дальнейшем указанными значениями $W_v$ и $K_Q$, можно определить скорость потока в трубе $V$, м/с, и пропускную способность трубы $Q$, м³/с, при различных уклонах $i$ и полном наполнении трубы:

$$V = W_v\sqrt{i} \text{ и } Q = K_a\sqrt{i}\,.$$

*Пример.* На интервале расчетных точек $n - (n - 1)$ расчетный расход в трубе $Qp = 2{,}5$ м³/с (2500 $n$/с), проектируемый уклон трубы $i = 0{,}012$ и соответствует уклону поверхности. Для пропуска расчетного расхода $Qp$ при заданном уклоне трубы $i$ необходимо подобрать нужное сечение трубы $Д$ и указать ее пропускную способность $Q$.

Намечаем предварительный диаметр трубы $Д_{предв}$ 1 м и определяем ее пропускную способность $Q$ при намеченном уклоне $i$.

Скорость потока в трубе $Д = 1$ м при уклоне $i = 0{,}012$

$$V = W_v\sqrt{i} = 28{,}57\sqrt{0{,}012} = 3{,}13 \text{ м/с}.$$

Пропускная способность трубы при полном ее наполнении и самотечном режиме

$$Q = K_Q\sqrt{i} = 22{,}44\sqrt{0{,}012} = 2{,}46 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Значения $W_v$ и $K_Q$ для трубы $Д = 1$ м получим из табл. 15. Пропускная способность трубы принятого диаметра

$$Q/Q_p = (2{,}46/2{,}5) \cdot 100 = 98\%.$$

Следовательно, намеченный диаметр трубы $Д = 1$ м соответствует пропуску расчетного расхода на данном расчетном интервале.

### 3.4. Конструкции водостоков

При открытой системе водоотвода поперечные разрезы улиц выполняют с учетом намеченного уровня благоустройства городской территории.



Типовой поперечный профиль дороги с обочинами и кюветами показан на рис. 45. Поверхностный сток с проезжей части дороги, а также с площади прилегающей территории отводят в кюветы, расположенные вдоль проезжей части улицы. Кюветы устраивают земляные с укреплением их откосов камнем или бетонными плитами, а также из готовых железобетонных блоков с вертикальными стенками. Общая ширина улицы между «красными линиями» сокращается (при сохранении общих размеров основных элементов ее членения) за счет полосы, необходимой для устройства откосных кюветов общего профиля (рис. 46).

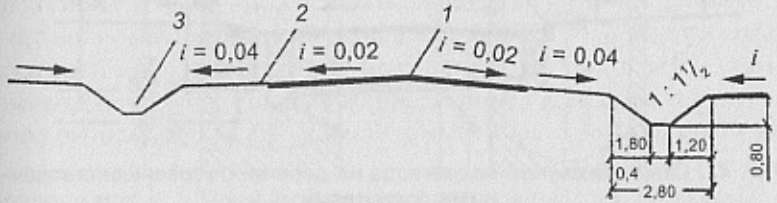



**Рис. 45.** Типовой поперечный профиль дороги с обочинами и кюветами:
*1 — проезжая часть дороги; 2 — обочина; 3 — земляной кювет*

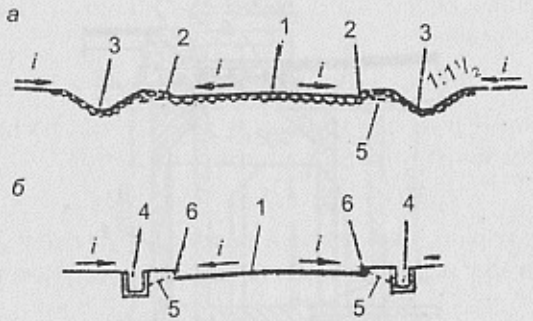



**Рис. 46.** Схема открытого водоотвода на дорогах с лотками:
*1 — проезжая часть улицы; 2 — лоток дороги; 3 — мощеный кювет; 4 — сборный железобетонный кювет; 5 — перепускной лоток; 6 — бортовой камень*

Размеры главного отводящего канала при открытой системе водоотвода определяют расчетом. При усовершенствованных ти-

пах дорожных покрытий устраивают закрытую систему водоотвода — кюветы заменяют железобетонными трубами и прокладывают их на глубине, обеспечивающей непромерзание водостоков (рис. 47). Поверхностные воды из лотков дороги поступают в дождеприемные колодцы, сток из которых поступает в основную сеть водостоков. Дождеприемные и смотровые колодцы устраивают из

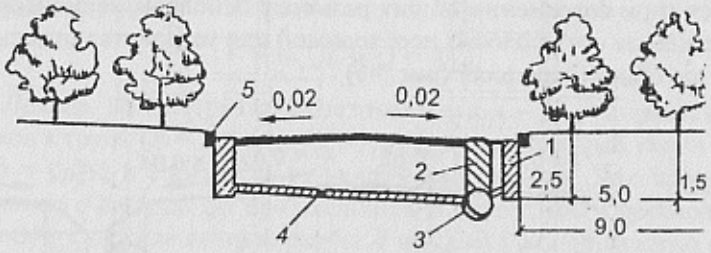



**Рис. 47.** Схема закрытого водоотвода на дорогах с усовершенствованными покрытиями:
*1 — дождеприемный колодец; 2 — смотровой колодец; 3 — труба водоотвода; 4 — выпуск от дождеприемного колодца; 5 — бортовой камень*

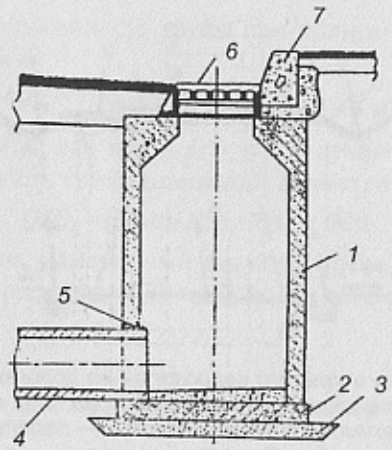



**Рис. 48.** Схема дождеприемного колодца:
*1 — рабочая камера; 2 — днище; 3 — песчаное основание; 4 — выпуск от дождеприемного колодца; 5 — заделка отверстия бетоном; 6 — чугунная решетка; 7 — бортовой камень*



сборных железобетонных блоков. Размеры их назначают исходя из условий эксплуатации сети (рис. 48, 49). По конструктивным соображениям сборные смотровые колодцы устраивают трех типов в зависимости от диаметра труб.

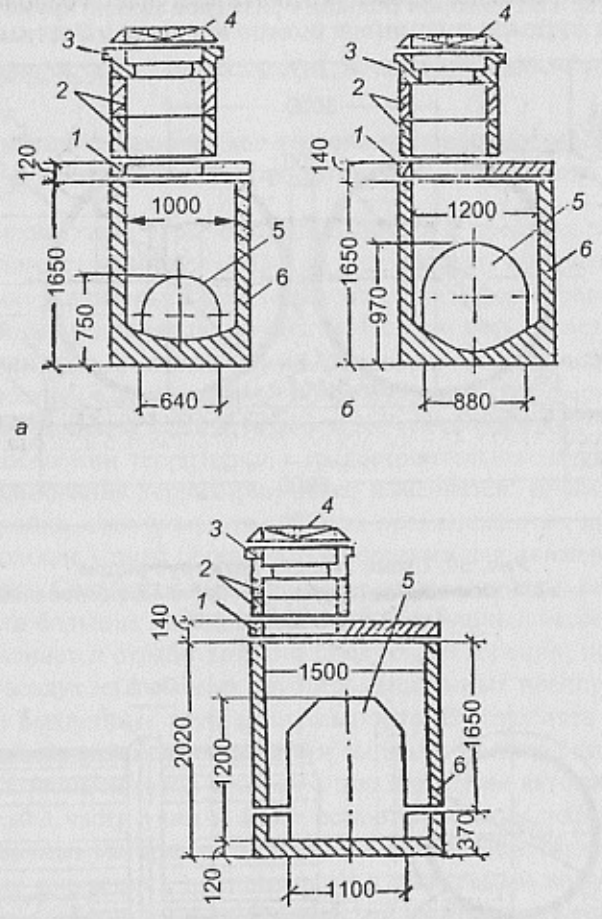



**Рис. 49.** Схемы сборных смотровых колодцев в зависимости от диаметра труб:
*а — 300—500 мм; б — 600—700 мм; в — 800—1100 мм; 1 — плита перекрытия; 2 — кольцо горловины; 3 — опорное кольцо; 4 — люк с крышкой; 5 — отверстие для укладки труб; 6 — рабочая камера*

На коллекторах, имеющих большие размеры, устраивают специальные горловины, на которых устанавливают чугунные люки. Для прокладки сети ливневой канализации применяют круглые железобетонные трубы, сборные прямоугольные каналы, а при устройстве коллекторов больших размеров проектируют нетипо-

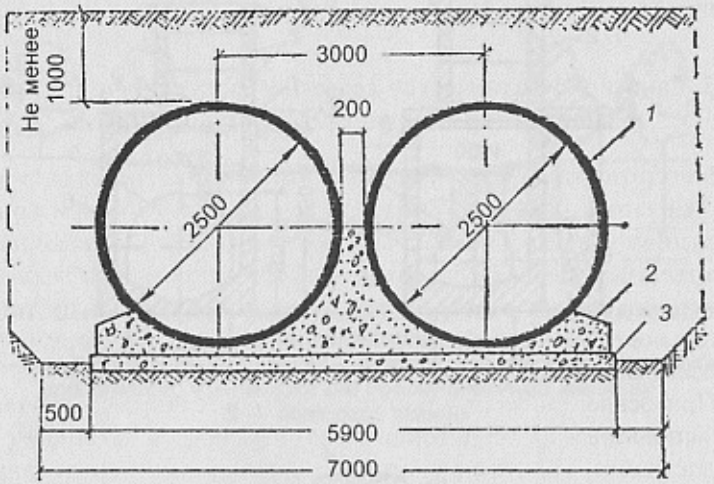



**Рис. 50.** Схема укладки двух труб рядом:
*1 — железобетонная труба; 2 — бетонное основание; 3 — подготовка из щебня*

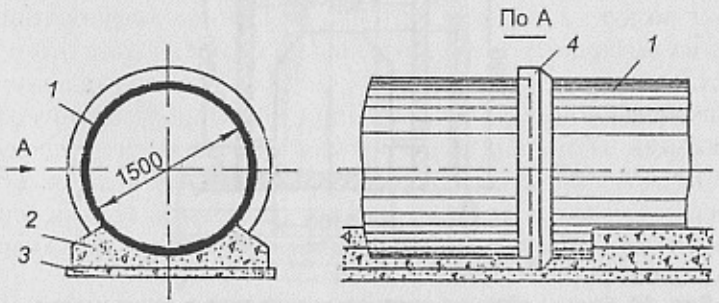



**Рис. 51.** Схема укладки круглой трубы с заделкой стыка враструб и деталь:
*1 — железобетонная труба; 2 — бетонное основание; 3 — подготовка из щебня; 4 — раструб трубы*



вые сборные конструкции. При прокладке труб большого диаметра и недостаточной глубине их заложения вместо одной прокладывают две трубы меньшего диаметра, имеющие ту же суммарную отводящую способность (рис. 50). Минимальную засыпку над верхом конструкции труб водостока принимают не менее 1 м. Укладка круглых труб с заделкой стыков вчетверть и враструб показана на рис. 51.

## 3.5. Санитарно-техническое состояние поверхностного стока и защита открытых водотоков от загрязнения

Поверхностный сток, сформированный в пределах застроенной и благоустроенной городской территории, по санитарному состоянию значительно отличается от стока, сформированного в естественных условиях поверхности. Поверхность незастроенной территории обычно занята лугами, пашнями, лесом или другой растительностью, в этих условиях поверхностный сток формируется малозагрязненным.

При освоении территории в градостроительных целях характер использования территории резко изменяется: возникает жилая застройка, сооружают комплексы промышленных предприятий, городские улицы оборудуются дорогами для движения автотранспорта. Создаются коммунальные зоны, автобазы, различные малые или большие предприятия и т. д. Воздушный бассейн городов загрязняется отработанными продуктами горения, поступающими в воздух из дымовых труб промышленных предприятий, а также из выхлопных труб автотранспорта. В результате этого на поверхность городской территории выпадает большое количество производственной пыли и сажи, а при движении автотранспорта на проезжей части улиц и дорог остаются остатки нефтепродуктов, смазочные материалы и другие вещества. Перечисленные загрязнения смываются поливочными и дождевыми водами с поверхности слабопроницаемых покрытий и попадают в сеть ливневой канализации.

Концентрация загрязнений дождевого стока взвешенными и эфирорастворимыми веществами будет зависеть от санитарно-технического состояния различных районов городской территории и количества выпадающих на поверхность осадков. В центральных

районах города, в районах новой жилой застройки с высоким уровнем благоустройства и хорошей эксплуатацией территории загрязненность дождевого стока будет меньше, чем в промышленных зонах и на проездах с интенсивным движением автотранспорта.

Кроме дождевых и талых вод, а также вод от поливки и мытья улиц в ливневую сеть поступают выпуски с территории автопарков от мойки автомобилей, слабозагрязненные отработанные воды промышленных предприятий, а также выпуски от снеготаялок.

Современное производство потребляет большое количество воды, которую забирают из озер, больших и малых речек. После завершения технологического процесса воду в виде загрязненного промышленного стока подчас сбрасывают в те же озера и реки. В зависимости от характера производства отработанная вода может содержать минеральные взвеси и отходы различных материалов, биологические отходы, химические и радиоактивные продукты. Количество потребляемой чистой воды, м$^3$, при производстве 1 т некоторых видов продукций:

| | |
|---|---|
| Прокат | — 1,5—10 |
| Сахар | — 13—16,5 |
| Кокс | — 1,5—30 |
| Серная кислота | — 60—139 |
| Кожа | — 82—110 |
| Каучук (синтетический) | — 250 |
| Тонкое сукно | — 300—600 |
| Искусственный шелк | — 1000—1500 |
| Капрон | — 2500 |

Как видно из приведенных данных, для производства 1 т новых материалов потребление чистой воды возрастает иногда во много раз.

В установившейся практике проектирования сети ливневой канализации каждому бассейну стока соответствует отдельный выпуск главного коллектора водостока. С увеличением площади застраиваемой территории число отдельных бассейнов стока, сбрасывающих загрязненный сток в проточные водоемы, будет соответственно увеличиваться. Одновременно с увеличением площади застраиваемой территории санитарно-гигиеническое состояние больших и малых речек, протекающих в пределах городской территории, ухудшается. Небольшие речки, расположенные в пределах застраиваемой территории, лишенные естественных источников питания, превращаются в сточные канавы и их заключают в подземные трубы.



В составе проектов планировки и застройки городской территории, а также проектов реконструкции старых городов разрабатывают генеральную схему развития сети ливневой канализации. Для защиты открытых проточных водотоков от загрязнения намечают мероприятия для осветления поверхностного стока перед сбросом его в эти водотоки. Выбор мероприятий по защите городских водотоков от загрязнения должен быть экономически обоснован и технически оправдан. Он зависит от размеров площади застраиваемой территории, природных особенностей, а также от характера промышленных и других сооружений, размещаемых в пределах площади городской застройки. Для улучшения санитарно-технического состояния открытых водотоков, расположенных в пределах застроенной территории, предусматриваются:

а) переключение существующих выпусков сточных и промышленных вод в отводящий коллектор фекальной канализации (полураздельная сеть) с последующей очисткой загрязненного стока на очистных сооружениях;
б) локальная и кустовая очистка промышленных вод на территории промышленных предприятий;
в) мероприятия по предупреждению загрязнения поверхностных вод: хорошо организованная служба эксплуатации промышленных и автопарковых территорий, а также территорий нефтебаз и других загрязненных площадей;
г) очистка дна водоемов от наносов ила и грязи с заменой вынутого грунта песком.

При раздельной системе канализации, если по условиям сложившейся застройки невозможно проложить отводящий коллектор за пределы городской территории, а также по экономическим соображениям, осветление поверхностного стока производят на сооружениях, расположенных в пределах городской территории. В этом случае на устьевых участках отдельных коллекторов или объединенной их группы устраивают технические водоемы — отстойники. При централизованной системе очистки поверхностного стока сток из главных коллекторов отдельных бассейнов выпуска-

ют в береговые каналы, по которым загрязненный сток отводят на очистные сооружения, расположенные за пределами городской территории.

Более удобной в техническом и экономическом отношении следует считать комбинированную систему защиты проточных водотоков от загрязнения, разработанную с учетом местных особенностей застраиваемой территории. На менее загрязненных участках реки при вступлении ее на городскую территорию ограничиваются улучшением санитарно-гигиенических условий в реке, выполняя работы, перечисленные в пунктах *а, б, в* и *г*. Ниже этого участка с учетом местных особенностей территории устраивают сооружения для осветления поверхностного стока перед выпуском его в открытые городские водотоки. На нижнем участке течения реки, расположенном в пределах промышленной и коммунальной зон, устраивают централизованную систему защиты открытых водотоков с отводом загрязненного стока на очистные сооружения, расположенные за пределами городской территории. Границы отдельных зон при применении одинаковых решений будут зависеть от характера планировки и застройки территории. Основными типами рекомендуемых сооружений по осветлению поверхностного стока являются стационарные щитовые заграждения, располагаемые в прибрежной части русла реки (рис. 52); пруды-отстойники (рис. 53) и сооружения закрытого типа.

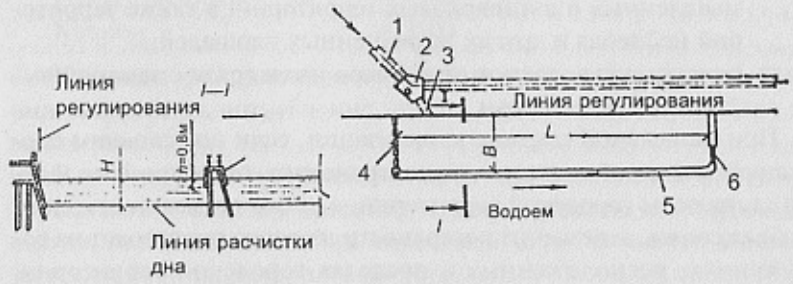



**Рис. 52.** Схема стационарного щитового заграждения:
*1 — коллектор дождевой канализации; 2 — распределительная камера; 3 — подводящий трубопровод; 4 — плавающее бонное заграждение; 5 — железобетонный навес; 6 — щитовой затвор*



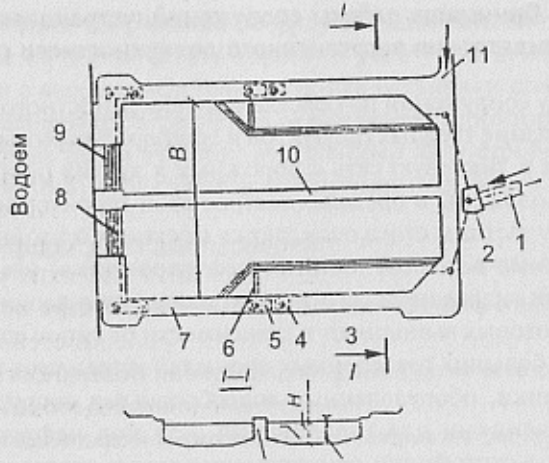



**Рис. 53.** Схема пруда-отстойника на сопряжении с водоемом:
*1 — коллектор дождевой канализации; 2 — распределительная камера; 3 — отсек для задержания маслонефтепродуктов; 4 — водозаборный колодец; 5 — емкость для отстаивания маслонефтепродуктов; 6 — приемник маслонефтепродуктов; 7 — секция отстойника; 8 — полупогруженные щиты; 9 — разборная плотина; 10 — разделительная дамба; 11 — подъездная дорога*

Тип сооружения для осветления загрязненного стока принимают в зависимости от размеров водосборной площади бассейна, характера застройки и планировочных условий территории с учетом развития ливневой канализации. Стационарные щитовые заграждения устраивают непосредственно в русле реки вдоль ее берега, когда по условиям существующей застройки и другим особенностям территории устраивать другие типовые сооружения представляется возможным. Пруды-отстойники устраивают на устьевых участках водостоков. Очистные сооружения закрытого типа создают в пределах застроенной и благоустроенной территории при наличии бассейнов стока, имеющих площадь менее 300 га.

## 3.6. Принципы работы сооружений, устраиваемых для осветления загрязненного поверхностного стока

В задачу сооружений по осветлению поверхностного стока входит улавливание твердых продуктов и эфирорастворимых веществ, смываемых в ливневую сеть с дорожных и других покрытий, которые расположены в пределах застроенной территории.

Твердые частицы стока осаждаются в секциях отстойника. Эфирорастворимые вещества (остатки нефтепродуктов) улавливаются при помощи гидравлического затвора и фильтров доочистки, конструкции которых выполняют в зависимости от типов сооружений. В пределах больших озелененных площадей устраивают также пруды-отстойники, оборудованные водосбросными сооружениями с приспособлениями для улавливания остатков нефтепродуктов. Такие пруды-отстойники одновременно могут являться и емкостями для регулирования поверхностного стока. Пруды располагают на главных тальвегах бассейнов стока.

При эксплуатации сооружений, устраиваемых для осветления поверхностного стока, необходимо обеспечивать своевременное удаление с поверхности отдельных отсеков остатков задержанных нефтепродуктов, а из секций отстойной части сооружений — твердого осадка. Подъем твердого стока и погрузка его в автомобили производятся механическим путем, а съем с поверхности отдельных отсеков нефтепродуктов и слив их в емкости накопителя — при помощи поворотной щелевой трубы, смонтированной в сооружении.

При устройстве сооружения для очистки поверхностных вод необходимо выделить место для захоронения твердого стока, а также решить вопрос о способе утилизации задержанных нефтепродуктов. Без этого приступать к эксплуатации сооружения нельзя. Для захоронения твердого стока используют оставшиеся выработки карьеров или другие площади, сток с которых не будет поступать в открытые водотоки. Решение этой задачи в каждом отдельном случае будет зависеть от местных условий и должно быть согласовано с органами санитарного надзора. В том случае, если остатки нефтепродуктов не могут быть утилизированы, их сжигают в специальных печах или они подлежат глубокому захоронению.



Построенное сооружение оборудуют подъездными путями, которые должны обеспечивать хорошую работу эксплуатационного транспорта с выделением площадок для остановки пожарных машин. Для защиты от загрязнения окружающей территории и в противопожарных целях участок, выделенный для устройства очистных сооружений, ограждают зелеными насаждениями.

### ? *Вопросы для самопроверки*

1. *Дайте определение малого и полного круговорота воды в природе.*
2. *Дайте определение первого, второго и третьего случаев формирования поверхностного стока.*
3. *Назовите основные принципы расчета сети ливневой канализации.*
4. *Каковы основные конструктивные элементы водостоков?*
5. *Перечислите санитарно-технические мероприятия по защите водоемов от загрязнений.*

*Раздел II*

# ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

## *Глава 4.* ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ И ГИДРОДИНАМИКИ

### 4.1. Гидравлика. Исторические сведения

Гидравлика — наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающая методы применения этих законов для решения различных прикладных задач. Название «гидравлика» произошло от греческих слов «хюдор» — вода и «аулос» — труба, желоб. Вначале в понятие «гидравлика» включалось только изучение движения воды по трубам, затем значение получило более широкое и емкое понятие. В настоящее время почти во всех областях техники применяются различные гидравлические устройства, основанные на использовании гидравлических законов. Главнейшие области применения гидравлики — гидротехника, мелиорация и водное хозяйство, гидроэнергетика, водоснабжение и канализация, водный транспорт, машиностроение, авиация.

*Из истории*

Первым научным трудом в области гидравлики считается трактат Архимеда (287—212 гг. до н. э.) «О плавающих телах», хотя сведения о некоторых законах гидравлики были известны и ранее, так как задолго до Архимеда строили оросительные каналы и водопроводы.



В Древнем Египте, Индии, Китае были построены каналы и водохранилища грандиозных по тем временам размеров. Так, в Индии глубина некоторых водохранилищ достигала 15 м, в Китае около 2500 лет назад был прорыт Великий канал длиной 1800 км, который соединял приустьевые участки крупных рек страны. В Риме 2300 лет назад был построен первый водопровод. В Средней Азии некоторые каналы, созданные в низовьях Амударьи около 2000 лет назад, используются и по сей день (естественно, после многоразовых ремонтов и реконструкций).

На Руси еще в X—XI вв. существовали водопроводы из гончарных и деревянных труб. В 1115 г. был построен наплавной мост через р. Днепр у Киева. Исстари использовались и до сегодняшнего дня существуют водяные мельницы. В XIV—XV вв. добывалась вода из подземных источников, оборудованных довольно совершенными водопроводными устройствами.

Подъем в развитии гидравлики как науки начался лишь через 17 веков после Архимеда (Леонардо да Винчи, Стевин, Галилео Галилей, Торричелли, Паскаль, Ньютон. В России — Ломоносов, Бернулли, Эйлер и др.).

При исследовании гидравлических явлений и расчетов в гидравлике применяют аналитический и экспериментальный методы. В аналитическом методе применяют уравнения механики и получают уравнения движения и равновесия жидкости, устанавливающие зависимости между кинематическими и динамическими характеристиками движущейся жидкости. Ввиду сложности строения жидкостей аналитические исследования проводятся для модельных жидкостей, облегчающих применение уравнений механики. Например, применяется модель невязкой жидкости, которая в отличие от всех имеющихся в природе и технике жидкостей лишена свойства вязкости.

В гидравлике принята гипотеза *сплошности жидкости*. Согласно этой гипотезе, жидкость рассматривается как континуум, т. е. непрерывная сплошная среда. Все параметры, характеризующие движение жидкости, считаются непрерывными вместе с их производными во всех точках (кроме особых точек). Благодаря таким предпосылкам стало возможным получение дифференциальных уравнений равновесия и движения жидкости. Решение этих уравнений позволяет иметь данные о механическом движении и рав-

новесии жидкости в любой точке пространства, где движется жидкость.

Применение моделей вносит погрешности в результаты аналитических исследований, которые оцениваются экспериментальным путем.

Экспериментальные исследования в гидравлике имеют важное значение. Здесь уместно привести слова Леонардо да Винчи: «Всякий раз, когда имеешь дело с водой, прежде всего обратись к опыту, а потом уже рассуждай». В настоящее время перед началом строительства крупных плотин или других гидротехнических сооружений в определенном масштабе выполняется их модель, которая в лабораторных условиях исследуется с помощью микровертушек и других приборов, позволяющих более точно определить погрешности в расчетах.

## 4.2. Жидкости. Гипотеза сплошности. Плотность жидкости

***Жидкости.*** Все вещества в природе имеют молекулярное строение. По характеру молекулярных движений, а также по численным значениям межмолекулярных сил жидкости занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. Свойства жидкостей при высоких температурах и низких давлениях ближе к составам газов, а при низких температурах и высоких давлениях — к свойствам твердых тел.

В газах расстояния между молекулами больше, а межмолекулярные силы меньше, чем в жидкостях и твердых телах, поэтому газы отличаются от жидкостей и твердых тел большей сжимаемостью. По сравнению с газами жидкости и твердые тела *малосжимаемы.*

Молекулы жидкости находятся в непрерывном хаотичном тепловом движении, отличающемся от хаотичного теплового движения газов и твердых тел: в жидкостях это движение осуществляется в виде *колебаний* ($10^{13}$ колебаний в секунду) относительно мгновенных центров и *скачкообразных* переходов от одного центра к другому. Тепловое движение молекул твердых тел — колебания относительно стабильных центров. Тепловое движение молекул газа — непрерывные скачкообразные перемены мест.

Диффузия молекул жидкостей и газов обусловливает их общее свойство — *текучесть.* Поэтому термин «жидкость» применяют



для обозначения и собственно жидкости (несжимаемая или весьма мало сжимаемая, капельная жидкость), и газа (сжимаемая жидкость).

В гидравлике рассматриваются равновесие и движение капельных жидкостей.

***Гипотеза сплошности.*** Жидкость рассматривается как деформируемая система материальных частиц, непрерывно заполняющих пространство, в котором оно движется.

Жидкая частица представляет собой бесконечно малый объем, в котором находится достаточно много молекул жидкости. Например, если рассмотреть кубик воды со сторонами размером 0,001 см, то в объеме будет находиться $3{,}3 \cdot 10^{13}$ молекул. Частица жидкости полагается достаточно малой по сравнению с размерами области, занятой движущейся жидкостью.

При таком предположении жидкость в целом рассматривается как континуум — *сплошная среда,* непрерывно заполняющая пространство, т. е. принимается, что в жидкости нет пустот или разрывов, все характеристики жидкости являются непрерывными функциями, имеющими непрерывные частные производные по всем своим параметрам. Сплошная среда представляет собой модель, которая успешно используется при исследовании закономерностей покоя и движения жидкости.

Правомерность применения модели жидкости — сплошная среда подтверждена всей практикой гидравлики.

***Плотность жидкости.*** Плотность $\rho$ характеризует распределение массы $M$ жидкости по объему $w$. В произвольной точке $A$ жидкости плотность

$$\rho_A = \lim_{\Delta w \to 0} \frac{\Delta M}{\Delta W},$$

где $\Delta M$ — масса, заключенная в объеме $\Delta w$, стягиваемом в точку $A$.

Плотность однородной жидкости равна отношению массы $M$ жидкости к ее объему $W$:

$$\rho = M/W.$$

Плотность $\rho$ во всех точках однородной жидкости одинакова. В общем случае плотность $\rho$ может изменяться от точки к точке в объеме, занятом жидкостью, и в каждой точке объема с течением времени.

Единица плотности (плотности массы) в системе СИ принята кг/м³.

Удельный вес $\nu$ однородной жидкости определяется как отношение веса $G$ жидкости к ее объему $W$:

$$\nu = G/W.$$

Учитывая, что $G = Mg$, получим зависимость, используемую в расчетах:

$$V = \rho g.$$

В системе СИ единица удельного веса принята Н/м³.

Отметим, что значение ускорения свободного падения $g$ изменяется от 9,831 м/с² (на полюсе) до 9,781 (на экваторе).

Плотность жидкостей и газов зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности с ростом температуры. Плотность воды максимальна при $t = 4$°С и уменьшается как с уменьшением, так и с увеличением температуры от этого значения. В этом проявляется одно из аномальных свойств воды (так, при $t = 0$°С плотность воды равна 999,87 кг/м³).

Плотность морской воды при $t = 0$°С равна 1020—1030, нефти и нефтепродуктов — 650—900, чистой — 13596 кг/м³.

При изменении давления плотность жидкостей изменяется незначительно. Для условий работы гидротехнических сооружений плотность воды можно считать постоянной, $\rho = 1000$ кг/м³. Сравнение: плотность воздуха при $t = 0$°С и атмосферном давлении равна 1,29 кг/м³.

Температура, при которой плотность воды максимальна, с увеличением давления уменьшается. Так, при давлении 1 МПа вода имеет максимальную плотность при $t = 0{,}6$°С.

## 4.3. Силы, действующие в покоящейся или движущейся жидкости

Силы, действующие в жидкости, можно разделить на две группы:

1. *Силы, действующие на каждую частицу жидкости с массой* $\Delta M = \rho \Delta W$, т. е. силы, распределенные по массе. Эти силы называются *массовыми* (объемными). К ним относятся сила тяжести, сила инерции (кориолисова сила инерции, переносная сила инерции), электромагнитные силы. В гидравлических задачах электромагнитные силы не рассматриваются, за исключением ряда специальных задач. К массовым силам относятся также гравитационные силы, подчиняющиеся закону всемирного тяготения Ньютона (например, силы притяжения Луны и Солнца при рассмотрении водных масс морей и океанов Земли).



Массовые силы характеризуются плотностью распределения $F$. Если $\Delta W$ — элементарный объем, содержащий точку $A$, и $\Delta F$ — массовая сила, действующая на массу $\Delta M = \rho \Delta W$ жидкости в этом объеме, то в данной точке А плотность распределения массовой силы

$$F_A = \lim_{\Delta w \to 0} \frac{\Delta F}{\rho \Delta W}$$

при стягивании объема $\Delta w$ к точке $A$.

Таким образом, плотность массовой силы представляет собой массовую силу, отнесенную к единице массы. Ее составляющие по осям координат будут соответственно $Fx$, $Fy$, $Fz$. Плотность массовых сил имеет размерность ускорения ($LT^2$).

2. *Силы, действующие на каждый элемент* $\Delta w$ *поверхностей*, ограничивающих жидкость, и на каждый элемент поверхностей, проведенных произвольно внутри жидкости, называются *поверхностными*. К ним относятся нормальные поверхности силы давления $P$ и касательные к поверхности силы трения $T$.

Плотность распределения нормальных сил

$$\rho_A = \lim_{\Delta w \to 0} \frac{\Delta P}{\Delta W}$$

называется *нормальным напряжением* в точке $A$. Плотность распределения касательных сил

$$Y_A = \lim_{\Delta w \to 0} \frac{\Delta T}{\Delta W}$$

называется *касательным напряжением в точке А*.

Массовые и поверхностные силы могут быть внешними и внутренними. *Внешние* силы действуют на рассматриваемую массу и

поверхность жидкости извне и приложены соответственно к каждой частице жидкости, составляющей массу, и к каждому элементу поверхности, ограничивающей жидкость. *Внутренние* силы представляют собой силы взаимодействия частиц жидкости. Они являются парными, их сумма в данном объеме жидкости всегда равна нулю.

## 4.4. Свойства жидкости

*Сжимаемость* — свойство жидкостей изменять объем при изменении давления — характеризуется *коэффициентом объемного сжатия* (сжимаемости) $\beta_w$, Па$^{-1}$, представляющим относительное изменение объема жидкости $W$, м$^3$, при изменении давления $\rho$, Па, на единицу:

$$\beta_w = -\frac{1}{W}\frac{dW}{dP}.$$

Знак «минус» (–) в формуле указывает, что при увеличении давления объем жидкости уменьшается.

Учитывая, что при неизменной массе $-dW/W = d\rho/P$, имеем

$$\beta_w = \frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dp}.$$

Коэффициент объемного сжатия $\beta_w$ определяет также относительное изменение плотности жидкости при изменении давления на единицу.

| T, 0°C | 0 | 10 | 20 | 30 |
|---|---|---|---|---|
| $E_o$, МПа для воды | 1950 | 2030 | 2110 | 2150 |

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, — *модуль упругости жидкости*, Па, $E_o = 1/\beta_w$,

или $E_o = \rho d\rho/d\rho$.

Отсюда $d\rho/\rho = d\rho/E_o$.

Соотношение $E_o = \rho d\rho/d\rho$ представляет собой *законы Гука* для жидкостей. Модуль упругости $E_o$ зависит от температуры и давления, поэтому жидкости не точно следуют закону Гука.

Модуль упругости минеральных масел, используемых в механизмах с гидравлическим приводом, при $t = 20$°C составляет



$(1{,}35 \div 1{,}75) \cdot 10^3$ МПа (меньшее значение относится к более легкому маслу); бензина и керосина — приблизительно $1{,}3 \cdot 10^3$ МПа; глицерина — $4{,}4 \cdot 10^3$ МПа; ртути — в среднем $3{,}2 \cdot 10^3$ МПа. Глинистые растворы, применяемые при бурении, имеют $E_o = 2{,}5 \cdot 10^3$ МПа.

Сжимаемость воды весьма незначительна. При увеличении давления на 9,81 МПа объем воды уменьшается на 1/20000 первоначального объема. В то же время сжимаемость воды примерно в 100 раз больше сжимаемости стали.

Условия работы гидротехнических сооружений позволяют считать воду несжимаемой средой. Но не следует забывать, что такое допущение правомерно лишь в тех случаях, когда изменения давления невелики. Так, сжимаемость воды существенно сказывается на положении уровня водной поверхности Мирового океана. Если бы вода была абсолютно несжимаема, то отметки уровня воды в океанах поднялись бы примерно на 30 м.

В практике эксплуатации гидравлических систем имеются случаи, когда вследствие действия того или иного возмущения (например, резкого закрытия или открытия запорного устройства в трубопроводе) в жидкости значительно изменялось давление. В таких случаях пренебрежение сжимаемостью приводит к существенным погрешностям.

*Температурное расширение* — свойство жидкости изменять объем при изменении температуры — характеризуется температурным *коэффициентом объемного расширения*, представляющим относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на единицу (на 1°C) и при постоянном давлении:

$$Bt = \frac{1}{W}\frac{dW}{dt}.$$

Для большинства жидкостей коэффициент $Bt$ с увеличением давления уменьшается. Для воды с увеличением давления при температуре до 50°C $Bt$ растет, а при температуре выше 50°C уменьшается.

*Вязкость* — свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу ее слоев. Вязкость проявляется в том, что при относительном перемещении слоев жидкости на поверхностях их соприкосновения возникают силы сопротивления сдвигу, называемые *силами внутреннего трения*, или *силами вязкости*. Благодаря

этим силам медленнее движущийся слой жидкости «тормозит» соседний слой, движущийся быстрее, и наоборот. Силы внутреннего трения появляются вследствие наличия межмолекулярных связей между движущимися слоями.

Силы внутреннего трения в жидкости впервые были обнаружены Ньютоном. Он установил пропорциональность между силой внутреннего трения, площадью соприкосновения слоев и относительной скоростью перемещения слоев.

Дальнейшие исследования показали, что численное значение касательного напряжения, возникающего вследствие действия силы внутреннего трения,

$$X = M\frac{dQ}{dt},$$

где коэффициент пропорциональности $M$ учитывает особенности конкретных жидкостей и называется *динамической вязкостью жидкости; $dQ/dt$* — скорость деформации сдвига. Тогда согласно закону внутреннего трения, открытому Ньютоном, численное значение касательного напряжения

$$X = \pm M\frac{d_u}{d_n},$$

где $d_n$ — толщина слоя, $d_u$ — разность скоростей в соседних слоях.

Вязкость жидкостей измеряют с помощью приборов — *вискозиметров* различных типов и конструкций.

В память французского ученого Пуазейля единица вязкости была названа «пуаз», 1 Пз = 1 г/(см · с) в системе CGS. В системе СИ единица динамической вязкости измеряется в Па · с, 1 Па · с = = 10 Пз.

В гидравлических расчетах кроме динамической вязкости широко используется и *кинематическая вязкость*, равная отношению динамической вязкости $M$ к плотности $p$ жидкости:

$$V = M/p.$$

Название «кинематическая вязкость» отражает тот факт, что в размерность $V$ входят только кинематические (а не динамические) величины.

В системе СИ единица см²/с названа «стокс»; 1 м²/с = $10^4$ Ст = = $10^6$ сСт.



Кинематическая вязкость воды, содержащей достаточное количество мелких (менее 0,05 мм) взвешенных твердых частиц, может существенно увеличиться по сравнению с чистой (без взвеси) водой. В связи с этим при изучении движения воды, несущей большое количество мелких наносов (особенно в природной области потока в реке или канале), часто учитывают изменение кинематической вязкости в зависимости от положения движущегося слоя относительно дна.

Жидкости, для которых справедлив закон внутреннего трения Ньютона, называются *ньютоновскими*.

Существуют жидкости (коллоидные суспензии, растворы полимеров, гидросмеси из глины, мела, цемента, сапропелей, илов, бетонные гидросмеси, строительные растворы, кормовые смеси в сельском хозяйстве и т. п.), для которых связь между касательным напряжением $Y$ и скоростью сдвиговой деформации $d_u/d_n$ выражается другими соотношениями. Такие жидкости относятся к *неньютоновским*. Например, если соотношение между $Y$ и $d_u/d_n$

$$Z = Y_0 \pm M d_u/d_n,$$

то жидкости называются *вязкопластичными* и их движение начинается лишь после того, как внешней силой будет преодолено напряжение сдвига $Y_0$. Таким образом, вязкопластичные жидкости отличаются от ньютоновских наличием касательного напряжения в состоянии покоя $Y_0$. Для других неньютоновских жидкостей динамическая вязкость может зависеть от градиента скорости, времени и т. д.

*Растворение газов.* Все жидкости в той или иной мере поглощают и растворяют газы. Согласно закону Генро—Дальтона при давлениях до 30 МПа и постоянной температуре относительный объем растворенного $W_r/W_ж$ газа равен постоянной величине $k_p$, называемой *коэффициентом растворимости*. Коэффициент растворимости зависит от температуры.

Если процесс растворения происходит при давлении $P_2$, то, пересчитав объем газа на некоторое эталонное давление $P_1$ (например, атмосферное), получим соотношение

$$\frac{W_r P_1}{W_ж P_2} = k'_p \frac{p_2}{p_1},$$

где $W_*$ — объем жидкости при давлении $P_2$ и температуре $t$; $W_r$ — объем растворенного газа, отнесенный к давлению $P_1$ и температуре $t$; $k'_p$ — коэффициент растворимости данного газа в данной жидкости при $t$.

При температуре 20°С и атмосферном давлении в воде содержится 1,6% растворенного воздуха по объему ($k'_p = 0{,}016$). С увеличением температуры от 0 до 30°С коэффициент растворимости воздуха в воде уменьшается. Коэффициент растворимости воздуха в маслах при температуре 20°С равен примерно 0,08—0,1. Кислород отличается более высокой растворимостью, чем воздух, поэтому содержание кислорода в воздухе, растворенном в жидкости, примерно на 50% выше, чем в атмосферном. При уменьшении давления из жидкости выделится объем газа соответственно закономерности. Процесс выделения газа протекает интенсивнее, чем растворение.

*Кипение* — процесс перехода жидкости в газообразное состояние, происходящий внутри жидкости. Жидкость можно довести до кипения повышением температуры до значений, больших температуры кипения при данном давлении, или понижением давления до значений, меньших давления насыщенных паров *Рн.п* жидкости при данной температуре. Обычно при понижении давления до давления насыщенных паров жидкости (при данной температуре) в жидкости образуются пузырьки, заполненные парами жидкости или газами, выделившимися из жидкости, т. е. происходит так называемое холодное кипение. В жидкости, из которой удален растворенный и не растворенный в ней газ (или воздух), т. е. в дегазированной жидкости, кипение не возникает и при температуре, большей температуры кипения при данном давлении.

*Сопротивление растяжению жидкостей* может возникать только в дегазированных жидкостях. В опытах удавалось при центрифугировании дегазированной дистиллированной воды получать на очень короткое время напряжение растяжения в воде, доходившее до 25 МПа. Технические жидкости не сопротивляются растягивающим усилиям.

Газы могут находиться в жидкости в растворенном и нерастворенном виде. Присутствие в жидкости *нерастворенного воздуха* (газа) в виде пузырьков существенно уменьшают модуль упругости жидкости, причем это уменьшение не зависит от размеров пузырьков воздуха. Динамическая вязкость жидкости с увеличением содержания воздуха растет. Содержание нерастворенного воздуха в рабочих жидкостях гидросистем машин и механизмов, так же как и в трубопроводах, подающих жидкость, может сильно повлиять на параметры работы трубопроводов и гидросистем.



*Поверхностное напряжение.* Известно, что молекулы жидкости, находящиеся на границе с газом, твердым телом или между двумя несмешивающимися жидкостями, испытывают со стороны других молекул жидкости не уравновешенное извне воздействие. Под влиянием этого воздействия поверхность жидкости стремится принять форму соответствующей наименьшей площади. Малые массы жидкости в воздухе стремятся к шарообразной форме, образуя капли.

Чтобы увеличить поверхность жидкости, необходимо часть внутренних молекул вывести на поверхность, для чего придется совершить работу. Это можно представить как наличие сопротивления граничной поверхности жидкости растяжению и считать, что по поверхности распределены силы, препятствующие растяжению. Такие силы действуют по касательным к поверхности направлениям и называются *силами поверхностного натяжения.*

Поверхностное натяжение σ представляет собой отнесенную к единице площади дополнительную энергию, которой обладают молекулы поверхностного слоя, или силу поверхностного натяжения, отнесенную к единице длины на свободной поверхности. Размерность поверхностного натяжения ($MT^{-2}$) в системе СИ — Н/м.

Значение σ зависит от природы соприкасающихся сред и температуры. С увеличением температуры значение σ уменьшается; при 20°С и контакте с воздухом σ равно: для воды — 0,0726; для ртути — 0,486; для этилового спирта — 0,022; для сырой нефти — 0,0235—0,038; для смазочного масла — 0,0350,038 Н/м.

На границе с воздухом расплавленная сталь при $t$ = 1550°С имеет σ = 1,86 Н/м, расплавленный чугун при $t \approx$ 1200—1450°С имеет σ = 0,9—1,0 Н/м, для границы вода — ртуть при 20°С σ = 0,378Н/м.

Добавка в жидкость поверхностно-активных веществ (ПАВ) может заметно уменьшить поверхностное натяжение.

Влияние поверхностного натяжения необходимо учитывать при изучении потоков с малой глубиной, при захвате окружающего

воздуха движущейся жидкостью (аэрации жидкости), в капиллярах и т. д.

В трубках малого диаметра (капиллярах) наблюдается искривление свободной поверхности, граничащей с газом или с парами этой же жидкости. Если поверхность трубки смачивается, свободная поверхность жидкости в капилляре вогнутая. Если не смачивается, свободная поверхность выпуклая. В этих случаях силы поверхностного натяжения обусловливают дополнительные напряжения в жидкости.

Под действием этих напряжений в трубках малого диаметра происходит *капиллярное поднятие* (при смачивании) или *опускание* (если нет смачивания) жидкости на высоту, определяемую по формуле

$$h_{кап} = \frac{4\sigma \cos\theta}{Pgd},$$

где θ — острый угол между касательной к свободной поверхности в точке пересечения со стенкой и самой стенкой капилляра; $d$ — диаметр капилляра.

Для чистой воды и стекла $\theta \approx 0$, для ртути и стекла $\theta \approx 50°$.

При $t = 20°C$ для воды, спирта (поднятие) и ртути (опускание) $h_{кап}$ равна соответственно $30/d$; $11{,}5/d$ и $10{,}15/d$ мм.

Одна и та же жидкость в капиллярах одного и того же диаметра может подниматься (при смачивании) или опускаться (если нет смачивания) в зависимости от материала, из которого изготовлена капиллярная трубка.

Поднятие воды в капиллярах в почве и грунтах является важным фактором в распространении воды. Высота капиллярного поднятия в грунтах изменяется от нуля (галечники) почти до 5 м (глины). При этом с увеличением минерализации воды высота капиллярного поднятия увеличивается.

Поверхностное натяжение и капиллярные эффекты определяют закономерности движения жидкости в условиях невесомости.

## 4.5. Особые свойства воды

Известно, что в понятие «вода» следует включать вещества, состоящие не только из молекул $H_2O^{16}$.



Различные комбинации изотопов водорода и кислорода обусловливают существование 36 разновидностей воды. В природной воде 99,7% — молекулы $H_2O^{16}$, на долю остальных разновидностей молекул воды приходится лишь 0,3%. Это не означает, что влияние других разновидностей молекул на свойства воды пропорционально их доле в общем объеме воды.

Вода — аномальное вещество. Прежде всего при различных температурах и давлениях вода может находиться в одном из трех агрегатных состояний: твердом (лед), жидком и газообразном (пар).

При уменьшении температуры от 4 до 0°С объем воды не уменьшается (как у всех других веществ, кроме висмута), а увеличивается. Плотность воды, имеющая максимальное значение при 4°С, при этом уменьшается. При замерзании объем воды увеличивается примерно на 10%. Температура замерзания воды с увеличением (до 19,6 МПа) понижается, а затем повышается.

Известно, что конвекция в водоемах (с пресной водой) прекращается при 4°С. При этой температуре в нижних слоях находится вода с большей плотностью, чем в верхних.

Морская вода замерзает при температуре −1,9°С. Вода в капиллярах в почве иногда может замерзнуть и при температуре +4,4°С.

Вода обладает чрезвычайно большой *теплоемкостью*, например, в 10 раз большей, чем железо, в 33 раза большей, чем ртуть, в 3,3 раза большей, чем спирт и глицерин, и т. д. При этом обычно теплоемкость других жидкостей с увеличением температуры увеличивается. Вода характеризуется минимальным значением теплоемкости при 35°С, а с ростом температуры теплоемкость вновь растет. Появление этого минимума объясняется разрушением ассоциаций (групп) молекул воды примерно при этой температуре.

Вода обладает очень высокой *теплотой испарения* и *скрытой теплотой плавления*. Например, теплота испарения воды в 8 раз, а скрытая теплота плавления в 27 раз больше, чем теплота спирта. При атмосферном давлении для перехода воды в пар из окружающей среды требуется в 6,75 раза больше теплоты, чем при плавлении льда при том же давлении.

При конденсации влаги (образование тумана) выделяется значительное количество теплоты. Это используется в установках, создающих искусственный туман, такие установки помимо оро-

шения могут использоваться для предохранения растений от заморозков.

*Электропроводность* сухого льда и снега гораздо меньше электропроводности воды, причем электропроводность воды сильно зависит от наличия примесей, а на электропроводность льда они влияют очень мало.

Электропроводность воды, естественно, зависит от количества растворенных в ней солей. Поэтому электропроводность морской воды на 2—3 порядка больше, чем электропроводность пресной речной воды, а по сравнению с химической чистой водой при 18°С — примерно в 12 000 раз.

Вода является сильным *растворителем*. Эта способность воды характеризуется относительной *диэлектрической проницаемостью*, которая довольно высока и при 0°С составляет около 87, с ростом же температуры она уменьшается до 55,7 при 100°С. Таким образом, по сравнению с воздухом и водяным паром, диэлектрическая проницаемость которых равна 1, эта характеристика воды гораздо больше (для льда она равна 3,2). При наличии в воде растворенного воздуха, богатого кислородом, и ряда агрессивных компонентов вода воздействует на материалы, из которых возведены сооружения. При этом может происходить *коррозия*. Растворенные в воде соли и взвешенные в ней твердые частицы могут привести к «зарастанию» стенок, например, трубопровода, вследствие чего пропускная способность таких труб может существенно уменьшиться.

Обработка воды воздействием магнитного поля применяется для предотвращения накипеобразования и коррозии в котлах и опреснительных установках, а также для ускорения осаждения взвесей при очистке воды. В результате проведенных опытов получены данные об увеличении скорости фильтрации воды, прошедшей обработку в магнитном поле, об ускорении сроков схватывания бетонов, в состав которых входит такая вода. Однако механизм влияния магнитного поля на свойства воды пока изучен недостаточно.

## 4.6. Измерение давления

Методы измерения давления столь же разнообразны, как и конструкции приборов, предназначенных для этого.



Приборы для измерения давления носят общее название — *манометры*. Однако по назначению их подразделяют на *барометры*, предназначенные для измерения атмосферного давления, *вакуумметры*, измеряющие разрежение газа относительно атмосферного давления, и *манометры*, измеряющие давления выше атмосферного. По принципу действия манометры делят на жидкостные и пружинные.

## 4.7. Основные понятия гидродинамики

В гидродинамике рассматривают законы движения жидкости в трубах, каналах и пористых телах, а также вопросы обтекания тел жидкостью.

Движение жидкости существенно отличается от движения твердого тела. Как известно из механики, движение твердого тела можно представить в виде суммы двух движений: поступательного и вращательного. При этом расстояние между двумя любыми его точками останется неизменным. В отличие от твердого тела расстояния между частицами жидкости не сохраняются в процессе движения. Перемещение достаточно малого объема жидкости можно представить в виде суммы трех движений: поступательного и вращательного и всего объема в целом, а также перемещения различных частиц объема относительно друг друга.

Итак, отличительной и самой существенной чертой жидкости является способность перемещения ее частиц относительно друг друга.

Движущаяся жидкость, как и покоящаяся, подвержена действию внешних массовых сил. Однако в движущейся жидкости необходимо учитывать еще и силы трения (вязкость жидкости).

Величинами, характеризующими состояние движущейся жидкости, являются скорость ее течения и давление. Основная задача гидродинамики — установить взаимосвязь между ними при заданной системе внешних сил, действующих на движущуюся массу жидкости.

*Элементарная струйка* — основной элемент гидравлической модели потока. Однако до ее определения введем несколько необходимых понятий.

Если выделенный объем жидкости настолько мал, что можно пренебречь изменением его формы, то его называют *жидкой частицей*. Кривая, которую описывает жидкая частица при своем движении, называется *траекторией жидкой частицы*.

Движение жидкости можно описать, проследив за движением каждой частицы, однако обычно этот способ не применяют. Если в каждый момент времени известен вектор скорости жидких частиц в каждой точке движущегося объема жидкости, то говорят, что задано *поле скоростей жидкости*. Если знать распределение (т. е. поле) скоростей потока и зависимость этого распределения от времени, то движение жидкости будет полностью определено. Направление скоростей в потоке характеризуется так называемыми линиями тока (рис. 54).

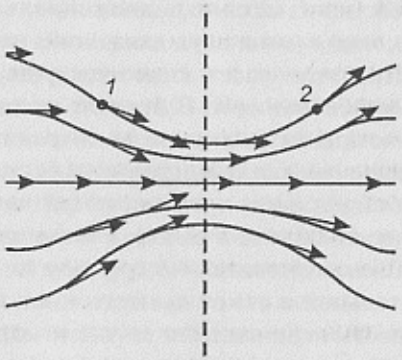



**Рис. 54.** Линии тока

*Линией тока* называют воображаемую кривую, проведенную в жидкости таким образом, что каждая частица жидкости, находящаяся на ней в данный момент времени, имеет скорость, совпадающую по направлению с касательной к этой кривой. Такая условно принятая линия тока в отличие от траектории объединяет множество частиц жидкости в данный момент времени.

Если при движении жидкости поле скоростей не изменится с течением времени, то такое движение называют *установившимся*, или *стационарным*.



В установившемся движении каждая частица в какой-либо точке пространства имеет ту же скорость, какую имели в этой точке все предыдущие частицы и будут иметь все последующие.

Если поле скоростей жидкости меняется со временем, то движение называют *неустановившимся*, или *нестационарным*. Линии тока при этом не совпадают с траекториями жидких частиц. Действительно, касательные линии тока дают направление скорости *различных частиц*, находящихся в данный момент в различных точках, например в точках *1* и *2* (см. рис. 55). Касательными же к траектории жидкой частицы являются скорости одной и той же частицы, но в различные моменты времени. На рис. 55 этому соответствуют два положения одной частицы — сначала в точке *1*, а затем в точке *2*. Если распределение скоростей в потоке меняется со временем, то за время, пока одна частица дойдет от точки *1* до точки *2*, скорость в точке *2* может измениться.

Из приведенного рассуждения следует, что *в установившемся потоке линии тока совпадают с траекториями жидких частиц*. Примером установившегося движения может служить процесс истечения жидкости из отверстия в стенке сосуда (см. рис. 55) при условии, что уровень жидкости в сосуде все время остается неизменным. Примером неустановившегося движения является тот же процесс истечения жидкости из отверстия в стенке сосуда (рис. 55, *б*), если при этом уровень жидкости в сосуде изменяется с течением времени.

Проведем мысленно линию тока через каждую точку малого замкнутого контура *C*, выделенного в жидкости (рис. 56). Полу-

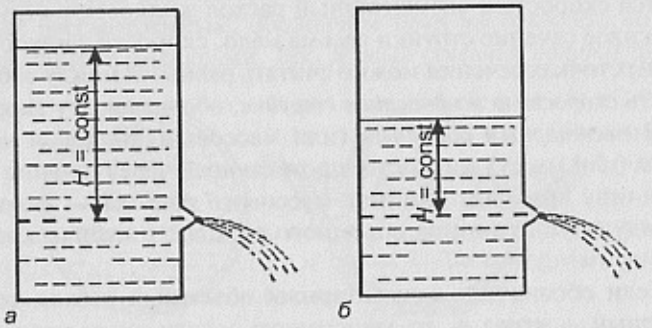



**Рис. 55.** Истечение жидкости

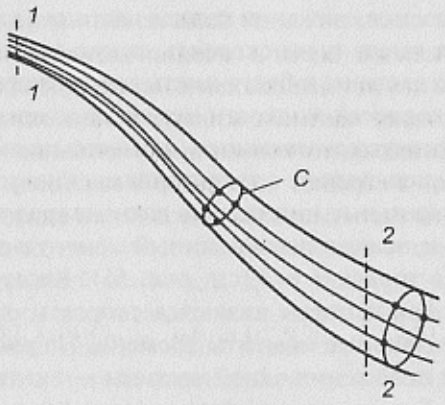



**Рис. 56.** Трубка тока

ченную трубчатую поверхность называют *трубкой тока*. Поскольку касательные к линиям тока дают направления скоростей частиц, то частицы никогда не покинут трубки тока, в которых они находятся. Жидкость, заполняющая трубку тока, образует *элементарную струйку*. При стационарном течении форма элементарных струек не меняется, поскольку не меняется форма линий тока. Площадь сечения элементарной струйки, нормальную направлению линий тока, называют *живым сечением*, или просто *сечением струйки*, и обозначают $A$.

Различные величины, характеризующие течение элементарных струек, очень важны, поскольку они дают точное дифференциальное (неусредненное) описание движения. Такими величинами являются скорость и элементарный расход жидкости в струйке. Так как живое сечение струйки весьма мало, скорости жидкости в различных точках сечения можно считать равными между собой и называть *скоростью жидкости в струйке*, обозначая эту скорость $V$.

*Элементарным объемным* (или массовым) *расходом* называют объем (или массу) жидкости, протекающей через сечение струйки в единицу времени. Единица массового расхода — килограмм в секунду (кг/с); единица объемного расхода — кубический метр в секунду ($м^3/с$).

Если обозначить элементарный объемный расход через $q$, а массовый — через $m$, то зависимость между ними выразится равенством



$$m = q\rho,$$

где $\rho$ — плотность жидкости в сечении элементарной струйки.

Рассмотрим движение несжимаемой жидкости в элементарной струйке. Поскольку частицы жидкости не покидают струйку и жидкость несжимаема, то элементарные объемные расходы в любых двух сечениях струйки, например в сечениях *1—1* и *2—2* (см. рис. 56), должны быть равны между собой в каждый момент времени:

$$q_1 = q_2.$$

С другой стороны, элементарный объемный расход жидкости в сечении площадью $A$

$$q = AV.$$

Действительно, за 1 с частица проходит путь, численно равный $V$, следовательно, $VA$ — объем цилиндра высотой $V$ и основанием $A$, а именно этот объем проходит за 1 с через сечение струйки.

Отсюда следует равенство

$$V_1A_1 = V_2A_2 = VA = const.$$

Эти уравнения называют *уравнениями неразрывности струйки*.

***Поток.*** В задачах гидродинамики обычно рассматривают ограниченные потоки. Границами потоков при этом являются твердые стенки труб, каналов, открытая поверхность жидкости, а также поверхности обтекаемых потоком тел (рис. 57). Поток можно мысленно рассмотреть как пучок элементарных струек. Поэтому и для всего потока вводятся понятия, аналогичные тем, которые были введены для элементарных струек. При этом величины, аналогичные рассмотренным, обозначим теми же буквами, но с соответствующими индексами. Так, *живым сечением потока* называ-

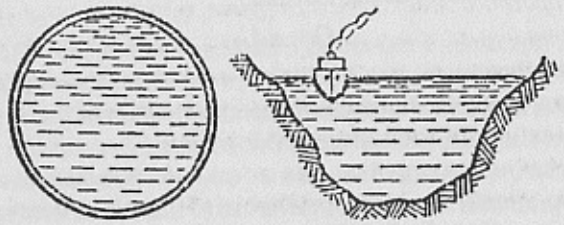


**Рис. 57.** Границы потока

ют сечение, нормальное к общему направлению движения жидкости. Площадь $A_n$ живого сечения потока равна сумме площадей живых сечений составляющих его элементарных струек:

$$A_n = \Sigma A.$$

*Расходом потока* (объемным $Q$ или массовым $M$) называют объем или массу жидкости, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. В результате имеем аналогичную формулу

$$M = Q\rho.$$

Для того чтобы определить объемный расход потока, необходимо ввести понятие *средней скорости потока*.

Поток, протекающий по руслу, ограниченному стенками, в разных точках поперечного сечения имеет соответственно разные скорости. Частицы жидкости, соприкасающиеся со стенками трубы (русла, канала), прилипают к стенкам и остаются неподвижными. Скорость частиц равна нулю. Струйки, протекающие в непосредственной близости к прилипшим частицам, вследствие внутреннего трения в жидкости тормозятся и уменьшают свою скорость. По мере удаления струек жидкости от стенок их скорость возрастает и на оси потока, т. е. в центре трубы (русла, канала), принимает максимальное значение. Эту скорость называют *осевой скоростью*.

Скорость элементарных струек потока, протекающих между стенками и осью, изменяется в пределах от нуля до максимальной осевой скорости.

Для упрощения вводят среднюю скорость потока $v$, определяемую формулой

$$v = Q/A.$$

Откуда объемный расход потока

$$Q = xA.$$

Следует объяснить, что в данном равенстве $v$ — средняя скорость потока, в то время как в предыдущем равенстве $v$ — точная (истинная) скорость элементарной струйки.

Так же, как и для струйки, для потока несжимаемой жидкости справедливо уравнение неразрывности. При любом течении любые два объема жидкости, протекающие в один и тот же момент



времени через произвольные сечения *1—1* и *2—2* (см. рис. 56), равны между собой:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q.$$

Если же течение жидкости стационарно, то для любого момента времени

$$v\,A = const.$$

Из этого равенства следует, что скорость обратно пропорциональна живому сечению потока:

$$v_1 / v_2 = A_2 / A_1.$$

Это явление хорошо иллюстрируется: скорость течения рек в местах их сужения увеличивается.

Одной из величин, характеризующих геометрию потока, является так называемый смоченный периметр.

*Смоченным периметром (П)* называют длину той части границы живого сечения, по которой поток соприкасается с ограничивающими его стенками.

На рис. 58 смоченный периметр выделен жирными линиями.

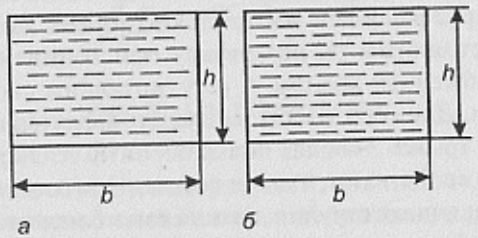



**Рис. 58.** Смоченный периметр

Если геометрический периметр того же сечения обозначить через $П'$, то всегда $П \leqslant П'$.

На рис. 58 смоченный периметр совпадает с геометрическим, так как жидкость со всех сторон ограничена твердыми стенками. На рис. 58, *б* смоченный периметр меньше геометрического на длину линии свободной поверхности жидкости. Если геометрический периметр на этом рисунке равен $2h + 2b$, то смоченный периметр равен $2h + b$.

Отношение площади $A$ живого сечения к смоченному периметру $П$ называют *гидравлическим радиусом сечения*:

$$R = A/П.$$

Не следует смешивать понятие «гидравлический радиус» с геометрическим. Понятие гидравлического радиуса имеет смысл для любого потока, ограниченного стенками. Геометрический же радиус потока существует только при течении жидкости по круглой трубе. Однако даже в этом случае геометрический радиус не совпадает с гидравлическим. Действительно, геометрический радиус $r = d/2$, а гидравлический радиус

$$R = П/d^2(4Пd) = d/4 \neq r.$$

Для канала прямоугольного сечения (см. рис. 58*а*, *б*) гидравлический радиус

$$R = bh/[2(b + h)] \text{ и } R = bh(b + 2h)$$

(для случаев *а* и *б* соответственно).

***Два режима течения жидкости.*** В конце XIX в. английский физик Осборн Рейнольдс с помощью разработанного им метода окрашенных струй установил, что существует два течения жидкости: *ламинарный* и *турбулентный*.

На рис. 59, *а* приведена принципиальная схема опыта Рейнольдса. Резервуар *2* заполнен жидкостью, уровень которой поддерживается постоянным. К резервуару присоединена стеклянная трубка *3*, снабженная краном *4*, регулирующим скорость движения жидкости. Для того, чтобы наблюдать характер потока в трубке *3*, в нее по трубке *1* вводят подкрашенную жидкость с теми же физическими свойствами, что и в сосуде. При этом скорость движения подкрашенной струйки должна быть близка к скорости потока в трубке *3*.

При небольших скоростях потока в трубке 3 подкрашенная струйка движется, не смешиваясь с основной массой жидкости, в виде отчетливо выраженной тонкой нити (рис. 59, *б*). При этом поток устойчиво движется в трубке параллельными, несмешивающимися струйками или слоями. Такое движение жидкости, при котором возможно существование стационарных траекторий ее частиц, называют *ламинарным*, или *слоистым*.

С увеличением скорости потока выше определенного значения течение жидкости в трубке скачкообразно меняет свой характер. При этом окрашенная струйка теряет форму прямой нити,



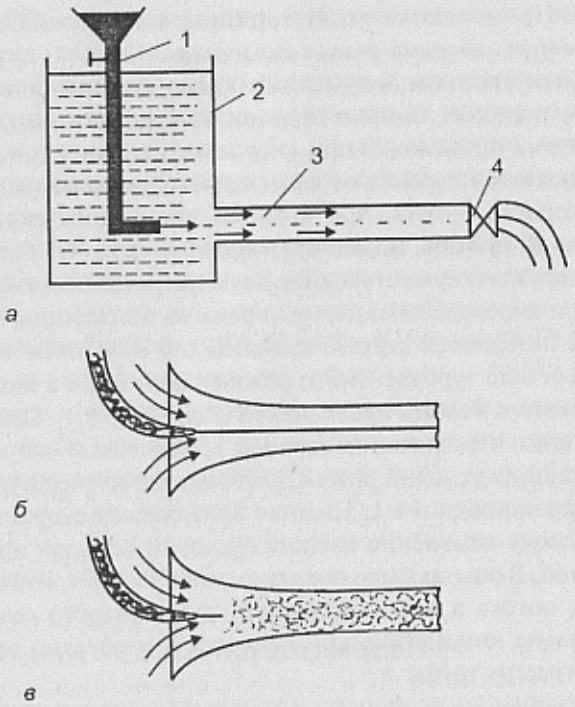



**Рис. 59.** Опыт Рейнольдса

принимает волнообразные очертания и, наконец, полностью размывается. Движение становится беспорядочным, и поток все время перемешивается (рис. 59, *в*).

Движение жидкости с хаотично изменяющимися во времени траекториями частиц, при котором в потоке возникают нерегулярные пульсации скорости, давления, и других параметров называют *турбулентным движением*.

Движение жидкости, при котором отсутствуют изменения (пульсации) местных скоростей, приводящие к перемешиванию жидкости, называют *ламинарным* (от лат. lamina — слой).

Движение жидкости, при котором происходят изменения (пульсации) местных скоростей, приводящие к перемешиванию жидкости, называют *турбулентным* (от лат. turbulentus — беспоря-

дочный). Применяются также термины *«ламинарный режим движения»*, *«турбулентный режим движения»*.

При постепенном закрывании крана явление повторяется в обратном порядке. Однако переход от турбулентного режима к ламинарному происходит при скорости, меньшей той, при которой наблюдается переход от ламинарного движения к турбулентному. Скорость потока, при которой происходит смена режима движения жидкости, называется *критической*. О. Рейнольдсом было обнаружено существование двух критических скоростей: одной — при переходе ламинарного режима движения в турбулентный, она называется *верхней критической скоростью* $v_{в.кр}$, другой — при переходе турбулентного режима движения в ламинарный, она называется *нижней критической скоростью* $v_{н.кр}$. Опытным путем доказано, что значение верхней критической скорости зависит от внешних условий опыта: постоянства температуры, уровня вибрации установки и т. д. Нижняя критическая скорость в широком диапазоне изменения внешних условий остается практически неизменной. В опытах было показано, что нижняя критическая скорость для потока в цилиндрической трубе круглого сечения пропорциональна кинематической вязкости $н$ и обратно пропорциональна диаметру трубы $d$:

$$v_{н.кр} = kv/d.$$

Коэффициент пропорциональности $k$ оказался одинаковым для различных $v$ и $d$:

$$K = v_{н.кр}d/н = 2320.$$

В честь Рейнольдса этот коэффициент назван *критическим числом Рейнольдса* и обозначен $R_{е.кр}$.

В общем случае режим движения жидкости определяется безразмерным комплексом

$$\frac{vl}{M/\rho} = \frac{vl}{\nu},$$

составленным из четырех величин: динамической вязкости $M$, плотности жидкости $c$, характерного геометрического размера живого сечения $l$ и средней скорости потока $v$.

Этот комплекс также называют *числом Рейнольдса* и обозначают символом $R_e$.



Число Рейнольдса характеризует отношение сил инерции к силам трения (вязкости).

В опытах Рейнольдса было обнаружено, что переход ламинарного движения в турбулентное происходит не мгновенно и не одновременно по всей длине трубы. Имеет место так называемая перемещающаяся смена ламинарного и турбулентного движения в данном сечении.

Характеризует перемещающуюся смену движений *коэффициент перемежаемости* $\beta$, равный отношению времени, в течение которого в данном сечении наблюдалось турбулентное движение, ко всему времени наблюдений. Если $\beta = 0$, движение ламинарное, если $\beta = 1$, движение полностью турбулентное.

В природе и в технике турбулентное движение жидкости наблюдается чаще, чем ламинарное. Области ламинарного движения — движение вязких жидкостей типа масел по трубам и в механизмах, движение грунтовых вод (но оно может также быть и турбулентным), движение в капиллярах (в том числе и движение крови в живых организмах).

## 4.8. Трубопроводы

Движение потока в закрытых и сплошь заполненных цилиндрических трубах широко используют для перемещения различных жидкостей (воды, нефти, масла, растворов и т. д.) как в лабораторной, так и в производственной технике.

Отдельные или соединенные между собой трубы, по которым транспортируют жидкости и газы, называют *трубопроводами*. Трубы для трубопроводов изготовляют различных диаметров: от весьма малых для контрольно-измерительной аппаратуры и лабораторной техники до очень больших, измеряемых метрами, например трубопроводы для гидротехнических сооружений. Трубопроводы изготовляют из стали, бетона, резины, пластмасс и других материалов.

В зависимости от гидравлической схемы работы трубопроводы подразделяют на простые и сложные. В *простых* трубопроводах нет точек ответвления на всем протяжении от точки забора до точки потребления. *Сложные* трубопроводы состоят из основной магистральной трубы и ряда отходящих от нее ответвлений. Тру-

бопроводы бывают с *транзитным расходом*, когда по всей их длине (от исходной точки до конечной) расход остается постоянным, и трубопроводы с *путевым расходом*, когда расход переменный, т. е. происходит раздача транспортируемой жидкости по пути ее следования.

Обычно в трубопроводах жидкости перемещаются принудительно под некоторым заданным давлением. При этом жидкость оказывает соответствующее давление на стенки труб изнутри, стремясь разорвать трубы. В тех случаях, когда трубы работают под давлением ниже атмосферного (всасывающие трубопроводы), они должны быть достаточно жесткими и не сплющиваться под действием разности между давлением в трубе и атмосферным. Если же трубопровод должен быть гибким, его изготовляют из резины или из пластических материалов.

Такие трубопроводы бывают трех видов:

а) армированные изнутри по всей длине трубы проволочными витками в виде растянутой пружины;

б) армированные проволочными витками, заложенными внутри стенок трубы при ее изготовлении, образуя как бы тройную стенку (полимер — арматура — полимер);

в) вакуумные резиновые трубы с толщиной стенки, равной внутреннему диаметру трубы.

Все три вида труб достаточно жестки и хорошо сопротивляются сплющиванию.

***Гидравлический расчет простого трубопровода.*** При расчете трубопровода следует решить три основные задачи (рис. 60):

1) определить перепад (потери) напора, необходимого для пропуска заданного расхода жидкости;
2) определить расход жидкости при заданном перепаде напора;
3) определить оптимальное сечение трубопровода.

Рассмотрим трубопровод, состоящий из $n$ участков труб с коэффициентами трения $f_1, f_2 \ldots f_n$, длинами $l_1, l_2 \ldots l_n$ и диаметром $d_1$, $d_2 \ldots d_n$. Пусть, кроме того, в трубопроводе имеется $n$ местных сопротивлений с коэффициентами $o_1, o_2 \ldots o_n$.

Если по данному трубопроводу поднимают воду на высоту $Z$, то при стационарном течении полная потеря напора в соответствии с известными формулами составит



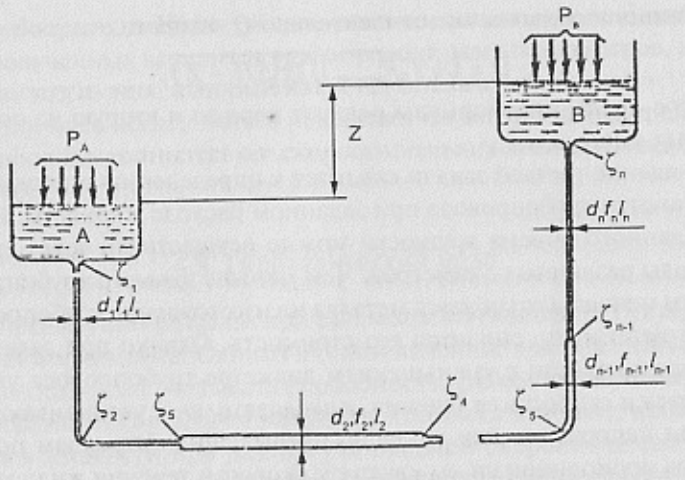



**Рис. 60.** Схема простого трубопровода

$$\Delta H = \frac{P_A - P_B}{pg} = Z + \sum_{i=1}^{n} f_i \frac{l_i}{d_i} \frac{V_i^2}{2g} + \sum_{k=1}^{m} \xi_k \frac{V_k^2}{2g}.$$

Приведенная формула справедлива при условии, что резервуары достаточно большие (по сравнению с трубами) и поэтому можно считать жидкость в них покоящейся и пренебречь начальными и конечными динамическими напорами. Если в данной формуле $Z = 0$, то это означает, что точка потребления находится ниже точки забора.

Выразив с помощью уравнения неразрывности $V_1 A_1 = V_2 A_2 = \ldots = V_n A_n$ все скорости $V_i$ через одну, например $V_1$, получим

$$\Delta H = \frac{P_A - P_B}{pg} = Z + \frac{V_1^2}{2g}\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{f_i l_i}{d_i}\left(\frac{A_1}{A_i}\right)^2 + \sum_{k=1}^{m} \xi_k \left(\frac{A_1}{A_k}\right)^2\right].$$

Если выражение в квадратных скобках обозначить через $\xi_{сист}$, то

$$\Delta H = (P_A - P_b)/(pg) = Z + \xi_{сист} V_1^2/(2g).$$

Так как $Q = V_i A_i$, то формулу можно переписать в виде

$$\Delta H = (P_A - P_B)/(pg) = Z + \xi_{сист} Q^2/(2gA_i^2).$$

Решив это уравнение относительно $Q$, найдем

$$Q = \left(A_1 / \sqrt{\xi_{сист}}\right)\sqrt{2g(\Delta H - Z)}.$$

Обе последние формулы решают первую и вторую из поставленных выше задач.

Решение третьей задачи сводится к определению оптимального диаметра трубопровода при заданном расходе жидкости. Подачу заданного объема жидкости можно осуществить через трубопроводы различных диаметров. Чем меньше диаметр трубопровода, тем меньше потребуется металла на изготовление трубопровода и соответственно снизится его стоимость. Однако при заданном расходе жидкости с уменьшением диаметра трубопровода увеличивается и скорость ее течения, а следовательно, увеличиваются и потери напора, так как согласно предыдущим формулам потери напора пропорциональны квадрату скорости течения жидкости.

Следовательно, для прокачивания жидкости по более дешевому трубопроводу (меньшего диаметра) потребуются более дорогие насосы, развивающие более высокое давление и потребляющие больше энергии. Таким образом, видно, что экономия на стоимости трубопровода одновременно приводит к удорожанию стоимости насосной установки и повышению эксплуатационных расходов. Поэтому задача о выборе диаметра трубопровода требует для своего решения не только технических, но и экономических расчетов.

Очевидно, существует какой-то диаметр трубопровода, при котором суммы затрат средств на перекачивание жидкости, амортизацию насосных установок и трубопровода и их ремонт будут минимальными. Этот диаметр и будет оптимальным диаметром трубопровода.

Используя известную формулу и выразив в ней площадь $A$ через диаметр $d$, можно написать:

$$Q = VA = Vpd^2/4, \text{ откуда}$$

$$d = \sqrt{4Q/(\pi V)},$$

где $d$ — внутренний диаметр трубопровода, м; $Q$ — расход жидкости, м$^3$/с; $V$ — скорость жидкости, м/с.

Задаваясь несколькими значениями скорости $V$, определяют по указанной формуле расчетное значение соответствующих диаметров трубопровода. Изучая и сравнивая все экономические показатели полученных вариантов трубопровода разных диаметров, принимают тот из них, который является оптимальным.



Различные исследования показали, что оптимальный диаметр трубопровода соответствует скорости течения жидкости порядка $V = 1$ м/с.

## 4.9. Гидравлический удар

В предыдущих разделах при рассмотрении жидкости считалось, что она несжимаема. Однако в таком явлении, как *гидравлический удар*, необходимо учитывать способность жидкости сжиматься.

*Гидравлическим ударом* называют комплекс явлений, происходящих в жидкости при резком уменьшении скорости ее течения. При этом в жидкости возникает затухающий колебательный процесс, с чередованием резкого повышения и понижения давления.

Представим себе, что по трубопроводу течет поток со скоростью $V$. Если резко преградить ему путь заслонкой, краном или любым другим запорным приспособлением, то жидкость не сразу остановится по всему трубопроводу. Сначала это произойдет с передними слоями жидкости, находящимися непосредственно у самой задвижки. Следующие слои, не имея возможности продолжать движение, будут давить на передние слои, сжимать их и тоже останавливаться. В слоях, следующих друг за другом, образуется область повышенного давления, которая в виде ударной волны отразится от задвижки со скоростью $c$ в направлении, обратном движению жидкости.

Ударная волна, достигнув начального сечения трубы, может (в определенных условиях) начать обратное движение к задвижке с той же скоростью, но уже с пониженным давлением. Достигнув сечения задвижки, ударная волна с меньшим давлением опять вернется к начальному сечению трубопровода. Таким образом, при гидравлическом ударе в жидкости возникает чередующийся процесс резкого повышения и понижения давления, который благодаря вязкости жидкости быстро затухает.

Значение скачка давления $\Delta P$ при полной остановке жидкости в месте возникновения гидравлического удара определяют по формуле, выведенной русским ученым Н.Е. Жуковским:

$$\Delta P = \rho V c,$$

где ρ — плотность жидкости; $V$ — скорость жидкости до остановки у задвижки; $c$ — скорость распространения ударной волны, которая обычно близка к скорости распространения звука в данной жидкости.

Чем выше сжимаемость жидкости, тем ниже скорость распространения ударной волны в ней, а следовательно, и $\Delta P$ в указанной формуле. Кроме того, некоторая деформация трубы при гидравлическом ударе также снижает его значение. Но несмотря на это, скачок давления при гидравлическом ударе очень велик (от 1 до 10 МПа). Поэтому для предотвращения или для ослабления гидравлического удара устанавливают запорные устройства такого типа, которые не сразу, а постепенно преграждают путь движущемуся потоку. Иногда устанавливают перед задвижками воздушные колпаки или пружинные компенсаторы, принимающие на себя повышенное давление и локализующие распространение гидравлического удара.

Итак, к возникновению гидравлического удара могут приводить различные причины:

1) быстрое закрытие и открытие запорных и регулирующих устройств;
2) внезапная остановка насоса;
3) выпуск воздуха через гидранты на оросительной сети при заполнении трубопроводов водой (обычно гидравлический удар может начаться в заключительной стадии выпуска воздуха);
4) пуск насоса при открытом затворе на нагнетательной линии.

Характер процесса гидравлического удара зависит от вызвавших его причин. Так, при резком закрытии затвора в конце трубопровода гидравлический удар начнется с повышения давления, которое от затвора будет распространяться вверх по трубопроводу, а затем сменится понижением давления. Если закрытый затвор в конце трубопровода резко откроется, гидравлический удар начнется с понижения давления, которое затем сменится его повышением.

Гидравлический удар с разрывом сплошности потока может произойти при внезапной остановке насоса. Подача воды насосом прекращается, а движение воды по инерции по трубопроводу



еще происходит. При этом в потоке могут возникнуть *разрывы сплошности*. То есть если давление в трубопроводе понизится (на этих участках) до давления (упругости) насыщенных паров жидкости при данной температуре, начинается «*холодное кипение*», образуются пары жидкости при пониженном давлении.

При перемене направления движения, которое произойдет вследствие отражения и преломления волн гидравлического удара, разорвавшиеся части колонны жидкости встречаются друг с другом (в местах разрыва сплошности), и давление очень сильно возрастает по сравнению с гидравлическим ударом без разрыва сплошности.

***Защита от воздействия гидравлического удара:***

1. *Сброс части жидкости из трубопровода при повышении давления*, если такой сброс возможен по соображениям охраны окружающей среды.

Воду сбрасывают в какие-либо понижения местности, в водоемы или обратно в источник водоснабжения.

К мерам защиты относится и сброс воды через специальные предохранительные клапаны или другие устройства (например, разрывные мембраны). При превышении давления клапаны, градуированные на определенное давление, открываются, и давление понижается. Разрывные мембраны, изготовленные из тонкого листа металла, устанавливаются на отводе от основного трубопровода. Мембрана полностью прикрывает поперечное сечение отвода. При превышении определенного давления мембрана разрывается и часть жидкости выливается (затем заменяется другой). Предохранительные клапаны автоматически закрываются.

2. *Впуск и защемление воздуха*. Эффективным средством борьбы с чрезмерным повышением давления в трубопроводе служит впуск воздуха в места образования разрыва сплошности и последующее защемление воздуха. Для впуска и защемления воздуха служат специальные устройства — *клапаны*. Защемленный в местах разрыва сплошности потока воздух не позволяет разошедшимся волнам воды при обратном движении соударяться, ибо такое соударение вызвало бы очень резкое повышение давления.

Воздух после гашения гидравлического удара должен быть удален из трубопровода (через вантузы).

3. *Впуск воды в трубопровод* осуществляется из бассейнов, которые отделены от защищаемых трубопроводов *обратными клапанами*. При понижении давления в трубопроводе вследствие остановки насосов на средней линии (бассейн — трубопровод) открывается обратный клапан, и необходимый объем воды из бассейна поступает в трубопровод.

Впуск и защемление воздуха и впуск воды целесообразно осуществлять во всех сечениях, где возможен разрыв сплошности потока, или по крайней мере в нескольких наиболее опасных местах.

*Воздушно-гидравлические колпаки* применяются для гашения гидравлических ударов, возникающих в напорных трубопроводах. Размеры колпаков при установке их на напорных трубопроводах насосных станций определяются из условий пуска и остановки насосного агрегата.

*Кавитация* — микроскопический гидроудар, получающийся в результате лопания пузырьков воздуха, образуя на внутренних поверхностях насосов мельчайшие кратеры. Это явление постепенно наносит ощутимый вред насосам и прочему оборудованию, во избежание чего приходится футеровать более прочным металлом внутреннюю часть насосов.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Приведите исторические сведения по гидравлике и области ее применения.*
2. *Назовите основные свойства жидкостей и силы, действующие в покоящейся или движущейся жидкости.*
3. *Объясните, вода — аномальное вещество?*
4. *Дайте определение массовых (объемных) и поверхностных сил.*
5. *Дайте определение элементарной струйки, траектории жидкой частицы, линий тока.*
6. *Назовите характеристики установившегося и неустановившегося движения жидкости.*
7. *Дайте определение ламинарного и турбулентного режимов движения жидкостей. Что такое критические скорости?*
8. *Дайте определение гидравлического радиуса.*
9. *Какова сущность энергии элементарной струйки?*



10. *Дайте определение транзитных и путевых расходов в трубопроводах.*
11. *Назовите причины гидравлического удара и меры борьбы с ним.*

# Глава 5. ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПОСЕЛЕНИЙ И ЗДАНИЙ

## 5.1. Требования, предъявляемые к качеству воды

Различают питьевую и техническую воду. Если вода вступает в непосредственный контакт с сырьем и продукцией, а также для работы пластинчатых пастеризационно-охладительных установок, используют только питьевую воду. Качество питьевой и технической воды должно соответствовать ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Технические требования и контроль за качеством».

Техническая вода применяется в холодильных установках, котельных, трубчатых охладителях, в системах пожаротушения и отопления. Она должна быть безвредна для здоровья людей (коли-индекс не более 1000). Отложения солей должны быть не более 0,08 мм в течение 1 мес., а биологические обрастания на 1 м$^2$ поверхности — слоем не более 0,05 мм в течение 1 мес.

Качество воды определяют по бактериологическим, органолептическим показателям и показателям токсических химических веществ, перечисленных в ранее упомянутом ГОСТе.

По бактериологическим показателям вода, подаваемая в водопроводную сеть и поступающая к потребителям через наружные водоразборы и краны внутренних водопроводных сетей, должна соответствовать следующим требованиям: общее количество бактерий в 1 мл неразбавленной воды — более 100, коли-индекс — не более 3.

Органолептические свойства воды характеризуются определенными показателями. Их устанавливают исходя из требований к загрязняющим веществам, встречающимся в природных водах, к добавляемым при обработке воды в виде реагентов, а также к появляющимся в результате бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения водоисточников. При оценке качества воды проверяют следующие показатели: запах, привкус, цветность, мутность. Вода должна соответствовать следующим требованиям:

- запах при температуре воды от 20 до 60°С — не более 2 баллов;
- привкус при 20°С — не более 2 баллов;
- цветность по платиново-кобальтовой или имитирующей шкале — не более 20°;
- мутность по стандартной шкале — не более 1,5 мг/л.

Химические вещества, влияющие на органолептические свойства воды, независимо от происхождения не должны превышать установленных ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». Содержание сухого остатка допускается не более 1000 мг/л, общая жесткость — 7 мг экв/л, концентрация хлоридов — 350 мг/л, железо — 0,3; нитраты — не более 45 мг/л. Концентрацию химических веществ в воде определяют методами, установленными соответствующими ГОСТами.

Водородный показатель (pH) должен быть в пределах 6,0—9,5. Показателем эффективности обеззараживания воды хлором является наличие остаточного свободного хлора. Его концентрация в воде должна быть не менее 0,3 мг/л и не более 0,5 мг/л.

При дополнительной специальной обработке воды (обезжелезивание, умягчение, фторирование и др.) осуществляется контроль за эффективностью обработки.

Очистку воды производят на специальных *водопроводных очистных сооружениях*, после чего из резервуаров чистой воды через насосную второго подъема она подается в водопроводную сеть для питьевых и прочих хозяйственно-бытовых целей.

Пробы воды из распределительной сети для определения качества воды берут периодически (от 1 до 200 раз в месяц) в зависимости от численности населения, пользующегося водопроводом.

Государственный контроль за качеством воды (в местах водозабора, перед поступлением воды в сеть и в распределительной сети) осуществляет санитарно-эпидемиологическая служба.

## 5.2. Нормы расхода воды и режим водопотребления

*Расходом воды* называют количество воды, потребляемой предприятием либо населенным пунктом в единицу времени, выраженное в л/с, м³/с, м³/ч, м³/сут.



Величина потребления и расхода воды предприятием обусловливается климатическими условиями, назначением и мощностью, техническим и культурным уровнем предприятия, для населенных мест следует добавить — численностью населения, благоустроенностью жилого фонда, национально-региональный фактором, от которых зависят вид и состояние внутренней водопроводной сети, благоустройство территории.

При расчетах систем водоснабжения расход воды на производственные и противопожарные нужды определяют по нормам расхода воды (нормам водопотребления).

*Нормой расхода воды* называют предельное количество воды, отнесенное к водопотребляющей единице (единица оборудования, вырабатываемой продукции, работников предприятия, численность населения и т. д.). Нормы расхода приведены в технологических нормах проектирования.

Расход воды рассчитывают в соответствии с указаниями, изложенными в СНиПах. Расчетные расходы воды являются исходными данными для определения диаметра водопровода, подбора насосов и другого водопроводного оборудования.

Подсчитав расход воды на производственные, хозяйственно-бытовые и питьевые нужды в течение часа, приступают к составлению графика водопотребления. Составляют общий график водопотребления и отдельно графики потребления воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды (рис. 61).

На предприятиях самая большая потребность в питьевой воде наблюдается на стыке смен, в населенном пункте — утром и вечером.

Вода в течение суток, недели, месяца и года потребляется неравномерно, поэтому для расчетов расхода воды используют коэффициент неравномерности водопотребления $k$ (часовой, суточный, месячный, годовой):

$$k = Q_{макс} / Q_{ср},$$

где $Q_{макс}$ — максимальный расход воды; $Q_{ср}$ — средний расход воды.

Коэффициент суточной неравномерности хозяйственно-питьевого водопотребления на промышленных предприятиях принимают равным единице.

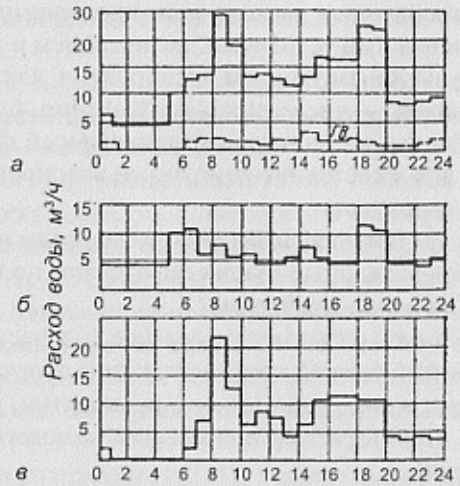



**Рис. 61.** Графики водопотребления:
*а — водопотребление по всему заводу (ГВ — расход горячей воды);*
*б — водопотребление, кроме технологических нужд;*
*в — водопотребление на технологические нужды*

Коэффициент часовой неравномерности потребления производственной воды бывает различным (от 2,3—3) и зависит от технологии и оборудования предприятия.

## 5.3. Классификация систем водоснабжения

Система водоснабжения — это комплекс инженерных сооружений для забора, очистки и подачи воды потребителям. Она включает источники воды, насосные станции, станции очистки, баки, резервуары и сети трубопроводов.

В зависимости от местных условий некоторые из этих сооружений могут отсутствовать. В тех случаях, когда предприятие обеспечивается водой от городского водопровода, водозаборные и очистные сооружения не устраивают.

Системы водоснабжения различают по виду обслуживаемого объекта, по назначению и по принципу расходования воды.



По *виду обслуживаемого объекта* системы водоснабжения делят на городские, поселковые, промышленные, железнодорожные, сельскохозяйственные и др.

В зависимости от *назначения* системы водоснабжения бывают следующие: хозяйственно-питьевые, производственные (технологические), противопожарные, объединенные.

*Хозяйственно-питьевые системы* снабжают водой столовые, души, умывальники, уборные, прачечные и другие водопотребительские объекты хозяйственного назначения.

*Производственные системы* предназначены для подачи воды на технологические нужды. Технологическую воду используют для нагрева или охлаждения сырья и полуфабрикатов, в теплообменных аппаратах, для мойки тары, помещений и т. д. На производственные цели уходит большая часть поступающей на предприятие воды.

*Противопожарные системы* обеспечивают водой для тушения пожаров внутри предприятий и на его территории.

Противопожарный водопровод делят на внутренний и наружный. Внутренний устраивают в пожароопасных и взрывоопасных помещениях (машинные и аппаратные залы аммиачных компрессорных станций, отделения дробления и просеивания кормовой муки и т. д.). Все подводки обеспечивают противопожарными средствами (шланги с брандспойтами, дренчерные и спринклерные установки).

Наружный водопровод на территории предприятия прокладывают под землей. Он может быть низкого или высокого давления. Низкое водопроводное давление поддерживают городская насосная станция, водонапорная башня, насосная станция второго подъема. Высокое давление создают специальные стационарные противопожарные насосы. Их устанавливают в помещениях предприятий.

Каждая система водоснабжения обеспечивается оперативным запасом воды. Этот запас хранят в подземных резервуарах. Количество оперативного запаса определяют исходя из норм расхода на тушение пожара. Требуемое давление в водопроводе создают водонапорная башня, пневматические установки или насосы второго подъема.

Систему водоснабжения, обслуживающую несколько крупных объектов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, называют районной или районным водопроводом.

Иногда водопровод обеспечивает водой объекты, расположенные на участках территории с различной высотой. В таких случаях устраивают зонные системы водоснабжения. Для высоко расположенных участков насосы поддерживают высокое давление, которое не нужно для низко расположенных (повысительные насосные станции).

При наличии *объединенных систем водоснабжения* вода поступает на различные цели. Например, на предприятиях мясной и молочной (т. е. пищевой) промышленности на технологические нужды идет только питьевая воды. Это позволяет объединить хозяйственно-питьевую и производственную системы в одну общую. Такая общая система может служить и для противопожарных целей. В некоторых случаях сооружают частично объединенные системы водоснабжения — производственно-хозяйственные, когда для технологических целей применяют только питьевую воду, и хозяйственно-противопожарные (в административно-хозяйственных помещениях). Кроме того, на предприятиях устраивают системы горячего водоснабжения.

Все системы внутреннего водоснабжения делят по *принципу расходования воды* на прямоточные, последовательно-повторные и оборотные.

В прямоточных системах воду из точек потребления (разные звенья технологического процесса, мойки оборудования и помещений, душевые, туалеты и т. д.) спускают в канализацию. Прямоточная система является самой распространенной и наименее экономичной. Значительную экономию воды дают последовательно-повторная и оборотная системы водоснабжения.

## 5.4. Повторное и оборотное водоснабжение

При повторном водоснабжении воду, после использования в каком-либо технологическом процессе сохранившую достаточно качественные показатели, без промежуточной обработки подают для повторного применения (рис. 62, *а*). Например, тару для молочных продуктов (контейнеры, фляги и т. д.) после мойки повторной водой ополаскивают еще и питьевой. Эту воду можно повторно применять для первого ополаскивания, мойки полов, наружного обмыва автомашин, полива территории и т. д.



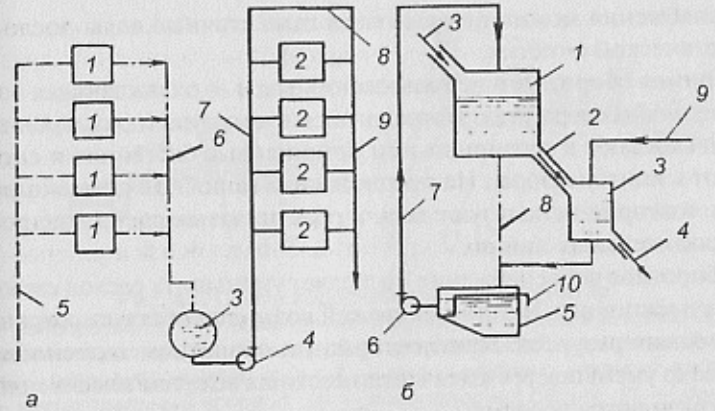



**Рис. 62.** Схемы систем повторного и оборотного водоснабжения:
*а — повторного использования воды с установкой накопителя и насоса: 1 — технологическое оборудование для использования водопроводной воды; 2 — технологическое оборудование для использования отработанной воды; 3 — накопитель; 4 — насос; 5 — водопровод; 6 — трубопровод, подающий отработанную воду в накопитель; 7 — трубопровод, подающий отработанную воду для повторного использования; 8 — трубопровод для сброса избытков отработанной воды; 9 — трубопровод для сброса использованной воды в канализацию;*
*б — схема оборотного водоснабжения для мойки (промывки) сырья, полуфабриката и готового продукта: 1 — промыватель на необоротной воде; 2 — поток промываемого вещества; 3 — промыватель на водопроводной воде; 4 — поток промытого вещества; 5 — аппарат для очистки оборотной воды, например отстойник; 6 — насос; 7 — трубопровод, подающий очищенную воду; 8 — трубопровод, подающий загрязненную воду; 9 — водопровод; 10 — канализация*

В оборотных системах (рис. 62, *б*) воду используют многократно после соответствующей обработки (очистки, охлаждения, подогрева и т. д.).

Если при первом использовании вода загрязняется, ее подают в очистные сооружения, после чего очищенную воду с помощью насосов вновь направляют для участия в технологическом цикле. В канализацию уходит небольшая часть воды с загрязнениями. Потери восстанавливают свежей водой. В системах оборотного

водоснабжения можно использовать даже сточные воды после их биологической очистки.

Пример оборотного использования воды — охлаждающая вода в холодильных агрегатах. Нагревшуюся в конденсаторах агрегатов воду охлаждают в градирных или брызгальных бассейнах и снова подают в конденсаторы. На предприятиях молочной промышленности повторно используют воду в пластинчатых пастеризационно-охладительных линиях.

Оборотное водоснабжение позволяет уменьшить расход свежей воды в десятки раз. Экономия свежей воды способствует сохранению водных ресурсов. При повторном и оборотном водоснабжении резко уменьшается количество сточных вод, тем самым меньше загрязняются водоемы.

На предприятиях нужно добиваться сокращения водопотребления свежей воды и водоотвода. Для этого необходимо внедрять безотходные технологические процессы и системы водоснабжения с повторным и оборотным использованием воды по замкнутому циклу с полной ее регенерацией.

## 5.5. Системы холодного водоснабжения

Воду, подаваемую в сеть трубопроводов, забирают из глубинных скважин или из поверхностных водоемов (ключей, озер, рек и др.). Схема водоснабжения с забором воды из реки приведена на рис. 63.

Речная вода самотеком поступает в водозаборное сооружение. Дальше насосами первого подъема она подается в очистные сооружения, которые проходит самотеком. Очищенная вода (включая дезинфекцию — обеззараживание) поступает в резервуары чистой воды. Оттуда воду забирают насосы станции второго подъема и подают в водопроводную сеть населенного пункта и промышленных предприятий. При заборе воды из источников, чаще подземных, вода которых не требует очистки из-за естественной фильтрации через слои земли, схема головных сооружений (часть системы водоснабжения от места забора воды до водонапорной башни или насосной станции второго подъема) упрощается. В ней отсутствуют очистные сооружения (станции очистки) или устанавливают только сооружения для специальной обработки воды (обезжелезиватели, умягчители, фтораторы, дефтораторы, дегазаторы, опреснители и др.).



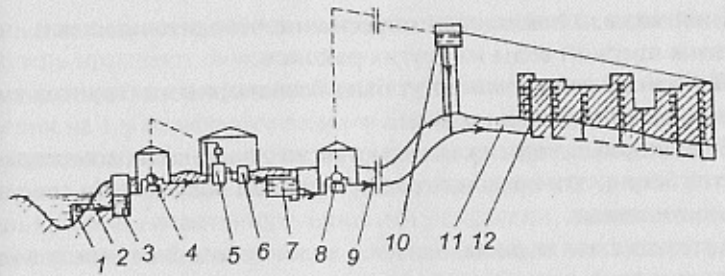



**Рис. 63.** Схема водоснабжения предприятия:
*1 — водоприемник; 2 — самотечная труба; 3 — береговой колодец; 4 — насос станции первого подъема; 5 — отстойник; 6 — фильтр; 7 — запасной резервуар чистой воды; 8 — насос станции второго подъема; 9 — магистральный водовод; 10 — водонапорная башня; 11 — магистральные трубопроводы; 12 — водопроводные вводы*

Расход воды из водопроводной сети значительно колеблется в течение суток, однако подача воды насосами второго подъема относительно равномерна. В часы, когда насосы подают больше воды, чем расходуют, излишек поступает в водонапорную башню. Когда подача воды насосами недостаточна, используется вода из башни.

В крупных системах водоснабжения давление в сети поддерживают насосы второго подъема, поэтому водонапорные башни не сооружают.

Иногда для производственных целей требуется подача воды разного качества (питьевая и техническая) и под разным напором, в таких случаях устраивают соответствующее число водопроводных сетей.

## 5.6. Водоисточники

Источники воды различают поверхностные и подземные.

К *поверхностным источникам* относят озера, реки, водохранилища, образуемые на реках при устройстве плотин. В приморских районах для производственных целей применяют морскую воду. Но к этому прибегают только в крайних случаях: при отсутствии

пресной воды, а также если опреснение обходится дешевле, чем доставка пресной воды из других районов.

*Подземные источники* могут быть безнапорными (грунтовыми) и напорными (артезианскими).

Безнапорные воды скапливаются во впадинах водонапорных пластов земли, эти воды находятся в первом водоносном слое поверхности земли.

Артезианские воды находятся в водоносном слое между водоупорными слоями земли. Они заполняют водоносный слой полностью. Напорные воды характеризуются хорошими бактериологическими и физическими качествами, но имеют высокую жесткость и железистость.

Чтобы забирать воду из подземных источников, сооружают трубчатые колодцы (буровые скважины). В колодце вода из напорного водоносного горизонта поднимается до определенного уровня — пьезометрической линии. Если эта линия проходит выше поверхности земли, то вода из скважины выливается. Такая скважина является фонтанирующей. Если воду из трубчатого колодца не откачивают, то уровень воды в нем занимает высшее положение, называемое *статическим* (рис. 64). При откачке воды уро-

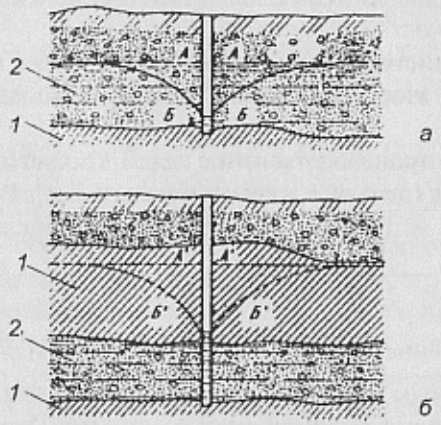



**Рис. 64.** Депрессионные воронки:
*а — безнапорных вод; б — напорных вод; 1 — водоупорные породы; 2 — водоносные породы; АА — статический уровень; А'А' — пьезометрическая линия при отсутствии откачки; ББ и Б'Б' — динамические уровни*



вень понижается в зависимости от интенсивности откачки. Этот уровень называют *динамическим*.

Количество откачиваемой воды при понижении динамического уровня на 1 м называют *удельным дебитом*. Динамический уровень находится ниже, чем уровень в грунте за пределами трубчатого колодца. В поперечном разрезе это изображают кривой депрессии. Область, охваченную кривыми депрессии, называют *депрессионной воронкой*, радиус ее — *радиусом влияния колодца*.

Если рядом устраивают несколько трубчатых колодцев, то их располагают так, чтобы радиусы влияния колодцев не пересекались.

## 5.7. Водозаборные сооружения

К водозаборным сооружениям относят трубчатые колодцы (скважины), шахтные колодцы, горизонтальные водозаборы, каптажные камеры.

С помощью *трубчатых колодцев* забирают безнапорные и напорные подземные воды, залегающие на глубине более 10 м.

*Шахтные колодцы* углубляют в грунт до 30 м, они предназначаются для забора грунтовых вод.

*Горизонтальные водозаборы* устанавливают у поверхностных водоисточников.

*Каптажные камеры* собирают включенную воду для водоснабжения.

Трубчатые колодцы являются самым распространенным видом водозаборных сооружений для систем водоснабжения (рис. 65). Их сооружают путем бурения ударным или роторным (при большой глубине) способами. При бурении стенки скважин закрепляют стальными обсадными трубами, которые соединяются резьбовыми муфтами в колонны. Вслед за буром в скважину опускают обсадные стальные трубы диаметром $D_1$ до тех пор, пока колонна перестанет углубляться. Бур вынимают и вместо него опускают вторую колонну труб меньшего диаметра $D_2$. Через вторую колонну бурение продолжают буром меньшего диаметра. К колонне по мере ее углубления присоединяют новые трубы. Таким образом, верхний конец колонны всегда выступает над поверхностью земли.

Аналогично поступают с новой колонной труб еще меньшего диаметра $D_3$. Бурение ведут до проектной глубины. Через водо-

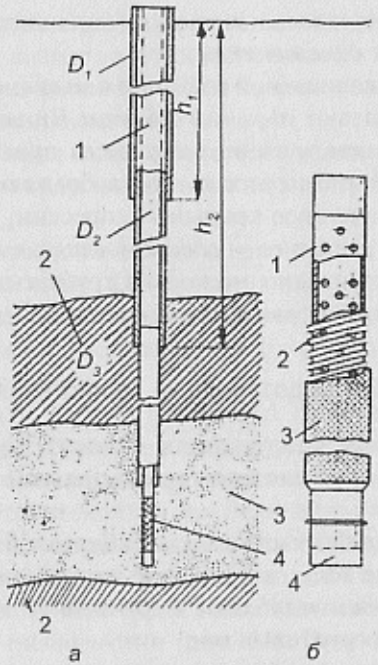



**Рис. 65.** Трубчатый колодец с сетчатым фильтром:
*а — трубчатый колодец: 1 — первая колонка обсадных труб; 2 — водоупорные пласты; 3 — водоносный горизонт; 4 — фильтр; б — сетчатый фильтр: 1 — дырчатая труба; 2 — проволочная спираль; 3 — сетка; 4 — отстойник (грязевик)*

носный слой вставляют фильтр. Фильтры представляют собой соответствующе подготовленную трубу (рис. 65, 66). В верхней части фильтра расположен замок, для того, чтобы, зацепив за него специальным устройством, вытащить фильтр. Нижняя часть фильтра — это отстойник длиной 2—10 м для накопления оседающих из воды частиц. При эксплуатации водозаборных сооружений фильтр периодически чистят или заменяют. Фильтры различают дырчатые, проволочные, сетчатые, щелевые и др.

Зазоры между трубами в смежных участках колонн на высоту 2—3 м заливают цементным раствором (тампонируют). Промежуток между наружной и предыдущей колоннами тампонируют полностью по всей высоте до поверхности земли. Свободные части



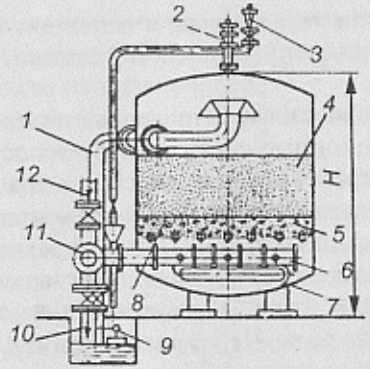



**Рис. 66.** Напорный вертикальный фильтр:
*1 — подача сырой воды; 2 — вакуум-клапан; 3 — вантуз; 4 — кварцевый песок; 5 — гравий; 6 — дренажные трубы для воды; 7 — дренажные трубы для воздуха; 8 — дно фильтра с дренажными колпачками; 9 — поплавковый клапан, регулирующий интенсивность промывки; 10 — сброс; 11 — отвод фильтрованной воды; 12 — промывная вода*

колонн выше тампонов срезают и вынимают. В грунте остается шахта колодца телескопической формы. Верхний конец ее окружают надстройкой в виде небольшого здания.

Воду из буровой скважины поднимают с помощью погружного центробежного насоса, или эрлифта. Насос в трубчатом колодце расположен выше электродвигателя. Его закрепляют на нижнем конце напорной трубы и болтами присоединяют электродвигатель.

Эрлифт состоит из воздушного компрессора, сборного резервуара для воды, соединительного шланга для подачи воздуха и двух труб — воздушной и водоподъемной, спущенных в скважину. Диаметр воздушной трубы — 15—75 мм, водоподъемной — 50—200 мм. Воздушную трубу шлангом подсоединяют к компрессору и располагают внутри водоподъемной трубы или рядом с ней. Часть воздушной трубы, находящаяся в воде, перфорирована или имеет сетчатую насадку — диффузор. В трубку компрессор нагнетает сжатый воздух. Диффузор создает водо-воздушную эмульсию, плотность которой значительно меньше плотности воды. Сжатый воздух вытесняет эмульсию по водоподъемной трубе вверх в резервуар. Эмульсия разрушается, воздух отделяется от воды, которая пода-

ется насосом далее по назначению. В основном эрлифты применяют для очистки занесенных песком скважин. КПД эрлифтов ниже КПД насосов.

Иногда для пополнения грунтовых вод поверхностными устраивают инфильтрационные скважины. В них осуществляют обратный процесс по сравнению с процессом в водозаборных скважинах. Горизонтальные водозаборные сооружения поверхностных вод для хозяйственно-питьевых нужд устраивают через водоприемник, который представляет собой горизонтальную самотечную трубу с перфорацией и сеткой. Его устанавливают в местах наименьшего загрязнения воды. Через водоприемник вода самотеком попадает в береговой колодец, откуда подается насосами первого подъема на станцию очистки.

Для защиты от внешних загрязнений около водоисточника и водозаборных сооружений создают трехпоясную санитарную зону. На территории первого пояса запрещается всякая хозяйственная деятельность, а также купание. В зоне второго пояса все виды строительства должны быть согласованы с органами СЭС. Запрещается сброс загрязняющих веществ в водоем и на поверхность почвы. В третьем поясе организуют наблюдение за инфекционными заболеваниями.

Границы санитарных зон устанавливают в зависимости от местных гидрологических и топографических условий.

## 5.8. Насосные станции

В водопроводных насосных станциях размещают насосы, контрольно-измерительные приборы, арматуру, одним словом, электрооборудование для управления работой насосной станции. По расположению в общей схеме водоснабжения различают насосные станции первого подъема, второго подъема, повысительные и циркуляционные.

*Насосные станции первого подъема* подают воду из водоисточника на очистные сооружения.

*Насосная станция второго подъема* подает воду из резервуара чистой воды в водонапорную башню или к потребителям.

*Повысительные насосные станции* повышают давление в водопроводной сети (при больших расстояниях давление в водопроводе падает).



*Циркуляционные насосные станции* в промышленных водопроводных сетях обеспечивают подачу отработавшей воды на охлаждение и охлажденной воды на предприятие.

На станциях устанавливают не менее двух рабочих насосов и один или более запасных.

При заборе глубинной воды функцию насосов первого подъема выполняют водоподъемные насосы в скважинах.

Для систем водоснабжения применяют глубинные насосы типа ЭЦВ с приводом от погруженного электродвигателя производительностью от 4—375 м$^3$/ч и напором от 25—270 мм вод. ст. Они предназначены для подачи воды из скважин с общей минерализацией воды (сухой остаток) не более 1500 мг/л, с водородным показателем (pH) от 6,5—9,5 с температурой до 25°С, с содержанием твердых механических примесей не более 0,01% по массе, хлоридов — не более 1,5 мг/л.

Глубинные насосы (электронасосы) данного типа работают в продолжительном режиме от сети переменного тока.

При монтаже и демонтаже электронасоса все применяемые подъемные приспособления должны иметь трехкратный запас прочности. Перед началом работы подъемные приспособления необходимо проверить.

Прежде чем приступить к монтажу, следует тщательно ознакомиться с паспортом скважины, сверить соответствующие технические характеристики электронасоса по напору и производительности с условиями его работы в данной скважине. Дебит скважины должен быть на 10—15% выше максимальной производительности электронасоса. Также необходимо получить данные о расположении фильтра скважины и об удельном дебите скважины. До начала монтажных работ измеряют расстояние до статического уровня (статический уровень — это расстояние от устья скважины до поверхности воды при невключенном электронасосе), проверяют шаблоном прямолинейность и проходимость скважины (шаблон — отрезок трубы, соответствующий максимальному диаметру и длине электронасоса).

Для определения расположения электронасоса в скважине учитывают следующее:

- верхний фланец электронасоса должен находиться ниже динамического уровня воды не менее чем на 1,5 м (дина-

мический уровень — расстояние от устья скважины до поверхности воды при работающем электронасосе);

- днище электродвигателя должно быть выше фильтра не менее чем на 1 м.

Перед монтажом электродвигатель насоса полностью заполняют водой по качеству не ниже питьевой, лучше дистиллированной водой. Электронасос в скважину опускается электродвигателем вниз и держится (висит) на колонне водоподъемных труб.

Подробнее технология монтажа дается в инструкции при паспорте устанавливаемого электронасоса.

## 5.9. Обработка воды

Так как поверхностные воды содержат определенное количество растворимых и нерастворимых примесей, микроорганизмов, в том числе и болезнетворных, а подземные источники — минеральные вещества (железо, йод, бром, стронций, соли кальция и магния и др.) и газ, то воду подвергают очистке и специальной обработке.

Метод очистки воды и состав очистных сооружений зависят от качества забираемой воды, назначения водопровода, производительности очистных сооружений и местных условий.

Основными методами очистки воды являются осветление отстаиванием и фильтрацией и обеззараживание (хлорированием, бактерицидным облучением и др.).

Воду очищают на очистных станциях. На них устанавливают отстойники, фильтры, фтораторы, хлораторы, оборудуют реагентное хозяйство. Очистные сооружения, как правило, располагают так, чтобы вода могла передаваться из одного сооружения в другие самотеком.

*Отстаивание* проводится путем осаждения имеющихся в воде взвешенных частиц. Для улучшения этого процесса в воду добавляют химические реагенты — коагулянты (сернокислый глинозем $Al_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$, трихлорид железа $FeCl_3$, высокомолекулярные флокулянты, например поликриламиды и др.). Приготовление коагулянта осуществляют в установках, называемых *реагентным хозяйством.*



Раствор коагулянта тщательно перемешивают с очищаемой водой в смесителях. Далее вода попадает в камеру хлопьеобразования, затем направляется в отстойник. В отстойнике выпадают хлопья взвешенных частиц, и вода осветляется. Смесители, камеры хлопьеобразования и отстойники представляют собой железобетонные резервуары.

При *фильтрации* очищенную воду пропускают через слой мелкозернистого фильтрующего материала (кварцевый песок, гравий, дробленый антрацит), где происходит осаждение механических примесей. Для бесперебойной и надежной фильтрации устанавливают два фильтра или более. Различают скорые и медленные фильтры. Скорыми фильтруют воду, обработанную коагулянтами и обезжелезиваемую. Скорые фильтры подразделяют на открытые (самотечные) и закрытые (напорные).

*Скорые открытые фильтры* представляют собой железобетонный резервуар с двойным днищем. Верхнее днище является дренажным устройством для спуска профильтрованной воды (фильтрата) и поддерживает фильтрующий слой. Фильтрат собирается между днищами, после чего по трубопроводу его отводят в резервуар чистой воды через обеззараживатель. Для фильтрующей загрузки самотечных фильтров применяют кварцевый песок крупностью 0,8—2,5 мм. Толщина слоя зависит от крупности песка и бывает 0,7—2 м. Скорость фильтрации — 6—10 м/ч.

*Применяют также открытые фильтры с двумя фильтрующими слоями.* Верхний слой из дробленого антрацита, нижний — из кварцевого песка. Производительность двухслойного фильтра почти в два раза выше однослойного. Вода из фильтра вытекает через дренажное устройство, которое может быть щелевым и колпачковым. Щелевое устройство — это система труб с щелями шириной не более 1—1,5 мм. Колпачковый дренаж — система фарфоровых или пластмассовых пустотелых колпачков со щелями, вмонтированных в дренажное дно фильтра. При чрезмерном засорении фильтра механическими примесями его промывают чистой водой в течение 4—5 мин.

*Скорые закрытые фильтры* включают стальной цилиндрический закрытый резервуар, колпачковое дренажное устройство и фильтрующую загрузку. Различают фильтры вертикальные и горизонтальные.

В напорный фильтр подают насосом фильтруемую воду, заполняя водой весь фильтр. Отфильтрованная вода вытекает под давлением, а промывная вода вместе с загрязнениями сливается в водосток. Фильтр периодически промывают чистой водой. При напорном фильтровании предварительного отстаивания воды не требуется.

Применяют также *сверхскоростные напорные фильтры*, работающие со скоростью фильтрации 100 м/ч.

С помощью *медленных фильтров* фильтруют воду, не обработанную коагулянтом. Их загружают песком и гравием — создают поддерживающий слой.

*Хлорирование* — самый распространенный метод обеззараживания воды. Процесс осуществляют в хлораторах хлорной известью или газообразным хлором. Хлорной известью обрабатывают воду в водопроводах небольшого дебита. Хлор с водой образует хлорноватистую кислоту, которая легко распадается на соляную кислоту и атомарный кислород. Последний является сильным окислителем и обладает бактерицидным действием. При хлорировании воды газообразным хлором процесс обеззараживания происходит аналогично.

При хлорировании хлор вводят два раза: перед отстаиванием и после фильтрования. Для этого расчетную норму хлора разделяют на две части. Хлор дозируют автоматические хлораторы. В хлораторную он поступает в сжиженном виде в баллонах. Так как хлор вызывает коррозию стали, то резервуары, в которых обрабатывают воду, изготовляют из древесины или железобетона. Трубы для подачи раствора хлорной извести применяют резиновые, эбонитовые, полиэтиленовые, полихлорвиниловые, стеклянные. От большой дозы хлора вода приобретает неприятный запах. Такую воду дехлорируют. Для нейтрализации воды в нее добавляют аммиак, гипосульфит натрия $N_2S_2O_3$ или сернистый газ.

Кроме того, для обеззараживания применяют гипохлорит натрия, получаемый из поваренной соли электролитическим способом.

Бактерицидное облучение воды осуществляют ртутно-кварцевыми лампами высокого давления или аргоно-ртутными лампами низкого давления, вмонтированными в бактерицидные установки марок ОВ-1П; ОВ-50 (ОВ-1П-РРС); ОВ-150 и др. Лампы испускают ультрафиолетовые лучи, обладающие бактерицидными свойствами. Такие лампы называют бактерицидными и располагают их над поверхностью воды или погружают в нее. Этот способ обеззараживания более перспективен, так как в воду не добавляются посторонние агенты.



*Озонированием* обрабатывают воду, мутность которой не превышает 15 мг/л. Озон попутно уменьшает цветность, посторонние привкус и запах воды. В зависимости от состава примесей применяют один или несколько видов специальной обработки воды: умягчение, обезжелезивание, стабилизацию, фторирование, обесфторирование, минерализацию, обессоливание, дегазацию.

*Умягчение* воды осуществляется реагентным (наиболее распространенным известково-содовым) и катионитовым способами умягчения в том случае, если жесткость воды превышает 7 мг экв/л.

Для умягчения *известково-содовым способом* в воду одновременно добавляют реагенты в виде раствора извести $Ca(OH)_2$ и соды $N_2CO_3$. Известь добавляют для устранения карбонатной (временной) жесткости, а соду — для устранения некарбонатной (постоянной) жесткости. Реагенты вступают в реакцию с жесткими солями воды (соли *Ca* и *Mg*), образуют малорастворимые в соде соединения $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$, выпадающие в осадок; для ускорения процесса выпадения осадка добавляют коагулянт — железный купорос.

*Катионитовый способ* умягчения воды заключается в способности катионов обменивать ионы. Катионит связывает жесткостные ионы воды (*Ca*, *Mg*), а взамен выделяет в воду натриевые или водородные ионы. Поэтому различают два типа катионов — *Na*-катиониты и *H*-катиониты.

Установка для катионитного умягчения представляет собой закрытый фильтр. Вместо кварцевого песка фильтр загружен катионитовым песком, сульфоуглем, искусственными катионитами. Такие фильтры называют катионитовыми.

Катионитовые фильтры периодически промывают, пропуская воду в обратном направлении. После промывки катионит регенерирует: через катионитовый фильтр, загруженный *Na*-катионитом, пропускают раствор поваренной соли. *H*-катионит таким же способом обрабатывают раствором серной кислоты.

*Обезжелезивание* воды проводят аэрацией, коагулированием, известкованием, катионированием (катионит — сульфоуголь).

Наиболее удобный и экономичный способ обезжелезивания — аэрация. Для обработки этим способом воду пропускают через аэрационное устройство, контактный резервуар и скорый закрытый фильтр. В аэрационном устройстве вода насыщается кислородом. Двухвалентное железо окисляется до трехвалентного, которое образует не растворимый в воде бурого цвета гидроксид железа $Fe(OH)_3$. Процесс его образования происходит в контактном резервуаре. Осаждение гидроксида железа из воды осуществляется в фильтрах.

Аэрацию воды проводят разными способами. Наиболее распространенные — нагнетание воздуха в воду через дырчатые трубы, пропуск воды через контактные или вентиляторные градирни, подача воздуха во всасывающий патрубок насоса и др.

Стабилизацией воды называют такую ее обработку, при которой вода теряет способность откладывать соли и тем самым вызывать коррозию. Стабилизация важна при оборотном водоснабжении, в теплообменных аппаратах, охладительных установках и в системах горячего водоснабжения.

Воду стабилизируют подкислением соляной или серной кислотами, рекарбонизацией углекислым газом, фосфатированием тринатрийфосфатом, суперфосфатом.

Фторирование воды необходимо для доведения содержания фтора до оптимального содержания 0,5–1,5 мг на 1 л питьевой воды. Отсутствие в организме человека фтора способствует возникновению кариеса зубов и некоторых других заболеваний. Воду фторируют кремнефторидом или фторидом натрия, кремнефторидом аммония на установках фторирования. Однако концентрация фтора в воде выше нормы вредна и недопустима, поэтому в некоторых случаях подземные воды приходится обесфторировать на фильтрах, загруженных активированным оксидом алюминия.

Для обработки воды в небольших количествах применяют комплексные установки, которые успешно используют повсеместно.

Для приема и хранения воды, поступающей от насосных станций первого подъема, станций очистки для приема воды в оборотном водоснабжении; ее хранения регулирующего объема воды; ее противопожарных и аварийных запасов сооружают запасные резервуары. Их выполняют из железобетона. Они могут быть монолитными и сборными. Для водонепроницаемости внутренние поверхности стенок и днище резервуара покрывают водонепроницаемым слоем (торкретируют). При объеме до 2000 м$^3$ резервуары обычно сооружают круглой формы в плане, при большем объеме — прямоугольной формы.



Резервуары закрывают слоем земли для уменьшения влияния на воду температуры воздуха. Вместимость резервуаров определяют расчетами.

## 5.10. Схемы и устройство водопроводных сетей

Для транспортирования воды от источников к объекту водоснабжения служат водоводы. Они представляют собой два или более трубопровода, расположенных параллельно друг другу. Для подачи воды непосредственно к местам потребления (промышленным предприятиям, жилым зданиям и т. п.) оборудуют наружную водопроводную сеть (рис. 67). Поступление воды к точкам водоразбора внутри здания осуществляется по внутреннему водопроводу. По конфигурации в плане наружной водопроводной сети подразделяют на кольцевые (замкнутые) и тупиковые (разветвленные).

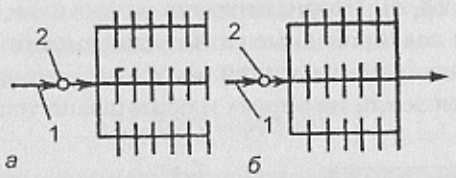



**Рис. 67.** Схемы наружных водопроводных сетей:
*а — тупиковая; б — кольцевая; 1 — поступление воды из водозаборных сооружений; 2 — водонапорная башня*

*Кольцевые сети* обеспечивают бесперебойную подачу воды, но для них требуется большое количество труб, арматуры и фасонных частей, чем для тупиковых.

*Тупиковые сети* применяют для водоснабжения небольших объектов, а также во время перерывов в водоснабжении и случаях возникновения аварий.

В наружной водопроводной сети различают магистральные (главные) и распределительные (второстепенные) линии. Отдель-

ный водопровод устраивают для технической воды, ибо соединение питьевого и технического водопроводов не допускается.

Водопроводная вода из наружной сети под давлением поступает во внутреннюю сеть через уложенный в земле водопроводный ввод. Он представляет собой трубопроводное ответвление от наружного водопровода до водомерного узла или запорной арматуры внутри здания.

По положению разводящей линии относительно водоразборных точек различают системы с верхней и нижней разводкой. По расположению трубопровода различают кольцевую и тупиковую систему внутреннего водоснабжения. В системах с верхней разводкой разводящая магистраль находится выше точек водоразбора, в системах с нижней разводкой — ниже (рис. 68, *а*). Если давление в наружном водопроводе небольшое, то во внутреннем водопроводе устанавливают насосы подкачки и напорный бак.

Кольцевые внутренние водопроводные сети устраивают в тех случаях, когда необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды (на технологические цели, для противопожарных водоразборных точек и др.). Если кольцевая сеть имеет 10 или более водоразборных точек, то ее к наружной сети подключают не менее чем двумя вводами (рис. 68, *б*). Применение тупиковых схем ограничено.

Наружные водопроводные сети прокладывают в грунте. В некоторых случаях (районы вечной мерзлоты) водопровод проводят по поверхности земли на опорах и обязательно теплоизолируют.

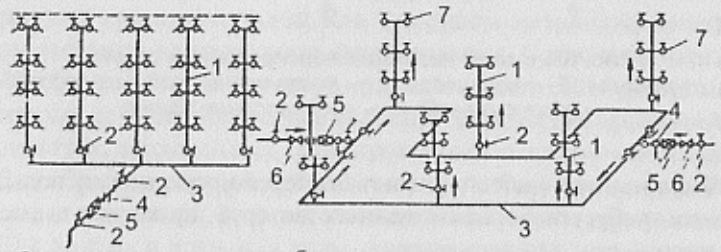



**Рис. 68.** Схемы внутренних водопроводных сетей:
*а — схема тупиковой сети с нижней разводкой; б — схема кольцевой сети; 1 — стояк; 2 — запорный вентиль; 3 — разводящая (магистральная) линия; 4 — тройник с пробкой для спуска воды из системы; 5 — водомер; 6 — обратный клапан; 7 — подводка*



При прокладке водопровода в грунте глубина заложения труб зависит от глубины промерзания грунта, температуры воды в трубах и режима ее подачи. Для магистральных трубопроводов со строго определенным режимом работы глубину заложения рассчитывают. Во всех случаях глубина заложения трубы должна быть больше расчетной глубины промерзания грунта на 0,5 м от низа трубы, принимая во внимание возможные внешние нагрузки на поверхности земли.

Водопроводные линии прокладывают соответственно рельефу местности с постоянной глубиной заложения, а также с уклоном на ровных местах. Уклон обеспечивает возможность опорожнения системы и выход воздуха в высших точках водопровода (через вантузы).

На водопроводной сети в местах установки арматуры и фасонных частей с фланцевыми соединениями образуют водопроводные колодцы из кирпича или сборного железобетона. Их размеры определяются габаритами арматуры и глубиной водопровода. Колодцы бывают круглой и прямоугольной формы. На поверхности земли колодец заканчивается чугунным люком с крышкой.

Внутренний водопровод прокладывают открытым способом по поверхностям строительных конструкций. Это упрощает монтаж и эксплуатацию трубопроводов.

## 5.11. Трубопроводы

Для устройства наружного водопровода применяют чугунные, стальные, асбестоцементные, пластмассовые, железобетонные и другие трубы.

*Чугунные трубы* и фасонные части к ним покрывают антикоррозийным битумным слоем. Наименьший диаметр труб — 65 мм. При соединении труб стыки заделывают битуминизированной льняной прядью и чеканят асбестоцементной смесью, кроме того, применяют резиновые кольца. Чугунные трубы долговечны, но требуют сравнительно большого расхода металла.

*Стальные трубы* (сварные или катаные) диаметром до 1400 мм соединяют сваркой. С целью предохранения от коррозии поверхность стальных труб покрывают битумной или битумно-резиновой изоляцией, применяют катодную защиту. Для катодной защиты тру-

бопровод подключают к отрицательному полюсу источника постоянного тока (катоду). Вблизи трубопровода в землю зарывают стальной предмет (например, старые рельсы), либо углеграфитовые электроды, которые подключают к положительному полюсу (аноду). Электролитом является грунт. При протекании тока анод разрушается, а поверхность трубопровода в местах, имеющих трещины в антикоррозийном слое, наращивается. Протекающий ток подавляет также местные локальные электротоки. Катодную защиту применяют обычно как дополнение к защите слоем антикоррозийного материала. Катодная защита непокрытого трубопровода не применяется из-за высокой себестоимости.

*Асбестоцементные трубы* изготовляют диаметром до 500 мм. Они прочны, стойки по отношению к коррозии, имеют малую теплопроводность, гладкие стенки и небольшую массу по сравнению с чугунными и железобетонными трубами. Недостаток этих труб — малая сопротивляемость ударам и динамическим нагрузкам. Соединяют их асбестоцементными или металлическими муфтами с резиновыми кольцами.

Из *пластмассовых труб* наибольшее применение получили винипластовые и полиэтиленовые (диаметром до 300 мм). Они устойчивы против коррозии, легкие, достаточной механической прочности, долговечны, обладают малым гидравлическим сопротивлением. Недостаток — большой коэффициент линейного расширения. Соединяют сваркой, горячим воздухом, склейкой или резьбовыми муфтами с конусообразными прокладками.

Винипластовые трубы с клеймом «Техническая» для устройства хозяйственно-питьевых водопроводов не применяются.

*Железобетонные* трубы изготовляют с предварительно напряженной арматурой. Диаметр труб — от 500 до 1600 мм. Соединяют их раструбами с прокладками в виде резиновых колец.

Для внутреннего водопровода используют только *стальные оцинкованные трубы*. Их соединяют резьбовыми муфтами. Соединение сваркой не допускается, так как в свариваемом месте выгорает цинк и начинается коррозия трубопровода.

Кроме того, используют *полиэтиленовые трубы*.

Для противопожарных и циркуляционных производственных водопроводов оборотного водоснабжения допускается применение *черных стальных труб*.



## 5.12. Арматура

Арматура является составной частью водопроводной сети. По назначению ее подразделяют на запорно-регулирующую (задвижки, вентили, редукционные и обратные клапаны), водоразборную (водоразборные колонки, краны, пожарные гидранты, выпуски) и предохранительную (предохранительные клапаны, воздушные вантузы).

Задвижками регулируют распределение расхода воды в сети, отключают участки сети для осмотра и ремонта (рис. 69).

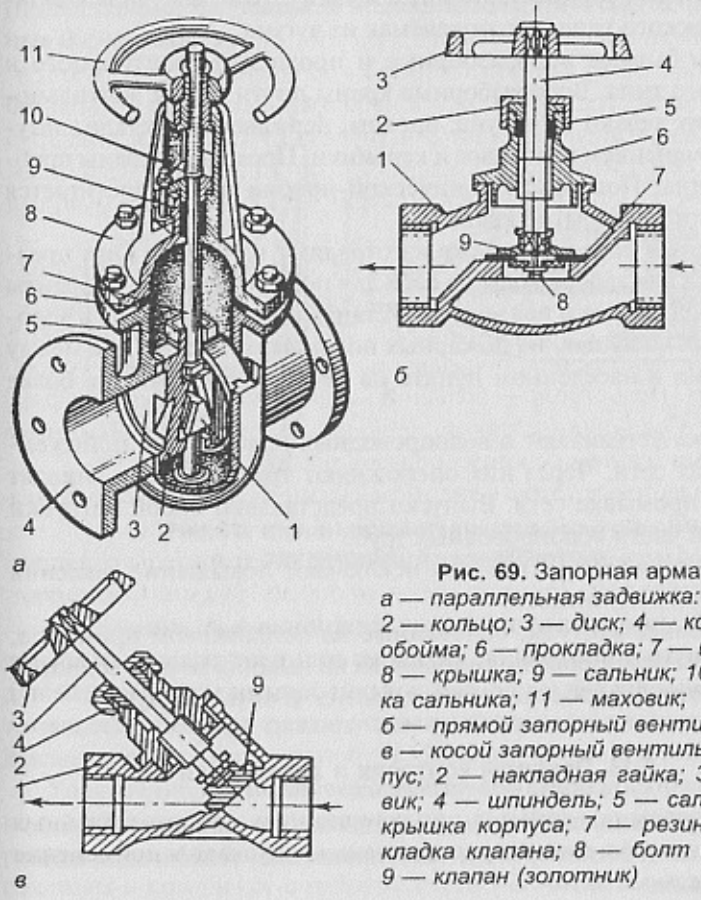



**Рис. 69.** Запорная арматура:
*а — параллельная задвижка: 1 — клин; 2 — кольцо; 3 — диск; 4 — корпус; 5 — обойма; 6 — прокладка; 7 — шпиндель; 8 — крышка; 9 — сальник; 10 — втулка сальника; 11 — маховик;*
*б — прямой запорный вентиль,*
*в — косой запорный вентиль: 1 — корпус; 2 — накладная гайка; 3 — маховик; 4 — шпиндель; 5 — сальник; 6 — крышка корпуса; 7 — резиновая прокладка клапана; 8 — болт с шайбой; 9 — клапан (золотник)*

*Вентили*, перемещаясь возвратно-поступательно, частично или полностью открывают или закрывают проход для воды. Их изготовляют с разной формой корпуса из стали, чугуна, бронзы и др. Основной деталью вентиля является клапан.

*Редукционные клапаны* служат для понижения давления на отдельных участках сети.

*Обратные клапаны* допускают движение воды только в одном направлении.

*Водоразборные колонки* устанавливают на наружном водопроводе в тех районах, где в зданиях нет внутреннего водопровода. Самое большое распространение в нашей стране получила колонка московского типа, изготовляемая из чугуна.

*Краны* бывают водоразборные и проходные, вентильного и пробкового типа. Водоразборные краны почти всегда вентильного типа, их делают из чугуна, бронзы, нержавеющей стали, латуни, с применением пластмасс и керамики. Проходные краны пробкового типа. Поворотом конической пробки на 90° достигается открытие или закрытие крана.

*Пожарные гидранты* также изготовляют из чугуна. Они предназначены для забора воды из сети для пожаротушения. Гидранты бывают подземные и надземные. Устанавливают гидранты в водопроводных колодцах, на пожарных подставках. Расстояние между гидрантами в населенном пункте на сети должно быть не более 100 м.

*Выпуски* устраивают в водопроводных колодцах на пониженных местах сети. Через них опорожняют трубопровод и отводят воду при промывке сети. Выпуски представляют собой патрубки от нижней части водопроводных труб.

*Предохранительные клапаны* исключают повышение давления в сети сверх допустимого.

Воздушные вантузы, основанные на поплавковом принципе, оборудуют в водопроводных колодцах на высших точках водопроводной сети. Ими обеспечивается выпуск и впуск воздуха.

## 5.13. Приборы контроля и автоматики

Для управления системами водоснабжения используют приборы контроля (телеизмерение, телеуправление, телесигнализация) и автоматики.



Например, с помощью приборов телеуправления пускают и выключают насосы, открывают и закрывают задвижки. Приборы телесигнализации контролируют давление, уровень воды в резервуарах, засорение фильтров, физические и химические характеристики воды.

Для визуального наблюдения за работой системы водоснабжения применяют манометры, термометры, автоматические анализаторы свободного хлора.

Расход воды учитывают расходомерами: турбинными счетчиками, дифманометрами (рис. 70). Последние делят на жидкостные (поплавковые, кольцевые и колокольные), пружинные (мембранные и сифонные).

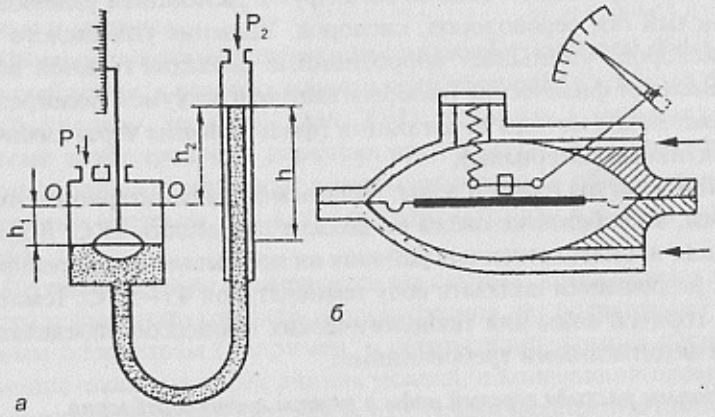



**Рис. 70.** Схема устройства дифманометров:
*а — поплавкового; б — мембранного*

С помощью *дифманометров* измеряют расход жидкостей и газов по методу переменного перепада давления. Их используют и для измерения давления, так как они могут фиксировать избыточное давление как разницу между абсолютным и атмосферным давлением.

Управление системой водоснабжения автоматизируют. Изменения параметров контролируют при помощи датчиков или релерегуляторов. Автоматизированное управление водоснабжением сочетают в комплексе с работой счетно-вычислительных машин.

Иногда автоматизируют отдельные участки водоснабжения, например, промывку фильтров, дозировку хлора, уровень воды в водонапорной башне и т. д.

## 5.14. Системы горячего водоснабжения

Качество горячей воды, участвующей в технологических процессах, связанных с приготовлением пищевых продуктов, а также для удовлетворения санитарных, бытовых нужд, должно соответствовать требованиям стандарта питьевой воды ГОСТ 2874-82. Воду перед нагреванием при необходимости подвергают специальной обработке. Например, при значительной концентрации газов в водопроводной воде ее дегазируют. Дегазацией удаляют углекислый газ, сероводород, кислород. Удаление углекислого газа и кислорода уменьшает коррозионные свойства горячей воды. Применяют физические (разбрызгивание в вакууме с подогревом) и химические методы ее дегазации (фильтрование через химически активные материалы).

Температура горячей воды, подаваемой на санитарно-бытовые нужды, во избежание ожога не должна превышать 75°С. В душевые для производственных рабочих на промышленных предприятиях разрешается подавать воду температурой 45—50°С. Температура горячей воды для технологических процессов определяется производственными требованиями.

***Нормы расхода горячей воды и режим водопотребления.***

Для производственных целей нормы расхода горячей воды устанавливают в литрах на единицу продукции или на единицу обрабатываемого сырья, для хозяйственно-бытовых нужд — в литрах в час на одно место потребления (например, на одну душевую сетку) или на обрабатываемый объект (на мойку автомашины).

Нормы применительно к различным видам производства указаны в нормативной технологической литературе.

Нормы горячей воды (65—70°С) для хозяйственно-бытовых нужд одинаковы во всех отраслях промышленности. По СНиП 2.04.01-85 на одну душевую сетку норма расхода горячей воды составляет 270 л на человека, на мойку столовой посуды — 250—300 л/ч.



Расход горячей воды по часам равномернее, чем расход холодной воды. В максимальных количествах горячую воду расходуют на стыках рабочих смен.

В это время рабочие пользуются душевыми, а также проводят мокрую уборку цехов. Для определения часового потребления горячей воды составляют график. Расход горячей воды включают в общий график водопотребления предприятия.

*Схемы систем горячего водоснабжения.* Система горячего водоснабжения — это комплекс сооружений, предназначенных для приготовления горячей воды, подачи ее с требуемым давлением и температурой к точкам потребления.

Системы горячего водоснабжения по способу обеспечения горячей водой точек потребления делят на две группы: централизованные и местные.

*Централизованными системами* называют системы горячего водоснабжения, в которых горячая вода поступает из одного центра (бойлерная, тепловой узел, ТЭЦ, районная котельная). По системе трубопроводов горячую воду подают в помещения к водоразборным точкам или к технологическому оборудованию. В местных системах готовят и потребляют воду в том же помещении.

*Местные системы* применяют в тех случаях, когда горячая вода централизованного горячего водоснабжения не соответствует требуемым параметрам (например, в автоматизированных пастеризационно-охладительных линиях молока, в консервной промышленности для детского питания и др.). Преимущественно предприятия оборудуют централизованными системами, установленными на самом предприятии, либо в квартире и т. д., которые бывают следующих видов: с непосредственной подачей воды из наружной тепловой сети; с подачей воды из тепловых узлов, присоединенных к наружным сетям с паром или перегретой водой; с подачей воды из водонагревателя.

Принципиальные схемы централизованного горячего водоснабжения показаны на рис. 71. Сети тупиковой системы можно подключать к тепловой через водонагреватель или непосредственно. Работа системы, построенной по такой схеме, состоит в следующем. Из водопровода поступающая вода под давлением проходит через водонагреватель, где она нагревается, и по разводя-

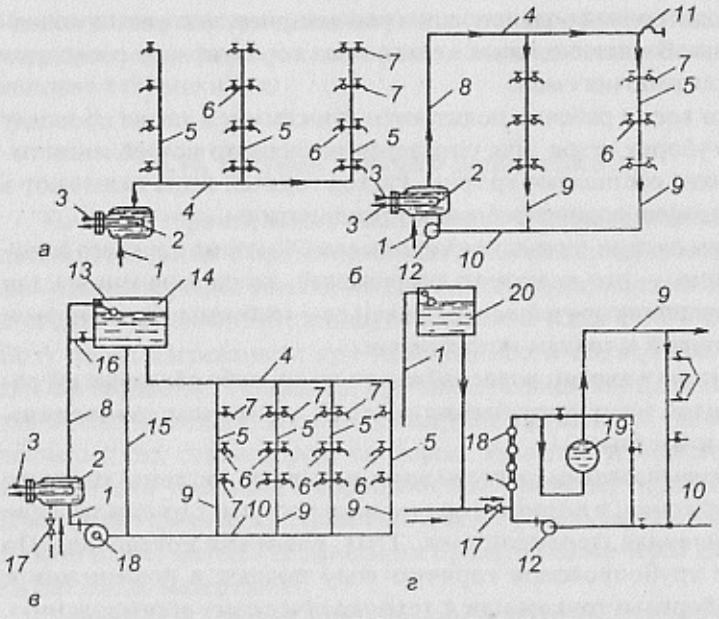



**Рис. 71.** Схемы систем горячего водоснабжения:
*а — цинковая (простейшая) схема с нижней разводкой; б — схема системы с циркуляционной линией (при естественной циркуляции); в — схема системы с баком-аккумулятором и циркуляционной линией (с механическим побуждением циркуляции); г — схема системы с нижним баком-аккумулятором горячей воды; 1 — водопровод; 2 — подогреватель; 3 — вход и выход теплоносителя; 4 — разводящая линия; 5 — стояк; 6 — подводки; 7 — водоразборные точки; 8 — главный стояк; 9 — циркуляционные стояки; 10 — сборная циркуляционная линия; 11 — воздушник; 12 — насос; 13 — поплавковый клапан; 14 — бак-аккумулятор; 15 — циркуляционная линия между баком-аккумулятором и водонагревателем; 16 — циркуляционная вставка с обратным клапаном (открывается для обеспечения циркуляции); 17 — обратный клапан; 18 — циркуляционный насос; 19 — емкость герметическая; 20 — бак с холодной водой*

щей линии через стояки и подводки поступает на водоразборные точки (умывальники, раковины, ванны, души, технологическое оборудование и др.). Но рассмотренная тупиковая схема имеет два существенных недостатка: вода при отсутствии водоразбора остывает и при открытом кране некоторое время течет остывшая вода;



при падении давления в водопроводе горячая вода не поступает на водоразборные точки.

Система с циркуляционной линией (при естественной циркуляции) ранее упомянутого первого недостатка не имеет. В ней от последней точки водоразбора каждого стояка отведены циркуляционные стояки. Они входят в сборную циркуляционную линию, которая присоединена к нижней части водонагревателя. В сборную циркуляционную линию перед водонагревателем ставят циркуляционный насос. Однако второй недостаток, присущий тупиковой системе, имеет место и здесь. В системах горячего водоснабжения (см. рис. 71) применяют баки-аккумуляторы, которые обеспечивают нормальную подачу горячей воды даже при резких колебаниях давления в водопроводе. Бак-аккумулятор располагают выше водоразборных точек. Горячая вода из водонагревателя через поплавковый клапан поступает в бак-аккумулятор, а из него по трубопроводам на водоразборные точки. Давление в трубопроводе определяет высота расположения бака-аккумулятора. Между сборной циркуляционной линией и баком-аккумулятором вмонтирована вставка с обратным клапаном. Она обеспечивает естественную циркуляцию воды.

Бак-аккумулятор горячей воды оборудуют в специальном помещении на верхнем этаже или на покрытии. Изготовляют баки-аккумуляторы из листовой стали, для предотвращения коррозии снаружи и внутри его покрывают олифой и окрашивают железным суриком два раза, после чего теплоизолируют. По форме бак-аккумулятор может быть круглым или прямоугольным. Верхний уровень воды в нем определяют поплавковый клапан, присоединенная к баку переливная труба или автоматическое устройство.

Иногда баки-аккумуляторы используют для обогрева воды. Подогрев производится змеевиком или перфорированной трубой, установленными в нижней части бака, через которые пропускают теплоноситель.

Для накопления горячей воды применяют также герметические резервуары, в которых постоянно содержится запас воды под водопроводным давлением. Горячая вода из резервуара при большом водоразборе, а также при падении давления в водопроводе может полностью расходоваться.

В системах горячего водоснабжения все невертикальные трубы прокладывают с уклоном не менее 0,002. Этим обеспечивается удаление воздуха из системы (автоматически или через краны).

Водоразборные точки, работая одновременно, могут оказывать влияние друг на друга. Такое влияние особенно заметно при работе душей. Если душей три или более, то водоразборные точки кольцуют трубами одного увеличенного диаметра раздельно для горячей и холодной воды.

*Водонагревательные приборы.* Для подогрева воды в системах горячего водоснабжения применяют экономайзеры, различного рода водонагреватели, котлы-утилизаторы, использующие теплоту уходящих газов, в жилом фонде — скоростные противоточные водонагреватели, котлы с водоподогревателями, газовые водоподогревательные колонки и т. д. На предприятиях пищевой промышленности чаще всего устанавливают емкостные, скоростные противоточные и контактные (бесшумные, кольцевые и др.) водонагреватели. Теплоносителем для водонагревателей служит пар или перегретая вода, поступающая от котельной предприятия или централизованного теплоснабжения.

*Емкостные водонагреватели* (бойлеры) являются наиболее распространенными. Они представляют собой стальной цилиндр со сферическими днищами (рис. 72, *а*). В него вставлена гребенка, состоящая из верхней или нижней коллекторных труб, в которые вварены V-образные параллельные между собой трубы. Теплоноситель подают через входной патрубок в верхний коллектор, отводят через нижний патрубок. Входной и выходной патрубки гребенки выводят наружу через большой фланец бойлера. Холодная вода под водопроводным давлением поступает в бойлер через патрубок, вваренный в нижнюю часть корпуса бойлера, и выходит через верхний выходной патрубок. Для исключения повышения давления по сравнению с расчетным на водонагревателях устанавливают грузовые предохранительные клапаны. Гребенку в бойлерах часто заменяют змеевиком. Он представляет собой вертикально установленную спираль из трубы. Оба конца трубы-змеевика, верхний и нижний, выведены наружу через большой фланец бойлера. В верхний патрубок теплоноситель подают, а из нижнего отводят. Большой фланец присоединяют к бойлеру болтами через герметизирующую прокладку из паронита, клингерита и т. п.



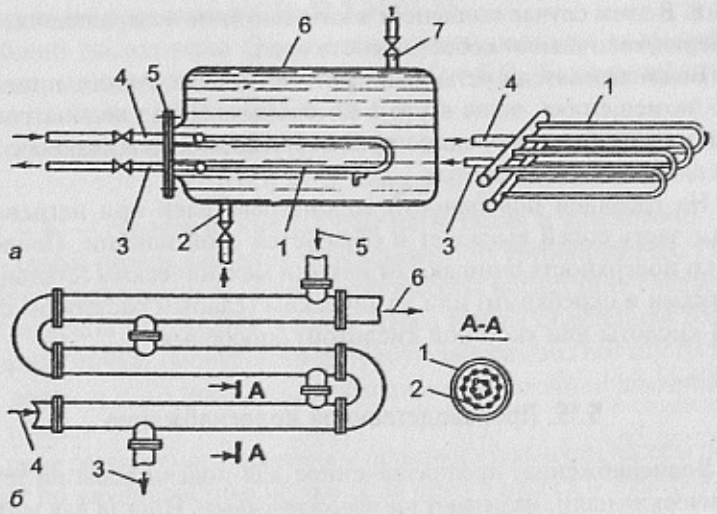



**Рис. 72.** Схемы водонагревателей:
*а — емкостного водонагревателя (бойлера): 1 — гребенка; 2 — входной патрубок для холодной воды; 3 — выходной патрубок для теплоносителя; 4 — входной патрубок для теплоносителя; 5 — большой фланец; 6 — цилиндрический резервуар; 7 — выходной патрубок для горячей воды;*
*б — скоростного противоточного водонагревателя: 1 — кожух секции; 2 — трубки нагревателя; 3 — выход теплоносителя; 4 — вход холодной воды; 5 — вход теплоносителя; 6 — выход нагретой воды*

В *скоростных противоточных водонагревателях* теплоноситель и подогреваемая вода движутся противоточно со значительной скоростью. Такие водонагреватели состоят из нескольких одинаковых секций (рис. 72, *б*). Каждая секция имеет кожух (стальную трубу диаметром от 50 до 325 мм в зависимости от производительности водонагревателя) и вставленные в него на трубных решетках латунные трубки диаметром до 16 мм.

Теплоноситель подводят в верхнюю секцию, подогреваемую воду — в нижнюю. Со скоростью 0,5—2 м/с вода по трубкам проходит через все секции.

*Скоростные контактные водонагреватели* характерны тем, что подогрев воды осуществляется непосредственным смешиванием теплоносителя (пара) с водой барботированием или другими спосо-

бами. В этом случае конденсат в котельную не возвращается, а его потери увеличивают себестоимость пара.

Водонагреватели устанавливают на нижних этажах, в подсобных помещениях, чаще всего в котельных. Перед водонагревателем должно быть свободное пространство, обеспечивающее подход для ремонта и осмотра.

На греющей поверхности водонагревателей при нагревании воды часть солей выпадает и образуется слой накипи. Периодически поверхность очищают от накипи механическим (стальными щетками и скребками) или химическим (слабым раствором соляной кислоты или уксусной кислотой) способами.

## 5.15. Производственное водоснабжение

Водоснабжение, предназначенное для подачи воды на технологические цели, называют *производственным*. Иногда для устройства производственного водоснабжения сооружают несколько водопроводов, подающих воду различного качества (например, умягченную, подаваемую под высоким давлением для гидравлического оборудования и т. п.). Кроме того, оно может представлять собой один общий производственный водопровод.

Необходимыми устройствами для водоснабжения являются насосы, водонапорные баки и трубопроводы. Их подбирают исходя из расчетов.

Промышленность выпускает санитарно-технические изделия со стандартными характеристиками серийным способом. Расчетные характеристики чаще всего не совпадают со стандартными. В этих случаях подбирают оборудование, данные которого близки к расчетным, но имеют большие значения.

Например, для подбора насоса необходимо знать его характеристики, т. е. производительность и развиваемое давление.

Производительность насоса $G$ (в л/с) должна соответствовать расчетному расходу воды в водопроводе. Расчетный расход воды в однотипных точках водоразбора $Q_m$ (в л/с) определяют по формуле

$$Q_m = q_n n m / 100 ,$$

где $q_n$ — расчетный расход воды водоразборной точки, л/с; $n$ — количество однотипных водоразборных точек; $m$ — одновременное действие водоразборных точек, %.



Значения $n$, $m$ даны в СНиП 2.04.01-85.

Общий расход воды $Q$ является суммой расходов воды через однотипные водоразборные точки, т. е. $Q = \Sigma Q_n$. Если производительность насоса обозначить $G$, то $G = Q$.

Полное давление насоса $p$ (в *кПа*) определяют по формуле

$$p = 9{,}81(h_н - h_в) + \Sigma P_п,$$

где $h_н$ и $h_в$ — геодезические высоты нагнетания и всасывания, м; $\Sigma P_п$ — сумма потерь давления во всасывающих трубопроводах, кПа.

При определении геодезической высоты нагнетания следует к геодезической высоте диктующей точки (самая отдаленная водоразборная точка, оборудование, требующее самого большого напора воды, и т. д.) добавить необходимое остаточное давление в этой точке.

Кроме развиваемого давления и производительности насосы подбирают по характеристике исполнения самого насоса и электродвигателя. Исполнение должно соответствовать условиям работы.

Мощность электродвигателя $N$ (кВт) определяют по формуле

$$N = Gp /(1000\eta_п\eta_н) ,$$

где $G$ — производительность насоса, л/с; $\eta_п$ — КПД передачи; $\eta_н$ — КПД насоса.

Кроме насоса и электродвигателя рассчитывают диаметр трубопроводов, объем водонапорного бака и противопожарных резервуаров.

Для определения диаметров труб $d$ (в мм) необходимо знать расчетный расход воды и скорость движения воды в трубе. Диаметр трубы определяют по формуле

$$d = 1130\sqrt{G/V} ,$$

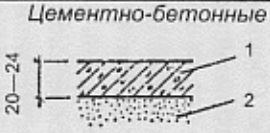
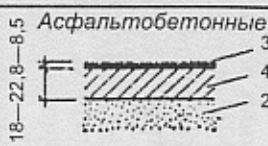
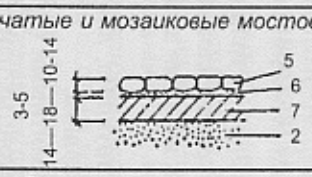
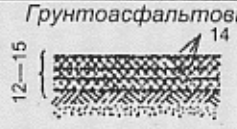
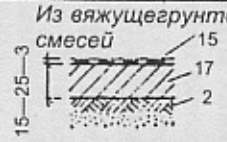
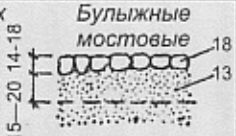
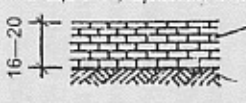
где $G$ — расчетный расход воды, м³/с; $V$ — скорость потока воды, м/с.

Давление в сети водоснабжения в течение суток колеблется. Оно может не обеспечивать постоянную подачу воды в точки потребления под требуемым давлением. В таких случаях устанавливают водонапорные башни. Общий объем бака (башни) равен сумме регулируемого и запасного объемов.

Бак (башня) может наполняться в часы максимального давления в водопроводе или при помощи подкачивающих насосов. Пос-

Таблица 14

**Конструктивные схемы дорожных одежд**

| Типы покрытий | | Конструкции дорожных одежд и ориентировочная толщина отдельных их слоев, см | | |
|---|---|---|---|---|
| Усовершенствованные | Капитальные | *Цементно-бетонные*   | *Асфальтобетонные*   | *Брусчатые и мозаиковые мостовые*   |
| | Облегченные | *Из битумоминеральных смесей*   | *Черные щебеночные*   | *Брусчатые мостовые*   |
| Переходные | | *Грунтоасфальтовые*   *Щебеночно-гравийные*   | *Из вяжущегрунтовых смесей*   *Булыжные мостовые*   | |
| Простейшие | | *Грунтовые, улучшенные минеральными материалами*   | *Из щебня, гравия и шлака*   | |

Примечание. *1* — покрытие из монолитного бетона или железобетонных плит; *2* — песчаный подстилающий слой; *3* — асфальтобетонное покрытие; *4* — бетон или укрепленные вяжущими материалами щебень или гравий; *5* — брусчатка или мозаика; *6* — песчаная прослойка, *7* — укрепленные вяжущими материалами щебень или гравий; *8* — битумоминеральная смесь или холодный асфальт; *9* — щебень, шлак или вяжущегрунтовые смеси; *10* — обработанные вяжущими материалами щебень или гравий; *11* — щебень, гравий, шлак, грунтощебень или грунт, укрепленные вяжущими материалами; *12* — брусчатка мостовая; *13* — песок; *14* — грунтоасфальт; *15* — защитный слой из битумоминерального материала; *16* — щебень, гравий, шлак, грунт или грунтощебень, укрепленные вяжущими материалами; *17* — грунт, обработанный вяжущими материалами; *18* — булыжный камень; *19* — грунт с минеральными добавками

ледние можно включать вручную или автоматически (от реле уровня воды в баке или реле давления в системе). Необходимо рассмотреть все три варианта наполнения бака.

Регулируемый объем бака для безнасосной системы $V_р$ (в м³) определяют по формуле

$$V_р = Qt,$$

где $Q$ — среднечасовой расход воды за время питания сети внутреннего водопровода из бака, м³/ч; $t$ — время, в течение которого при недостаточности напора наружной сети вода поступает в сеть внутреннего водопровода из бака, ч.

В системах с водонапорным баком и насосами при ручном пуске насосов регулируемый объем рассчитывают по формуле

$$V_р = Q_{сут}/n_{сут}.$$

При автоматическом пуске насосов

$$V_р = G/4n_ч,$$

где $Q_{сут}$ — максимальный суточный расход воды, м³/ч; $G$ — производительность насоса, м³/ч; $n_{сут}$ и $n_ч$ — число включений насосов соответственно в сутки и в час; 4 — коэффициент частоты автоматического включения насоса.

Запасной объем бака $V_з$ определяют противопожарные и технологические требования.

Запасной противопожарный объем воды $V_{з.п}$ обеспечивают исходя из условий максимального водопотребления при ручном пуске насосов, из расчета 10-минутной продолжительности тушения пожара:

$$V_{зп} = 0{,}6q_р.$$

При автоматическом пуске насосов условно принимают время тушения пожара 5 мин (в зданиях до 16 этажей):

$$V_{зп} = 0{,}3q_р,$$

где $q_р$ — расчетный расход воды на пожаротушение (по нормам), м³/ч.

Тогда $V_з = V_{зп} + V_{зт}$ — запасной объем воды, $V_{зт}$ идет на технологические цели.

Общий объем водонапорного бака

$$V = V_р + V_з.$$



Водонапорные баки (башни) имеют круглую или прямоугольную форму. Их изготовляют из металла или железобетона. Металлические баки красят масляной краской. Состав краски согласовывается с органами санитарного надзора. Баки закрывают крышками с люком и ставят на поддон, на котором конденсируется влага воздуха и просачивающаяся из бака вода. Баки размещают в отапливаемом и вентилируемом помещении. Высоту расположения бака определяют по расчету свободного давления, создаваемого баком. Водонапорные башни (в большинстве случаев — типа Рожновского) устанавливают по возможности в высшей точке рельефа местности населенного пункта, который обслуживается данной водопроводной системой.

Объем противопожарных резервуаров должен обеспечить потребности в воде для тушения пожара в течение 3 ч. По графику часового расхода воды предприятия выбирают три смежных часа наибольшего потребления воды. Суммируют расходы воды за 3 ч, получая величину $Q_{макс}$. По соответствующим нормативам находят расход воды для тушения наружного пожара в течение 3 ч $Q_{нп}$, определяют расход воды для тушения внутреннего пожара здания в течение 3 ч $Q_{вп}$, принимая для каждого гидранта по 3 л/с. Допускают, что тушение пожара произойдет на стыке смен, когда работает наибольшее количество душей. Определяют расход воды в душевых в течение 1 ч $Q_д$, также количество поступающей из водопровода воды во время тушения пожара в противопожарный резервуар $Q_п$. Объемы противопожарного резервуара рассчитывают по формуле

$$V = Q_{макс} + Q_{нп} + Q_{вп} + Q_д - Q_п.$$

По противопожарным нормам заполнение водой опорожненного во время пожара резервуара может длиться 24—40 ч.

Противопожарный резервуар строят в грунте из железобетона. Взамен противопожарного резервуара разрешается использовать открытые железобетонные бассейны, водоемы, резервуары при градирнях. Их объем должен соответствовать расчетному для противопожарных целей.

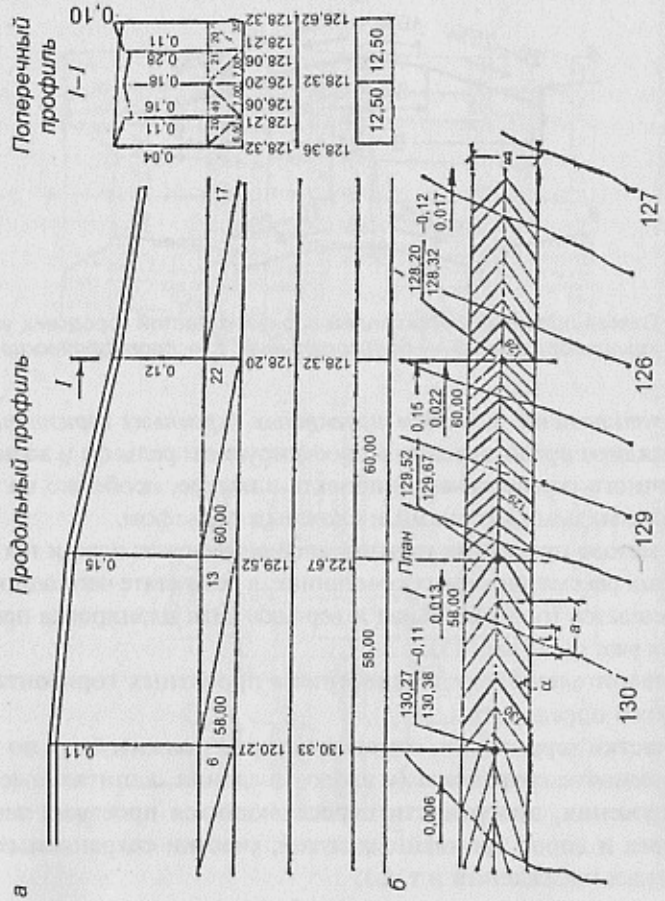



**Рис. 15.** Вертикальная планировка проезжей части улицы:
*а — методом продольного и поперечного профиля; б — методом проектных («красных») горизонталей*



С учетом обеспечения минимального объема земляных работ и сохранения отметок опорных точек на оси проезжей части намечают точки перелома продольного профиля и их ориентировочные проектные отметки. Затем определяют расстояние между указанными выше точками и продольные уклоны между ними. Проектные уклоны, округленные до целого числа тысячных долей, показывают над стрелками, наносимыми вдоль оси проезжей части и показывающими направления проектных уклонов, а расстояние между переломными точками — под стрелками. У всех переломных точек ставят существующие и проектные отметки.

Углы наклона горизонталей в плане по отношению к оси дороги зависят от поперечного уклона проезжей части. Поперечный уклон проезжей части на дороге с асфальтобетонным покрытием (наиболее распространенный тип покрытия в городах) принимают обычно равным 20‰ (рис. 16).

В направлении результирующего уклона $i_р$ происходит сток поверхностных вод (перпендикулярно к горизонталям).

Все горизонтали на протяжении участков улиц или дорог с одинаковыми продольными и поперечными уклонами параллельны друг другу. С изменением продольных или поперечных уклонов изменяются и углы отклонения горизонталей от направления оси дороги. Поскольку тротуары и газоны обычно возвышаются над проезжей частью улиц, то горизонтали на них смещаются по отношению к одноименным горизонталям на проезжей части. В большинстве случаев они имеют и другое направление, так как поверхностям проезжей части и тротуара придают встречные поперечные уклоны — в сторону лотков. Пример вертикальной планировки участка улицы, выполненной методом проектных горизонталей, показан на рис. 17.

Поперечные уклоны проезжих частей улиц и дорог обычно сохраняют постоянными по всей их длине, изменяя лишь на криволинейных участках малых радиусов. На этих участках у автомобилей возникают значительные центробежные усилия, которые прямо пропорциональны массе автомобилей и квадрату скорости их движения и обратно пропорциональны радиусам кривых: $c = m\,v^2/R$. Под влиянием этих усилий может произойти смещение автомобилей в направлении от центра кривой или даже их опрокидывание. Во избежание этого на таких участках устраивают виражи, т. е. придают по-

Выбор конструкции одежды проезжей части следует обосновывать данными технико-экономических расчетов, проверки на прочность, морозоустойчивость, а для климатических районов IA, IБ и IГ — данными теплотехнических расчетов.

Для обеспечения безопасности движения следует предусматривать на скоростных дорогах, магистральных улицах общегородского значения, мостах и путепроводах устройство покрытий с повышенной шероховатостью (коэффициентом сцепления) независимо от плана и профиля. На улицах и дорогах других категорий при следующих условиях:

- на уклонах свыше 30‰;
- на горизонтальных кривых с минимальным радиусом и на подходах к ним на расстоянии видимости поверхности проезжей части;
- в пределах пересечений в одном уровне на расстоянии, определяемом треугольником видимости;
- на остановочных пунктах общественного транспорта и на подходах к ним;
- на левоповоротных съездах пересечений в разных уровнях;
- на участках с ограниченной видимостью.

Экономически эффективными считают более прогрессивные в техническом отношении конструкции, срок окупаемости которых не превышает нормативного (не более 10 лет). Срок окупаемости конструкции определяется по формуле

$$T = (K_2 - K_1)/(И + C_1 - C_2),$$

где $K_1$ и $K_2$ — капиталовложения, необходимые для сооружения сопоставляемых дорожных конструкций; $И$ — среднегодовая экономия, которая может быть достигнута за счет улучшения условий движения. При одинаковых условиях движения $И = 0$; $C_1$ и $C_2$ — среднегодовые расходы на содержание и ремонт сопоставляемых дорожных одежд.

Для определения степени экономичности составляемых конструкций можно воспользоваться формулой

$$Э = EK + C,$$

где $Э$ — при приведенные затраты на постройку и содержание дорожной одежды той или иной конструкции; $E$ — коэффициент экономической эффективности, представляющий собой величину, обратную нормативному сроку окупаемости сооружений ($E = \frac{1}{10} = 0{,}1$); $K$ — капитальные затраты на постройку сооружения, определяемые после установления расчетной толщины конструкции и отдельных ее элементов; $C$ — среднегодовые затраты на содержание и ремонт дорожной одежды, включая амортизационные расходы.



Наиболее экономичной считают конструкцию, для которой значение приведенных затрат будет наименьшим.

*Бетонные покрытия* можно делать монолитными (армированные или неармированные) или из железобетонных плит (табл. 14). Сборные конструкции легко восстанавливать при повреждении или после разработки в случае ремонта или прокладки под ними подземных коммуникаций. В монолитных бетонных покрытиях устраивают температурные швы: продольные — по оси проезжей части и параллельно ей на расстоянии 3,75 м один от другого, поперечные — через каждые 6—8 м (10 м). Через каждые 2—3 поперечных шва сжатия устраивают поперечные швы расширения, компенсирующие удлинение плит в летний период. Температурные швы заполняют упругими, легкодеформируемыми материалами.

В настоящее время на проездах с движением многогрузных автомобилей применяют предварительно напряженные конструкции (толщиной 14—18 см). Обычно толщина бетонного покрытия составляет 20—24 см, железобетонного 18—20 см. Сборные железобетонные плиты (прямоугольной или шестиугольной формы) укладывают обычно на песчаное основание.

*Асфальтобетонные покрытия* получили в городах наибольшее распространение, что объясняется рядом их достоинств: ровная поверхность, обеспечивающая благоприятные условия для движения транспортных средств и быстрый сток поверхностных вод, легкость очистки от пыли, грязи и снега, относительной водонепроницаемостью и гигиеничностью, возможностью полной механизации дорожно-строительных работ, простотой производства ремонтно-восстановительных работ.

Асфальтобетонные покрытия строят на прочных бетонных или каменных основаниях. Обычно применяют двухслойные покры-

личивают диаметр трубы, чистят засоренные места. Систематически проверяют крепления насосов и электродвигателей. Они также могут быть источниками шума. Иногда применяют звукоизолирующие основания.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Перечислите основные требования, предъявляемые к качеству воды.*
2. *Укажите порядок определения норм расхода воды и режимов водопотребления.*
3. *Назовите классификацию систем водоснабжения.*
4. *Объясните необходимость повторного и оборотного водоснабжения.*
5. *Назовите и охарактеризуйте основные водоисточники.*
6. *Опишите схему технологической сети водозаборных сооружений.*
7. *Перечислите основные типы насосных станций, их предназначение.*
8. *Объясните необходимость и изложите порядок обработки воды.*
9. *Выполните эскиз наружных и внутренних водопроводных сетей.*
10. *Перечислите материалы, применяемые для трубопроводов. Их преимущества и недостатки.*
11. *Назовите и охарактеризуйте арматуру, устанавливаемую на трубопроводах.*
12. *Дайте характеристику систем горячего водоснабжения.*

# *Глава 6.* ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

## 6.1. Характеристика сточных вод предприятия

Промышленные предприятия расходуют чистую воду, которая в процессе ее использования загрязняется различными примесями, в том числе и органическими. Органические вещества являются хорошей питательной средой для различного рода бактерий,



вызывающих инфекционные заболевания. Поэтому для поддержания хорошего санитарного состояния помещений и территории необходимо немедленно удалять отбросы и сточные воды за пределы территории предприятия и населенного пункта.

*Сточными* называются воды, использованные на бытовые или производственные нужды и получившие при этом дополнительные примеси (загрязнения), изменившие их первоначальный химический состав или физические свойства, а также воды, стекающие с территории предприятия в результате выпадения атмосферных осадков.

Производственные сточные воды могут характеризоваться большим содержанием взвешенных веществ, из которых до 90% могут быть органического происхождения, большой концентрацией растворенных веществ, различных солей, кислот, щелочей и т. д., высокой температурой (до 25—28°С) и т. д.

Условно чистые воды образуются в результате эксплуатации охладительно-пастеризационных установок, аммиачных и воздушных компрессоров, конденсаторов и т. п. Эту категорию сточных вод необходимо направлять после соответствующей обработки (охлаждение, очистки и т. п.) в системы оборотного или повторного водоснабжения предприятия. Сточные воды отдельных предприятий можно направлять в городскую канализацию без предварительной очистки, так как в них содержится незначительное количество жира и минеральных примесей.

## 6.2. Нормы и режимы водоотведения

Основным показателем любой системы канализации, от которого зависят размеры очистных сооружений и общая стоимость их строительства, является объем отводимых сточных вод, который в свою очередь зависит от количества потребляемой воды в технологическом процессе и от способа водоиспользования на данном производстве. Для пищевой и перерабатывающей промышленности водоотведение составляет 85—95% водопотребления, так как часть чистой воды теряется на утечки, испарение, полив территории, а также является составной частью продукции.

На указанных предприятиях водоотведение осуществляется неравномерно вследствие залпового выпуска отработавшей воды из резервуаров, ванн или машин, а также специфики технологи-

ческих процессов. Поэтому при проектировании системы канализации необходимо учитывать коэффициент неравномерности водоотведения.

*Норма отведения производственных сточных вод* — среднее количество сточных вод (в м$^3$), которое образуется при изготовлении единицы продукции или при переработке единицы сырья.

Кроме коэффициента часовой неравномерности, существует и коэффициент суточной неравномерности притока сточных вод, который характеризует неравномерность поступления стоков по часам в течение суток. Летом при трех- и двухсменной работе коэффициент равен 3,5; зимой при односменной работе — 1,5.

На практике для определения диаметров канализационных трубопроводов необходимо знать расчетные расходы производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Расчетный расход производственных сточных вод $Q_{пр}$ в м$^3$/ч можно определить по формуле

$$Q_{пр} = qMK_ч,$$

где $q$ — норма производственного отведения, м$^3$/т; $M$ — производительность предприятия, т/ч; $K_ч$ — коэффициент часовой неравномерности притока сточных вод.

В канализацию предприятия кроме производственных сточных вод сбрасывают и хозяйственно-бытовые сточные воды.

Расчетный расход хозяйственно-бытовых стоков $Q_х$ (в л/с) рассчитывают следующим образом:

$$Q_х = \Sigma qna,$$

где $q$ — норма хозяйственно-бытового водоотведения от одного санитарного прибора (л/с); $n$ — число однотипных приборов; $a$ — коэффициент, учитывающий одновременность действия санитарных приборов (для раковин и моек $a$ = 0,5; душевых сеток и умывальников — 1; унитазов — 0,3; писсуаров — 0,7).

Простое суммирование расчетных расходов производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод не позволяет точно рассчитать канализационные трубопроводы. Для получения истинного значения максимального количества сточных вод на предприятиях строят суточные графики водоотведения. По максимальному расходу сточных вод рассчитывают систему канализации.



## 6.3. Условия спуска сточных вод в водоемы

Вода любого водоема содержит кислород, который может минерализовать некоторое количество внесенных в воду органических веществ. Способность водоема окислять органические вещества называется *самоочищением.*

Для определения степени очистки сточной жидкости перед выпуском ее в водоем необходимо знать:

- расходы воды в реке к сбрасываемой жидкости;
- потребление растворенного кислорода смесью сбрасываемой жидкости и воды водоема;
- допускаемую величину $БПК_{полн}$ смеси воды водоема и сточных вод;
- $pH$ водоема после смешивания; допустимую величину взвешенных и токсичных веществ и др.

В зависимости от назначения водоемы подразделяют на три вида:

- для питьевого водоснабжения;
- для культурно-бытового водоиспользования (купание, спорт и пр.);
- для рыбохозяйственных целей.

Условия сбрасывания сточных вод в водоемы строго регламентированы существующими нормами и правилами. Количество растворенного кислорода в воде должно быть не ниже 4 мг на 1 л, $БПК_{20}$ для водоемов первого типа — не более 3 мг/л и второго — не более 6 мг/л. Водородный показатель ($pH$) воды после смешивания ее со сточными водами должен быть в пределах 6,5—8,5.

Вода в водоемах не должна загрязняться взвешенными веществами, и их содержание после сбрасывания сточных вод не должно увеличиваться больше чем на 0,25 мг/л для водоемов первого вида и на 0,75 мг/л — второго вида. В водоемах, используемых для рыбохозяйственных целей, содержание растворенного кислорода зимой не должно быть ниже 4—6 мг/л.

Не следует, однако, преувеличивать возможностей водоемов, в частности рек, в отношении приема больших объемов сточных вод даже в том случае, если кислородный баланс позволяет осуществить такой сброс без окончательной их очистки.

В настоящее время большинство крупных рек загрязнено сточными водами, и поэтому самоочищающие способности рек сильно ограничены. Условия спуска сточных вод в водоемы сейчас строго регламентированы. Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами и правилами санитарной охраны прибрежных районов морей сброс сточных вод в закрытые водоемы (озера, пруды) без предварительной очистки запрещен.

## 6.4. Классификация систем канализации

Системой канализации называют комплекс оборудования, сетей и сооружения, предназначенный для организованного приема и удаления по трубопроводам за пределы территории промышленного предприятия или населенного пункта загрязненных сточных вод, а также их очистки и обеззараживания перед утилизацией или сбросом в водоем.

Предприятия пищевой промышленности, как правило, оборудуют двумя системами канализации, общесплавной и полной раздельной.

*Общесплавная система* предусматривает отвод за пределы промышленного предприятия сточных вод всех трех категорий (производственных, бытовых и ливневых) по одной сети подземных трубопроводов (коллекторов).

*Полная раздельная система* представляет собой две подземные сети трубопроводов. Первая сеть предназначена для отвода (сплава) наиболее загрязненных сточных вод (бытовых и производственных), вторая — для отвода ливневых и условно чистых вод, как правило, менее загрязненных, непосредственно в водоем, минуя очистные сооружения.

В санитарно-гигиеническом отношении наиболее приемлемой является общесплавная система канализации, которая обеспечивает очистку всех сточных вод. Однако с экономической точки зрения полная раздельная система канализации имеет преимущество перед общесплавной в том отношении, что требует меньшего сечения трубопроводов и меньшее количество сточных вод пропускается через очистные сооружения. В результате затраты на строительство и эксплуатацию очистных сооружений значительно сокращаются. На крупных предприятиях целесообразно устраивать полные раздельные системы, на мелких — общесплавные.



Например, на крупных мясокомбинатах применяют систему канализации, состоящую из трех сетей: для отвода загрязненных производственных сточных вод, не содержащих жир, и хозяйственно-фекальных вод; для отвода зажиренных сточных вод и для отвода условно чистых и атмосферных вод (рис. 73).

На крупных молокоперерабатывающих предприятиях устраивают систему канализации, как правило, из двух сетей: для загрязненных и бытовых вод и для условно чистых и ливневых вод.

Довольно часто предприятия, находящиеся в крупных городах, сбрасывают сточные воды в городские канализационные сети, при этом сточные воды проходят предварительную очистку на местных (локальных) очистных сооружениях от навоза, жира, битого стекла, отходов нефтепродуктов и т. п.

Иногда мусор и сухие отходы перед спуском в систему канализации измельчают на дробилках. Если дробилок нет, то твердые

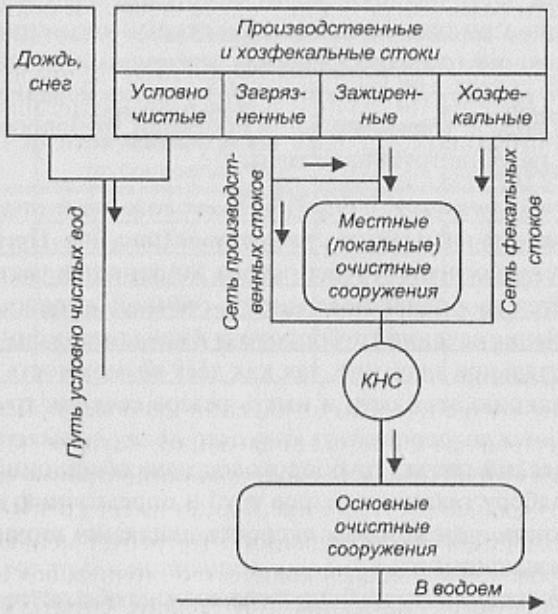



**Рис. 73.** Схема раздельной канализации

отходы производства, мусор собирают в мусоросборники и вывозят специальным транспортом в установленные места. Так поступают и в населенных пунктах.

## 6.5. Транспортирование сточных вод и гидравлический расчет трубопроводов

В зависимости от удельного веса загрязнения могут быть осаждающимися, взвешенными или всплывающими. Осаждающиеся вещества опускаются на дно потока, движутся беспорядочно возле дна трубопровода, а также передвигаются по дну, подобно дюнам. Взвешенные вещества распределяются по всему сечению потока. Всплывающие загрязнения движутся вместе с потоками сточных вод на поверхности.

Канализационные сети, в которых все загрязнения транспортируются вместе с потоком и не выпадают в осадок, работают нормально. Движение сточных вод во всех системах канализации полностью или частично происходит самотеком благодаря тому, что трубам при монтаже придается некоторый геометрический уклон $J$, зависящий от разности между значениями потенциальной энергии в начале ($H_1$) и в конце ($H_2$) участка канализационного трубопровода $h$, горизонтальной проекции трубопровода $l_0$ и тангенса угла наклона трубопровода $\alpha$, т. е.

$$J = h/l_0 = \operatorname{tg} \alpha.$$

Такое движение называется *безнапорным* (рис. 74). При безнапорном движении сечение трубопровода заполняется частично и в нем образуется свободная поверхность сточной жидкости. Частичное заполнение сечения трубопровода в канализационной сети имеет положительное значение, так как дает возможность осуществлять вентиляцию этой сети и иметь резерв сечения трубопроводов.

Гидравлический расчет трубопроводов канализационной сети сводится к подбору таких диаметров труб и определению гидравлических уклонов, при которых скорости движения сточных вод будут самоочищающимися.

Уклон, а также диаметр трубопровода должны обеспечивать минимальные скорости движения сточных вод, при которых на дно



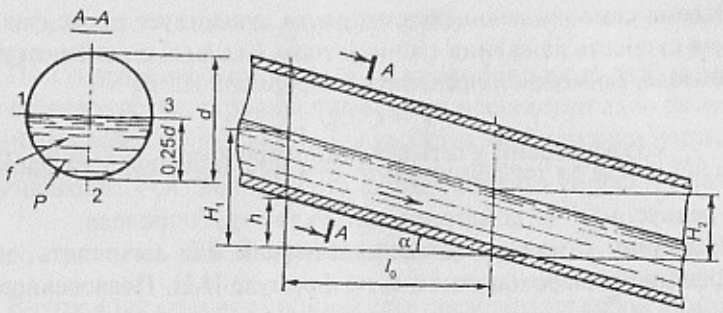



**Рис. 74.** Сечение канализационной трубы:
*f — живое сечение потока, м²; P — смоченный периметр (линии 1, 2, 3), м*

трубопровода не выпадает осадок. Наименьшие допустимые геометрические уклоны, обеспечивающие самоочищающиеся скорости, приведены в табл. 16.

Таблица 16

**Параметры трубопроводов, обеспечивающие минимальную скорость движения сточных вод**

| Диаметр, мм | Наименьший допустимый уклон трубопровода, ‰ | Диаметр, мм | Наименьший допустимый уклон трубопровода, ‰ |
|---|---|---|---|
| *Внутренняя канализация* | | *Наружная канализация* | |
| 50 | 0,025 | 400 | 0,0025 |
| 100 | 0,012 | 500 | 0,002 |
| 150 | 0,007 | 600 | 0,0016 |
| 200 | 0,005 | 700 | 0,0014 |
| 300 | 0,0033 | | |

Наибольший уклон отводных трубопроводов канализационной линии не должен превышать 0,15, за исключением коротких участков — 1,5 м.

Значения самоочищающихся скоростей зависят от стойкости материалов труб к истиранию, например, пределом для неметаллических труб является скорость 4 м/с, а для металлических — 8 м/с.

Кроме самоочищающейся скорости существует также фактическая скорость движения сточной воды $V$ (в м/с) в заданном трубопроводе. Ее можно определить по формуле Шези

$$V = C\sqrt{RJ},$$

где $C$ — коэффициент, учитывающий шероховатость стенок труб, размеры и форму сечения потока сточных вод; $R$ — гидравлический радиус, м; $J$ — геометрический уклон трубопровода.

Величину $C$ можно найти по таблицам или вычислить, зная коэффициент шероховатости $n$, по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = R\frac{1}{6}/n.$$

Коэффициент шероховатости зависит от материала труб: для стальных $n$ = 0,012; для асбестоцементных, чугунных и керамических — 0,013; железобетонных и бетонных — 0,014.

Гидравлический радиус определяют отношением площади живого сечения потока $f$ к смоченному периметру трубы $P$, т. е. $R = f/P$.

Для трубопроводов круглого поперечного сечения гидравлический радиус $R = d/4$ при половинном заполнении сточной водой сечения трубы.

Для определения диаметра труб можно воспользоваться формулой расхода сточных вод $Q$ (в м$^3$/с) для равномерного движения потока:

$$Q = fV,$$

где $f$ — площадь живого сечения потока, м$^2$; $V$ — скорость потока сточных вод.

Строго говоря, движение сточных вод по трубам канализационной сети неравномерно, более того, оно является неустановившимся. Неравномерность потока объясняется боковыми присоединениями трубопроводов, изменением геометрических уклонов отдельных участков сети, изменением шероховатости, различными местными сопротивлениями. В связи с этим расчет диаметра труб осложняется, и поэтому в практике его ведут по уравнениям равномерного движения.

Площадь живого сечения потоков определяют с учетом расчетного наполнения труб. Например, если степень наполнения составляет 0,5$d$, то площадь сечения потока $S = pd^2/8$, а расчетная формула для определения диаметра $d$ (в м) примет вид



$$d = \sqrt{8Q/\pi V}.$$

При гидравлическом расчете схему трубопровода разбивают на расчетные участки, ограниченные двумя последовательно расположенными водоприемниками. Для удобства эксплуатации наружной канализационной сети диаметр труб принимают не менее 200 мм.

## 6.6. Внутренняя канализация

Внутренняя канализационная сеть представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих отвод сточных вод от мест их образования в сеть наружной канализации. Различают следующие системы внутренней канализации: хозяйственно-бытовые, отводящие бытовые сточные воды от санитарных приборов (умывальников, унитазов, душей и др.); производственные, по которым отводятся сточные воды, содержащие жир; производственные для отвода сточных вод, не содержащих жира; производственные для отвода условно чистых вод; дождевые (внутренние водостоки), по которым отводятся атмосферные осадки с крыш зданий.

На мясокомбинатах и других предприятиях сооружают раздельные системы внутренней канализации, на некоторых производствах допускается объединение систем внутренней канализации для всех категорий сточных вод в единую общесплавную систему.

Внутренняя канализация начинается с водоприемников и заканчивается у первого колодца дворовой сети, расположенного на расстоянии не менее 3 м от здания, но не более 10 м. Далее сточные воды попадают в дворовую наружную канализационную сеть, по ней в городскую канализацию или на очистные сооружения.

Схема внутренней канализации бытовых и производственных помещений показана на рис. 75. В состав внутренней канализации входят приемники сточных вод, гидравлические затворы, отводные магистральные трубы и стояки с вытяжными трубами и ревизиями, выпуски в дворовую сеть.

В качестве приемников производственных сточных вод служат трапы, сливы, воронки и спускные трубы. Хозяйственно-фекальные воды отводятся через умывальники, мойки, унитазы, писсуары, биде, души.

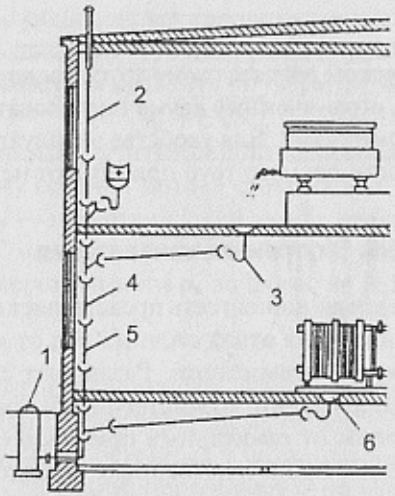



**Рис. 75.** Схема канализации:
*1 — смотровой колодец; 2 — вытяжной стояк; 3 — гидравлический затвор; 4 — канализационный стояк; 5 — ревизия; 6 — трап*

Материалы, применяемые для изготовления приемников сточных вод, должны быть водонепроницаемые, прочные и стойкие против кислот и щелочей. Приемники сточных вод изготовляют из фаянса, чугуна, литой стали, цветных металлов и пластмасс.

Трапы устанавливают в полах производственных помещений из расчета 150—200 м$^2$ (в зависимости от диаметра трапа) площади пола на один трап. При размещении трапов необходимо следить за тем, чтобы они и подвесные трубы не располагались под машинами и аппаратами для обработки пищевых продуктов, а также над рабочими местами в помещениях нижних этажей зданий. Схема установки трапа показана на рис. 76, *а*.

После каждого приемника сточных вод обязательно устанавливают гидравлические затворы (сифоны). В каналах сифонов всегда остается некоторый объем воды, предотвращающий проникновение в помещение канализационных газов (метана, аммиака, сероводорода и др.). Гидравлические затворы можно устанавливать отдельно от приемника сточных вод или совместно с ним (рис. 76, *б*).



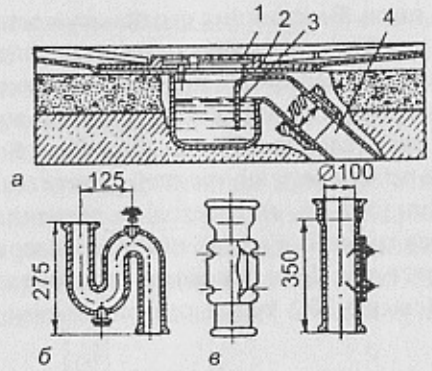



**Рис. 76.** Детали канализационной сети:
*а — схема установки трапа: 1 — решетка; 2 — крышка с фланцем; 3 — гидравлический затвор; 4 — выпуск; б — сифон; в — ревизия с крышкой*

В качестве магистральных труб внутренней канализации применяют чугунные канализационные асбоцементные и реже стеклянные, пластмассовые и стальные трубы. Материал труб выбирают с учетом химического состава и температуры сточных вод, требований к прочности труб и экономической целесообразности.

Например, асбоцементные безнапорные трубы, изготовляемые диаметром 100—150 мм и длиной 2—3 м, используют для устройства сети внутренней бытовой и производственной канализации, для отвода слабокислых и слабощелочных сточных вод. Асбоцементные трубы соединяются цилиндрическими муфтами (из того же материала) с резиновым кольцевым уплотнителем или с помощью чугунных и асбоцементных фасонных частей.

Отводные трубы в сетях внутренней канализации служат для отвода сточной жидкости от приемников к стоякам. Их прокладывают с уклоном $i = 0{,}03$ по полу, стенам или под потолком. Стояки необходимы для подачи сточных вод от отводных труб к выпускам. Их устанавливают вертикально по всей высоте здания (раструбами вверх) и по возможности ближе к приемникам наиболее загрязненной сточной жидкости. Минимальный диаметр стояка — 100 мм. Верхняя часть стояка (см. рис. 76) служит для удаления из внутренней и наружной канализационных сетей вредных и

взрывоопасных газов. Вентиляция стояка осуществляется с помощью вытяжных труб естественным путем под действием притока воздуха, поступающего через колодцы наружной канализации. Разность между температурами наружного воздуха и воздуха в системе канализации создает условия для тяги. Для обеспечения надежной и бесперебойной работы сети внутренней канализации имеются ревизии и прочистки (рис. 76, *в*). На стояках ревизии устанавливают не реже чем через три этажа и, как правило, в верхнем и нижнем этажах и выше отступов. При поворотах горизонтальных участков трубопроводов (свыше 30°) кроме ревизии можно устанавливать прочистку.

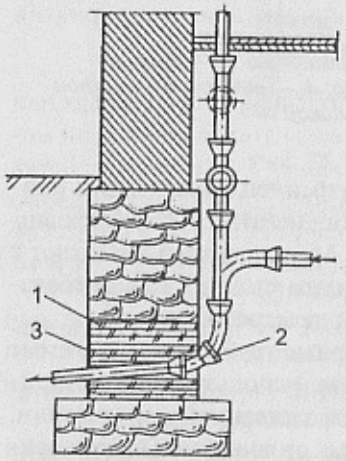



**Рис. 77.** Пропуск трубы выпуска через фундамент здания:
*1 — мятая глина; 2 — просмоленная прядь; 3 — цементный раствор*

Выпуски предназначены для отвода сточной жидкости из отдельных стояков или их группы за пределы здания в дворовую канализационную систему (рис. 77). Диаметр выпуска должен быть не менее диаметра наибольшего из стояков, присоединяемых к данному выпуску. Его длина от стояка или прочистки до оси смотрового колодца должна составлять при диаметре труб 50 мм не более 6 м, при диаметре 100 мм — 7,5, а при диаметре 150 мм — более 10 м. Выпуски присоединяют к наружной сети под углом не менее 90° с уклоном $i$ = = 0,025—0,03.

Расчет внутренней канализации сводится к определению числа санитарных приборов, количества трапов, расходов сточных вод, диаметров и уклона канализационных трубопроводов. При этом количество производственных водоприемников зависит от требований технологического процесса.

Количество санитарных приборов и рекомендуемый состав бытовых помещений различных предприятий зависят от санитарной характеристики производственных процессов (СН 245-71) и числа работающих людей в смену.



Определив число необходимых водоприемников, составляют изометрическую схему внутренних трубопроводов, указывая расположение санитарных приборов, и вычисляют расчетные расходы сточных вод по отдельным участкам в соответствии с нормами водоотведения. Расчетные расходы производственных сточных вод устанавливают по соответствующим данным, а также в соответствии с требованиями технологических процессов.

Диаметры и уклоны трубопроводов, отводящие сточные воды от санитарных приборов, принимают также по соответствующим данным в зависимости от назначения и числа приборов.

## 6.7. Условия присоединения системы канализации предприятия к городской канализационной сети

При расположении промышленных предприятий в городах или вблизи них производственные сточные воды этих предприятий могут сбрасываться в городскую канализацию. Совместная очистка производственных и сточных вод экономически целесообразна, но не всегда возможна. Выпуск производственных стоков в городские канализационные коллекторы разрешается только в тех случаях, когда это не нарушает работы сети и очистных сооружений.

При этом производственные сточные воды должны удовлетворять следующим требованиям:

- они не должны содержать взвешенных примесей и веществ, которые могут отлагаться на дне и стенках трубы;
- не должны вызывать коррозии материала труб и очистных сооружений;
- не должны содержать горючих примесей и растворенных газообразных веществ, способных образовать взрывоопасную смесь;
- их температура при выпуске не должна превышать 40°С.

Наиболее вредными примесями для работы коллекторов являются жиры и минеральные вещества (песок, шлак, глина и т. п.). Особенностью работы канализационных трубопроводов является то, что скорость течения жидкости по сечению трубы не одинакова, а уменьшается от центральной части к периферии, достигая практически нулевого значения у стенок трубы. В результате тяжелые примеси сточных вод образуют на дне трубы

осадок, а жировые вещества откладываются на стенках. Это может привести к снижению пропускной способности, а иногда и закупорке труб. Очистка же коллекторов от жирового слоя требует больших затрат и специальных приспособлений.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ, нарушающих нормальный процесс биологической очистки бытовых и производственных сточных вод, должны определяться по СНиПам. Концентрация водородных ионов *pH* должна быть в пределах 6,5–8,5, температура смеси — от 6 до 30°С.

В связи с высокой степенью загрязненности сточных вод на многих предприятиях устраивают локальные очистные сооружения независимо от того, выпускают они свои стоки на собственные очистные сооружения или в городской коллектор.

## 6.8. Наружная канализация

Наружная канализация представляет собой комплекс инженерных сооружений, служащих для приема сточных вод от внутренней канализационной сети локальной очистки (при необходимости) и транспортирования их к очистным сооружениям, если сброс сточных вод не осуществляется в городской канализационный коллектор. В состав наружной канализации входят сеть подземных канализационных трубопроводов с колодцами, местные очистные сооружения (жироловки, песколовки и т. п.), а также нередко насосные перекачки, которые располагаются за пределами производственных зданий.

Наружная канализация начинается от смотровых колодцев, в которые подаются сточные воды из внутренней сети канализационных трубопроводов.

Канализационные колодцы предназначены для наблюдения за работой, прочистки и промывки канализационной сети. В зависимости от назначения и места расположения их разделяют на линейные, поворотные, узловые и перепадные. Линейные колодцы устраиваются на прямых участках, поворотные — в местах поворотов сети, узловые — в точках соединения коллекторов и перепадные — в местах вынужденных перепадов сети. По форме в плане колодцы бывают круглыми и прямоугольными. Они состоят из бетонного основания с лотком, рабочей камеры, горловины и чугунного люка с крышкой. Как правило, колодцы выполняют из сборных элементов. В соответствии со стандартом изготовляются типовые железобетонные детали с внутренним диаметром колец колодцев 700, 1000, 1250, 1500 мм. Круглые смотровые колодцы (рис. 78) устанавливают на трубопроводах диаметром до 500 мм.



Расстояние между смежными линейными колодцами на прямых участках необходимо принимать для труб диаметром от 150 до 600 мм — 50 м; от 600 мм и более — от 75 до 150 м. Колодцы на коллекторах диаметром 700 мм и более выполняют прямоугольными из кирпича, сборных железобетонных панелей или плит.

К трубам наружной канализационной сети предъявляют особые требования. Они должны быть прочными, без деформаций воспринимать постоянную нагрузку от массы грунта и временную нагрузку от движущегося транспорта, быть водонепроницаемыми, не подвергаться действию коррозии как с внутренней, так и с на-

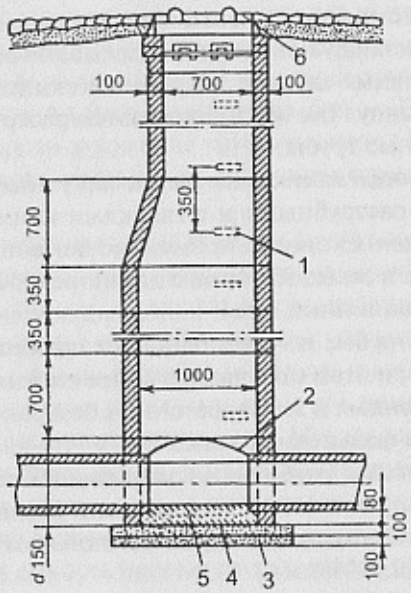



**Рис. 78.** Канализационный колодец из сборного железобетона:
*1 — скобы; 2 — цементная штукатурка с железнениями; 3 — щебеночная подготовка; 4, 5 — бетонные плиты; 6 — чугунный люк с крышкой*

ружной стороны, иметь гладкую внутреннюю поверхность, быть дешевыми.

Этим требованиям в основном удовлетворяют керамические, бетонные, железобетонные и асбестоцементные трубы. Для напорных канализационных линий применяют главным образом чугунные, стальные и железобетонные трубы.

*Керамические трубы* изготовляют из пластичной огнеупорной глины с примесью шамота и кварцевого песка и покрывают внутри и снаружи глазурью. Вследствие непроницаемости, долговечности и стойкости против агрессивного действия грунтовых и сточных вод керамические трубы получили наибольшее распространение. Они бывают раструбными, внутренним диаметром от 125 до 600 мм и длиной от 800 до 1200 мм. У раструба внутреннюю, а у конца трубы наружную поверхности выполняют рифлеными, что способствует лучшему соединению труб. При заделке стыков кольцеобразное пространство между раструбом и трубой плотно законопачивают просмоленной пеньковой прядью на половину длины раструба, а оставшуюся полость заделывают асбестоцементной смесью. В отдельных случаях для заделки стыков используют асфальт, битум, глину. Так же заделываются раструбные железобетонные и бетонные трубы.

*Бетонные и железобетонные трубы* могут быть напорными и безнапорными, раструбными и с гладкими концами. В самотечных канализационных линиях применяют бетонные трубы диаметром 200—600 мм и железобетонные диаметром 300—2500 мм.

Для канализационных сетей наибольшую ценность представляют бетонные трубы, изготовленные центробежным способом, так как стенки при этом получаются более плотными и гладкими. Соединения бетонных и железобетонных безнапорных труб бывают муфтовыми и фальцевыми (рис. 79).

*Асбестоцементные трубы* применяют как для самотечных, так и для напорных наружных сетей канализации. Безнапорные канализационные асбестоцементные трубы изготовляют диаметром 50—600 мм и длиной 2,5—4,0 м.

Наружную канализационную сеть устраивают, как правило, подземной и лишь в некоторых случаях наземной. Стоимость сооружения подземных канализационных сетей во многом зависит от глубины заложения труб.



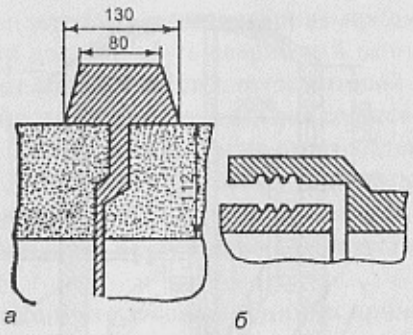



**Рис. 79.** Соединение канализационных трубопроводов:
*а — железобетонных; б — керамических*

Глубина заложения труб должна быть такой, чтобы в зимний период вода в трубах не замерзала, а сами трубы не подвергались разрушению от поверхностных вертикальных нагрузок.

Минимальная глубина заложения канализационных труб без утепления должна быть не менее 0,7 м от верха трубы. Максимальная глубина заложения может достигнуть 5—8 м. Если по условиям рельефа местности заложение труб получается более 8 м, то на трассе трубопровода устраивают насосную станцию перекачки (КНС).

Канализационные насосные станции служат для подъема сточных вод на более высокие отметки и перекачивания их на очистные сооружения. На рис. 80 показана канализационная станция, оборудованная насосом типа НФ. Насосы устанавливают под залив. Помещение станции заглублено в грунт и в плане чаще всего представляется круглым, разделенным на два помещения: приемный резервуар и машинное отделение. Между ними имеется водонепроницаемая перегородка. Всасывающие трубопроводы насосов пронизывают перегородку и подводятся к приямку в приемном резервуаре, из которого происходит забор сточной воды.

Минимальная емкость приемного резервуара принимается равной 50-минутному максимальному притоку сточной воды.

Дно приемного резервуара устраивают на 1,5—2 м ниже отметки лотка подводящего коллектора с уклоном в сторону приямка. Для улавливания крупных отбросов устанавливают решетки, уда-

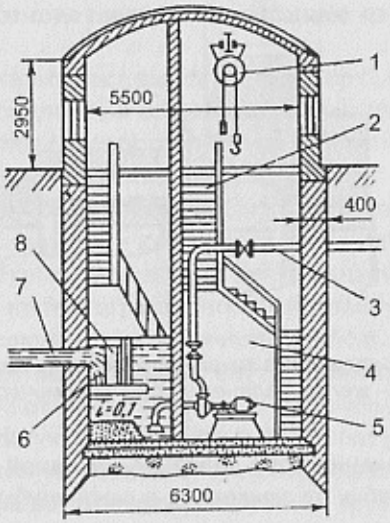



**Рис. 80.** Канализационная насосная станция:
*1 — электротельфер; 2 — лестница; 3 — напорный трубопровод; 4 — машинное отделение; 5 — фекальный насос; 6 — приемный резервуар; 7 — самотечный коллектор; 8 — решетка*

ление задержанных отбросов, как правило, осуществляется механическим путем.

Режим работы КНС зависит от неравномерности притока сточных вод. Для приближения графика откачки сточной воды фекальными насосами к графику отведения сточных вод и уменьшения емкости приемного резервуара применяют ступенчатую откачку сточной воды. При этом способе в разные часы суток согласно графику водоотведения предприятия включается разное количество насосов для параллельной работы. Управление работой насосов автоматическое: в зависимости от уровня жидкости в приемном резервуаре при помощи датчиков включаются или выключаются фекальные насосы.

Для бесперебойной работы насосной станции, кроме рабочих, необходимо предусматривать установку резервных насосов: одного — при количестве рабочих насосов до двух; двух — при количестве рабочих насосов от трех и более.



Во избежание затопления при авариях приемный резервуар насосной станции должен иметь аварийный выпуск, через который сточные воды сбрасываются в естественный водоем или овраг. Место аварийного сброса сточных вод согласовывается с местными органами СЭС. Кроме этого на вводе коллектора в приемном отделении КНС устанавливается задвижка. Помещения приемного и машинного отделения должны иметь принудительную приточно-вытяжную вентиляцию с кратностью воздухообмена не менее 5.

На канализационных насосных станциях применяют горизонтальные и вертикальные фекальные насосы типа НФ. Особенностью таких насосов является малая способность к засорению, что достигается устройством широких проточных каналов и малым числом лопастей рабочего колеса.

Фекальный горизонтальный насос типа НФ относится к классу центробежных, одноступенчатых консольного типа с рабочим колесом одностороннего хода. Корпус у таких насосов имеет люки для прочистки рабочего колеса и полости насоса. Фекальные насосы следует подбирать по заводским характеристикам так, чтобы рабочая точка при эксплуатации давала оптимальные параметры выбранного насоса или близкие к ним.

Иногда КНС оборудуют насосами вертикального исполнения типа НФ-ВМ. Всасывающий патрубок насоса расположен внизу. Вертикальный вал имеет верхнюю и нижнюю опоры, заключен в трубу, которая фланцами соединена с верхней опорой и корпусом насоса. В верхней части устанавливают фланцевый электродвигатель с вертикальным валом.

Следует отметить, что вертикальные насосы по сравнению с горизонтальными занимают меньшие площади, позволяют совместить насосную станцию с приемным резервуаром, более удобным в эксплуатации.

Работа насосов в канализационных насосных станциях перекачки автоматизирована. В зависимости от уровня сточных вод в приемном резервуаре включается в работу фекальный насос, при достижении верхнего аварийного уровня включается в работу резервный агрегат. Для автоматизаций работ насосов целесообразно использовать электрическую схему с электродами, устанавливаемыми в приемном резервуаре на разных уровнях.

## 6.9. Эксплуатация систем канализации

Эксплуатацией внутренних и наружных сетей канализации на предприятиях занимается специальный персонал, который обеспечивается соответствующим инструментом, механизмами, инвентарем, материалом и транспортом. Этот персонал следит также за эксплуатацией водопроводных систем.

В состав работ по технической эксплуатации канализационных сетей входят: наблюдение за работой самотечной сети и напорными водопроводами, профилактическая прочистка и промывка сети; устранение засорений и ликвидация аварий, текущий и капитальный ремонты, контроль за новым строительством и участие в приемке сооружений, лабораторный контроль сточных вод и ведение технической документации.

Эксплуатация внутренней канализации заключается в систематических осмотрах, проверках технического состояния всех элементов системы для своевременного выявления неисправности и их устранения. Профилактические промывки и прочистки сети и устранение засорений трубопроводов осуществляются с помощью ревизий и прочисток с пробками, которые монтируются на трубах. Трапы регулярно прочищают и дезинфицируют 5%-ным раствором хлорной извести.

При эксплуатации проверяют герметичность стыков канализационных трубопроводов, особенно стояков и подводов к ним. В случае появления течи применяют меры к устранению.

Местные (цеховые) очистные сооружения должны находиться под постоянным контролем и наблюдением. Их следует периодически ремонтировать, прочищать, промывать и дезинфицировать.

Эксплутационный персонал предприятия наблюдает за дворовой наружной канализацией и местными очистными сооружениями. В том случае, если предприятия сбрасывают сточные воды в городской канализационный коллектор, то обслуживанием последующих сетей (напорные и самотечные коллекторы) занимается технический персонал специальных управлений, которые находятся в ведении местных властей.

Дворовую сеть периодически осматривают. Различают два вида осмотров канализационной сети: наружный (поверхностный) и технический (глубокий).



*Наружный осмотр* (без спуска в колодцы) осуществляет бригада обходчиков из двух человек, в том числе мастера или старшего рабочего по графику, составленному руководством предприятия, но не реже одного раза в месяц. Небольшие дефекты устраняет сама бригада. О более серьезных дефектах бригада сообщает руководящему техническому персоналу для принятия мер.

*Технический осмотр*, т. е. более глубокое и тщательное обследование состояния канализационной сети, производят два раза в год, обычно весной и осенью, бригадой в составе трех человек — мастера и двух рабочих. При техническом осмотре дополнительно производится тщательное внутреннее обследование смотровых колодцев для выявления всех дефектов в кладке стен, колодцев и лотков, в трубах отмечается наличие осадков в лотках колодцев. После осмотра составляют дефектную ведомость и другие технические документы на производство текущего и капитальных ремонтов.

Во избежание засорения труб и каналов отложениями осадков необходимо регулярно проводить профилактическую прочистку канализационной сети. Трубопроводы диаметром до 600 мм включительно обычно прочищают раз в год, при неблагоприятных условиях работы в сети — 2—3 раза в год и чаще исходя из опыта эксплуатации.

Прочистка сети бывает профилактической и аварийной.

*Профилактическая прочистка* сети производится механическим и гидравлическим способами. Механический способ прочистки сети выполняют щетками, скребками и другими приспособлениями, которые разрыхляют скопившийся в трубопроводах осадок и транспортируют его от верхнего колодца к нижнему.

Наибольшее распространение получил гидравлический способ прочистки труб диаметром до 700 мм с помощью надувных резиновых шаров (мячей). Шар представляет собой обычную надувную камеру, заключенную в прочную оболочку из брезента или прорезиненной ткани. Мяч с оболочкой заключается в каркас, к которому приделывают серьги пространственного шарнира для укрепления тросов от лебедки. В устье трубопроводов из верхнего колодца засоренного участка вводят мяч, диаметр которого должен быть несколько меньше диаметра прочищаемого коллектора. С уменьшением живого сечения трубы свободное течение сточ-

ной воды уже почти прекращается, а уровень его в колодце поднимается. Под давлением образовавшегося подпора воды мяч продвигается по трубопроводу, при этом между плавающим мячом и лотком трубы остается узкий зазор, в который с большой скоростью устремляется вода, размывая накопившийся внизу трубы осадок. Взмученный и размытый осадок перемещается по мере продвижения мяча к нижнему колодцу, где специальными совками его улавливают и поднимают наверх.

Иногда при трудноразмываемом осадке мяч продвигают с помощью двух лебедок, располагаемых на противоположных концах прочищаемого участка. В случае заклинивания шара, что бывает исключительно редко, его необходимо проколоть специальной пикой на специальном гибком проводе.

В состав бригады по прочистке канализационных трубопроводов входят мастер и трое рабочих. Один рабочий регулирует продвижение шара, два занимаются выемкой осадка, мастер руководит работой.

Канализационную сеть диаметром более 700 мм прочищают деревянными или металлическими цилиндрами. Цилиндр представляет собой полый бочонок диаметром на 200—300 мм меньше диаметра коллектора и длиной 400—500 мм.

*Аварийную прочистку* выполняют в том случае, когда большое скопление осадков в канализационном трубопроводе может частично или полностью закупорить сеть. Такого рода аварии необходимо ликвидировать в кратчайший срок, так как закупорка сети может вызвать излив сточной воды через люки смотровых колодцев и подтопление подвалов и производственных помещений, находящихся ниже нулевой отметки, что совершенно недопустимо. В зависимости от местных условий и степени засорения трубопроводы чистят пробивной (прочистной) проволокой, подмывом водой и пробивкой штангами.

Пробивку проволокой применяют при диаметре трубопроводов до 250 мм. В заполненный водой верхний колодец засоренного участка опускают стальную трубу с загнутым концом, который направляется в засоренную трубу. Через стальную трубу пропускают стальную проволоку диаметром 8—10 мм с наконечником, которым и пробивают засорение.



Если проволокой не удается протолкнуть загрязнение, то его подмывают водой из сухого колодца, расположенного ниже по течению воды. Подмыв проводится в трубах диаметром более 300 мм, если и это не дает эффекта, то засор удаляют штангами. Штанги состоят из труб диаметром 13—19 мм и длиной 0,9—0,7 м. К первой штанге привинчивают наконечник (бурав, кольцо, пику, шар) и привязывают стальной трос диаметром 6—9 мм. Штангу вводят в трубопровод. Если наконечник не достигает места засорения, к штанге последовательно прикручивают дополнительные штанги с тросом, перекинутым через блок. Засор можно пробивать вручную, но при значительной длине засоренного участка трубопровода ручной способ пробивки не дает положительных результатов. В этом случае штанги подталкивают с помощью лебедки, установленной над колодцем.

Иногда пробивку засоров штангами сочетают с подмывом водой.

Если всеми перечисленными способами не удается ликвидировать засор, то трубы раскалывают и перекладывают сеть. При этом необходимо обеспечить действие канализации на расположенных выше участках путем перекачки сточных вод в обход ремонтируемого участка.

## 6.10. Мероприятия по уменьшению загрязненности и количества сточных вод, отводимых с предприятия

При проектировании и эксплуатации систем канализации промышленных предприятий необходимо уделять внимание изысканию возможности уменьшения количества сточных вод и снижения в них концентрации загрязнений. Положительные результаты в этом направлении приводят к уменьшению строительных объектов и стоимости канализационных сооружений, а также к уменьшению затрат на их эксплуатацию. Следует, однако, иметь в виду, что снижение только количества сточных вод, как правило, вызывает повышение их концентрации, поскольку при данном технологическом процессе общее количество отходов остается неизменным. Повышение концентрации сточных вод облегчает извлечение из них ценных веществ, в то же время при биохимических методах очистки повышенная концентрация сточных вод мо-

жет тормозить процесс очистки, а иногда делает необходимым предварительное снижение концентрации стоков.

Мероприятия по сокращению загрязненности и уменьшению количества сточных вод, отводимых с предприятия, можно подразделить на две основные группы: технические и технологические.

*Технические мероприятия* предусматривают очистку сточных вод перед сбросом их в водоем, а также применение систем оборотного и повторного водоснабжения промышленных предприятий. К *технологическим мероприятиям* можно отнести сокращение расхода свежей воды на технологические нужды, организацию бессточных производств, а также изыскание возможностей снижения концентрации загрязнений в сточных водах, особенно химическими и моющими веществами.

В настоящее время пока нет возможности организовать на всех предприятиях полностью бессточные системы использования воды или общезаводские системы оборотного водоснабжения, однако можно выделить некоторые процессы или аппараты, которые следует полностью переводить на оборотное водоснабжение. Их можно подразделить на три основные группы: оборотные системы компрессорных установок, оборотные системы вакуум-выпарных установок, оборотные системы охлаждения теплообменных аппаратов ледяной воды.

***Оборотные системы водоснабжения компрессорных установок.*** Система оборотного водоснабжения холодильно-компрессорных установок предназначена для охлаждения паров аммиака в конденсаторах и охлаждения цилиндров аммиачных компрессоров. Вода циркулирует в оборотной системе между холодильными установками и градирней, что позволяет снизить температуру воды, нагревшейся в процессе охлаждения компрессоров и паров хладагента.

Агрегаты холодильно-компрессорных установок являются наиболее водоемкими по сравнению с другими технологическими аппаратами предприятий пищевой промышленности, поэтому включение их в замкнутый цикл водоснабжения имеет первостепенную важность для значительного сокращения количества сточных вод, сбрасываемых в водоемы этими предприятиями.



***Оборотные системы водоснабжения вакуум-выпарных аппаратов*** предназначены для конденсации вторичных паров, образующихся при переработке сырья в кожухотрубных конденсаторах, входящих в состав установки.

На предприятиях пищевой промышленности значительное количество воды расходуется на охлаждение молока и т. п. в пластинчатых охладительных и пастеризационных установках, двустенных резервуарах, в ваннах и т. д. При прямоточной системе для этих целей расходуется 4—6 м$^3$ свежей воды на 1 т перерабатываемого сырья. С целью экономии расхода свежей воды на предприятиях используются широко оборотные системы ледяной воды.

В системах повторного водоснабжения воду, использованную в одном производственном процессе или аппарате, передают для повторного водоснабжения других производственных процессов или аппаратов без промежуточной обработки или охлаждения, или с очисткой и охлаждением. После повторного использования эту воду можно направить на технические цели (мойку тары, полов, автомобилей и т. п.), после чего сбросить в канализацию. Основным источником условно чистой воды, пригодной для повторного использования, является вода, выходящая из секции охлаждения пластинчатых теплообменных установок.

Системы повторного водоснабжения в перспективе нужно рассматривать как промежуточные звенья, вода из которых после соответствующей подготовки и очистки должна найти применение в существующих системах оборотного водоснабжения либо в новых автономных системах водоснабжения.

Однако при создании замкнутых циклов водоснабжения необходимо учитывать возможные отрицательные последствия: усиление коррозий оборудования, минеральные и органические отложения на поверхности теплообменных аппаратов и трубопроводов, а также возможные биологические образования на поверхности градирен.

Не менее эффективно уточнение (в сторону уменьшения) норм расходования водопроводной воды на единицу обрабатываемого сырья или выпускаемой продукции на предприятии в целом или по отдельным его цехам.

Значительно более ограничены возможности снижения концентрации в сточных водах. Радикальной мерой в этом направле-

нии является уменьшение потерь и отходов производства и извлечение из сточных вод ценных примесей в целях утилизации.

## 6.11. Правила работы в колодцах

К работам по очистке и ремонту канализационных сетей предъявляются особые требования по технике безопасности. Эти работы сопряжены с опусканием рабочих в канализационные колодцы, в которых, как правило, скапливаются ядовитые и взрывоопасные газы (углекислый газ, сероводород, пары бензина, метан и др.). Несоблюдение мер безопасности может привести к несчастным случаям.

Все работы, связанные со спуском в колодец, должны проводиться бригадой в составе не менее трех человек (один старший) при наличии письменного распоряжения лица, отвечающего за техническое состояние и безопасное производство работ на водопроводно-канализационных магистралях.

Бригада рабочих должна быть обеспечена всем необходимым инструментом и оборудованием (предохранительным поясом, кислородным изолирующим противогазом, бензиновой лампой ЛБВК — 2 штуки, аккумуляторным фонарем напряжением не свыше 12 В, ручным вентилятором, оградительными знаками, крючком или ломом для открывания крышек колодцев, аптечкой и газоанализатором).

Перед спуском в колодец необходимо установить наличие в нем газа. Проверка осуществляется с помощью газоанализатора или посредством опускания в колодец зажженной лампы ЛБВК, пламя которой при наличии в колодце сероводорода и метана уменьшается, при парах бензина и эфира — увеличивается, при наличии углекислоты — гаснет.

Запрещается производить проверку наличия газа по запаху или опусканием в колодец горящих предметов.

Удаление газа можно осуществлять путем естественного (не менее 2 ч) проветривания колодцев или принудительного нагнетания свежего воздуха вентилятором, при этом после проветривания необходимо вторично произвести проверку наличия в колодце вредных газов. Независимо от результатов проверки запрещается спускаться в колодец и работать в нем без предохранительного пояса и горящей лампы ЛБВК. В случае затухания лампы рабочий должен немедленно покинуть колодец, так как потухшую бензиновую лампу зажигать в колодце запрещается.



## 6.12. Народнохозяйственное значение очистки сточных вод

Общемировое водопотребление на хозяйственно-бытовые нужды составляет около 9% суммарного стока рек. Однако не прямое потребление гидроресурсов вызывает в большинстве случаев нехватку пресных вод, а их загрязнение — «качественное истощение».

За последние десятилетия все большую часть кругооборота пресных вод стали составлять промышленные и коммунальные стоки, т. е. воды, загрязненные в процессе промышленной, сельскохозяйственной и бытовой деятельности людей.

Значительную угрозу для водоемов представляют нефтепродукты, минеральные удобрения и ядохимикаты, которые попадают с полей вместе с талой и дождевой водой. Насыщение водоемов некоторыми минеральными веществами (азотом, фосфором и др.) сопровождается интенсивным развитием сине-зеленых водорослей — потребителей кислорода. Такое же отрицательное воздействие на водоемы оказывают теплые, отработанные воды, которые используют для охлаждения агрегатов и реакторов тепловых и атомных электростанций, а затем сбрасывают в водоемы. Происходит так называемое тепловое загрязнение водоемов.

Проблема охраны водных ресурсов от загрязнения в последнее время приобретает все большее значение во всех отраслях промышленности.

*Охрана водных ресурсов* — это система международных, государственных, региональных и локальных технических, административно-управленческих и общественных мероприятий по рациональному комплексному использованию водных объемов и обеспечению оптимальных физических, химических и биологических параметров функционирования природных водных систем.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Дайте характеристику сточных вод.*
2. *Расшифруйте понятие нормы и режимы водоотведения.*
3. *Приведите классификацию систем канализации.*
4. *Назовите основные принципы гидравлического расчета трубопроводов.*
5. *Выполните эскиз внутренней и наружной канализации.*
6. *Назовите материалы для канализационных трубопроводов, их преимущества и недостатки.*
7. *Осветите основные вопросы эксплуатации канализационных систем.*
8. *Перечислите основные мероприятия по очистке сточных вод и схемы очистных сооружений.*
9. *Техника безопасности и правила работы в колодцах.*

*Раздел III*

# ТЕПЛО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ЗДАНИЙ

## *Глава 7.* ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ

### 7.1. Назначение строительной теплотехники

Строительная теплотехника изучает процессы, происходящие в ограждающих конструкциях при передаче теплоты, знание которых позволяет проектировщикам и строителям разрабатывать и осуществлять конструкции с заранее заданными теплофизическими свойствами. К этим свойствам относятся способность защищать ограждаемые помещения от излишнего охлаждения зимой и от перегрева летом; обеспечивать допустимый (нормируемый) перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью стены; способствовать поддержанию внутри конструкции температурно-влажностного режима, обеспечивающего минимальное увлажнение составляющих ее материалов в условиях эксплуатации здания.

В зимний период года, когда температура наружного воздуха ниже температуры воздуха внутри здания (помещения), происходит передача теплоты через наружные ограждающие конструкции одновременно теплопроводностью, конвекцией и лучеиспусканием (излучением).

К ограждающим конструкциям относятся: наружные и внутренние стены, перекрытия, покрытия, полы, окна, фонари, двери, ворота.

Внутренний воздух помещения передает теплоту внутренней поверхности ограждения путем конвекции и излучения, за счет чего температура его снижается. Количество передаваемой при этом теплоты (в ВТ) выражается формулой

$$Q_t = \alpha_в F (t_в - \tau_в),$$

где $\alpha_в$ — коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м²К); $F$ — площадь поверхности ограждающей конструкции, м²; $t_в$ — температура внутреннего воздуха помещения, °С; $\tau_в$ — температура внутренней поверхности ограждения, °С.

***Примечание.*** *Здесь и далее разность температур для удобства приведена в °С.*

Далее происходит передача теплоты через ограждение вследствие теплопроводности материала.

Теплозащитные свойства ограждения определяют в первую очередь его термическим (тепловым) сопротивлением $R$, которое оказывает ограждение прохождению через него теплоты.

Количество теплоты $q$ (в Вт/(м²ч)), проходящее через 1 м² ограждения за 1 ч, называется *тепловым потоком* и выражается формулой

$$q = \frac{\tau_н - \tau_н}{R},$$

где: $\tau_н$ — температура наружной поверхности ограждения, °С; $R$ — термическое (тепловое) сопротивление ограждения, м² · К/Вт, $R = \sigma/\lambda$ ; $\sigma$ — толщина слоя или однородного ограждения, м; $\lambda$ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(мк.).

Коэффициент теплопроводности материала не является постоянной величиной даже для одного и того же материала. Его величина зависит от плотности материала, его влажности, влажностного режима помещения и зоны влажности, в которой находится здание.

Чем больше плотность материала, тем меньше в нем воздушных пор, являющихся плохим проводником теплоты, тем выше коэффициент его теплопроводности. Чем больше влажность материала, тем больше воздушные поры заполняются водой, теплопроводность которой примерно в 25 раз больше теплопроводности неподвижного воздуха, тем выше коэффициент теплопроводности материала. Аналогично на теплопроводность материала влияет повышение влажности воздуха внутри помещения и снаружи (зоны влажности).



Минимальное значение коэффициентов теплопроводности материалов наружных ограждающих конструкций соответствует сухому или нормальному влажностному режиму помещений в сухой зоне влажности, а также сухому влажностному режиму помещений в нормальной зоне влажности. Для этих условий расчетную величину $\lambda$ принимают по данным СНиП II-3-79 (приложение 3) при условии эксплуатации А. При других условиях эксплуатации зданий расчетное значение $\lambda$ принимают по той же таблице СНиПа при эксплуатации Б.

Если требуется определить часовую передачу теплоты $Q_б$ через определенную площадь ограждения $F$, то она может быть выражена как произведение $F \cdot g$, т. е.

$$Q_б = F_в(r_в - r_н)\ \lambda/\sigma.$$

Если ограждающая конструкция состоит из нескольких разнородных слоев, то ее сопротивление теплопередаче выражается суммой термических (тепловых) сопротивлений ее отдельных слоев:

$$\sum Ri = R_1 + R_2 + \ldots + R_n = \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \ldots \frac{\sigma_n}{\lambda_n}.$$

## 7.2. Теплоустойчивость и тепловая инерционность ограждения

Температура наружного воздуха испытывает колебания в течение суток и более длительных периодов. Если ограждения легкие (стена из асбестоцементных листов), эти колебания будут почти такими же и внутри ограждаемого помещения. При массивных ограждениях (стена в два кирпича) колебания температуры внутри помещения будут во много раз меньше колебаний температуры наружного воздуха, т. е. амплитуда колебаний температуры в толще ограждения будет постепенно уменьшаться (затухать) по мере приближения к внутренней поверхности ограждения. Это свойство ограждающей конструкции сохранять относительное постоянство температуры на ее внутренней поверхности при колебании наружной температуры и, следовательно, колебании вели-

чины теплового потока называется *теплоустойчивостью ограждения*, которая в свою очередь определяется его массивностью.

Массивность характеризуется показателем тепловой инерции ограждения:

$$Д = R_1S_1 + R_2S_2 + \dots R_nS_n,$$

где $R_1$, $R_2$, $R_n$ — термические (тепловые) сопротивления слоев ограждения; $S_1$, $S_2$, $S_n$ — коэффициент теплоусвоения материалов этих слоев (СНиП II-3-79, приложение 3).

По величине $Д$ ограждения делятся на легкие ($Д$ до 4), средней массивности ($Д$ от 4 до 7), массивные ($Д$ от 7,1 и выше).

Массивность ограждения, определяемую его характеристикой тепловой инерции, учитывают при выборе расчетной зимней температуры наружного воздуха для вычисления требуемого сопротивления теплопередаче. Для массивных ограждений расчетную зимнюю температуру принимают равной средней температуре наиболее холодной пятидневки, для легких — средней температуре наиболее холодных суток, а для ограждений средней массивности — равной средней из этих двух значений.

## 7.3. Минимальное допустимое требуемое сопротивление теплопередаче ограждений

Для наружных ограждающих конструкций отапливаемых зданий требуемое минимальное сопротивление теплопередаче $R_0^{тр}$ (в м²К/вт) вычисляют согласно СНиП II-3-79 по формуле

$$R_0^{тр} = \frac{(t_в - t_н)nв}{\Delta t_н} R_в,$$

где $t_в$ и $t_н$ — расчетные температуры внутреннего наружного воздуха, которые принимаются в соответствии с указанием СНиПа и технологическими нормами данного производства, $К$; $n$ — коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждения относительно наружного воздуха (для наружных стен, бесчердачных покрытий и перекрытий над подъездами $n = 1$, для чердачных перекрытий $n = 0{,}9$; для перекрытий над холодными подпольями $n = 0{,}75$ и над неотапливаемыми подвалами $n = 0{,}60$); $в$ — коэффициент, зависящий от массы и качества тепловой изоляции (при теплоизоляции из материалов с объемной массой менее 400 кг/м³ $в = 1{,}1$; при теплоизоляции, подверженной уплотнению, деформации или усадке, независимо от ее объемной массы $в = 1{,}2$); $\Delta t^н$ — нормируемый перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью ограждающей конструкции; $R_в$ — сопротивление теплопередаче внутренней поверхности конструкции, м²К/Вт.



Найденное по этой формуле сопротивление теплопередаче обеспечивает отсутствие конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе помещения, на внутренней ограждающей поверхности конструкции. Однако необходимо определить, насколько близка эта величина к экономически оптимальному сопротивлению теплопередаче данной конструкции $R_{э.\,опт}$. В СНиП II-3-19 изложены методические указания для более точного приближения действительного сопротивления теплопередаче $R_0$ к требуемому $R_0^{тр}$ и экономически целесообразному его значению $R_{э.\,опт.}$, т. е. получить примерное равенство $R_0 \approx R_{э.\,опт.}$. При этом минимально допустимым остается $R_0^{тр}$. Отсюда следует, что если $R_{э.\,опт.}$ окажется меньше $R_0^{тр}$, то толщину однослойной конструкции (например, наружной кирпичной стены) или толщину теплоизоляционного слоя многослойной конструкции (например, многослойного покрытия) рассчитывают по $R_0^{тр}$.

Требуемую толщину теплоизоляционного слоя (утеплителя) биз (в м) определяют по формуле

$$\text{биз} = \lambda_{из}\left[R_0^{тр} - \left(R_в + \sum R_i + R_н\right)\right],$$

где $\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м.к.); $R_0^{тр}$ — требуемое минимально допустимое сопротивление теплопередаче конструкции, м² · К/Вт; $R_в$ и $R_н$ — сопротивление теплопередаче внутренней и наружной поверхности конструкции, м² · К/Вт; $\sum R_i$ — сумма термических (тепловых) сопротивлений всех слоев конструкции, за исключением определяемого теплоизоляционного слоя, м² · К/Вт.

Для установления правильного температурного влажностного режима в процессе эксплуатации необходимо уметь определять не только сопротивление всей конструкции теплопередаче и отдельных слоев, но и вычислять температуру на ее поверхностях и на

границах между отдельными слоями. Эти вычисления выполняют по формулам:

1) на внутренней поверхности ограждения

$$\gamma_в = t_в - \frac{t_в - t_н}{R_o} R_в;$$

2) на внутренней поверхности любого слоя конструкции $t_n$ (считая от внутренней поверхности ограждения)

$$t_n = t_в - \frac{t_в - t_n}{R_o}\left(R_в + \sum_{n}^{n-1} R_i\right),$$

где $\sum_{n}^{n-1} R_i$, — сумма термических сопротивлений всех предыдущих слоев (считая от внутренней поверхности), м²К/Вт.

Сумму этих сопротивлений и двух сопротивлений теплопередаче $R_в$ и $R_н$ называют общим сопротивлением теплопередаче ограждающей конструкции; оно выражается формулой

$$R_o = R_в + R_1 + R_2 + ... + R_n + R_н =$$

$$= \frac{1}{\alpha_d} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + ... + \frac{\sigma_н}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_н}.$$

Затем теплота от поверхности ограждающей конструкции передается конвекцией и излучением наружному воздуху, что выражается коэффициентом $\alpha_н$, являющимся суммой коэффициентов конвекции $\alpha_к$ и лучеиспускания $\alpha_л$, т. е. $\alpha_н = \alpha_к + \alpha_л$.

Количество теплоты, передаваемой наружной поверхностью ограждения наружному воздуху $Q_н$ (в Вт), выражается формулой

$$Q_н = \alpha_н F(\tau_н - t_н),$$

где $\alpha_н$ — коэффициент теплообмена (теплопередачи) у наружной поверхности ограждения, Вт/(м² · К); $F$ — площадь поверхности ограждения, м²; $\tau_н$ — температура наружной поверхности ограждения, °С; $t_н$ — расчетная температура наружного воздуха, °С.

При установившемся процессе передачи теплоты через ограждающую конструкцию будет иметь место равенство

$$Q_в = Q_б = Q_н = Q_0 = KF(t_в - tH),$$

где $K$ — коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м²К).



Для однослойной конструкции он может быть выражен формулой

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_н}\right)^{-1},$$

для многослойной

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_н} + \sum\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н}\right)^{-01}.$$

Коэффициент $K$ является величиной, обратной сопротивлению теплопередаче ограждающей конструкции $r_o$, и выражает мощность теплового потока, который проходит через 1 м² ограждения, имеющего толщину σ и теплопроводность материала α, при разности температур воздуха $t_в - t_н$, равной 1°С.

Для помещений, в которых недопустим конденсат на внутренней поверхности ограждений, проверяют наружные ограждения на конденсацию. С этой целью вычисляют температуру внутренней поверхности ограждения и сравнивают ее с точкой росы воздуха в помещении. Вычисленная температура должна быть выше точки росы на 1 ± 2°С. В противном случае необходимо утеплить конструкцию, т. е. увеличить ее сопротивление теплопередаче.

## 7.4. Тепловые потери зданий

В холодный и переходный периоды года здания и сооружения с положительными температурами внутреннего воздуха, превышающими температуру наружного воздуха, охлаждаются за счет расхода теплоты через ограждающие конструкции, на нагревание воздуха, поступающего через открываемые ворота, двери и другие проемы, а также за счет инфильтрации (просачивания) через различные неплотности в ограждающих конструкциях. Тепловые потери зданий через ограждающие конструкции можно восполнить в холодный период года за счет теплоты, выделяемой технологическим оборудованием, нагретыми материалами, а также вследствие инсоляции. Эти расходы теплоты называют тепловыми потерями зданий и делят на основные и добавочные.

Основные потери теплоты $Q_{осн}$ определяют суммированием потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции:

$$Q_{осн} = F_n(t_в - t_н)/R_o,$$

где $F$ — расчетная площадь ограждающей конструкции, м².

Добавочные потери теплоты $Q_{доб}$ определяют в долях единицы или в процентах от основных потерь по СНиП 2.04.05-86 «Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха». Так, для ограждающих конструкций, обращенных на север, восток, северо-восток, северо-запад, добавочные потери теплоты принимают равными 10%, на юго-восток и запад — 5% от основных. Если добавочные потери теплоты для данного ограждения устанавливают по направлениям инфильтрации воздуха, то их суммируют и добавляют к основным потерям этой ограждающей конструкции. Общие тепловые потери $Q_{т.п.}$ (в Вт) определяют как сумму основных $Q_{осн}$ и добавочных $Q_{доб}$ потерь:

$$Q_{т.п.} = Q_{осн} + Q_{доб} = Q_{осн} + mQ_{осн}.$$

Для поддержания температуры воздуха в помещении на данном уровне должно соблюдаться равенство $Q_{от} + Q_{т.в.} = = Q_{т.п.}$, которое выражает тепловой баланс помещения. Отсюда можно определить мощность нагревательных приборов отопления $Q_{т.п.} = Q_{т.п} - Q_{т.в}$.

За счет использования тепловыделений оборудования $Q_{т.в.}$ можно уменьшить расходы на отопление. При этом тепловыделение может превышать тепловые потери или быть равными им. В этом случае предусматривают дежурное отопление для поддержания в помещении температуры воздуха на уровне 5 °С, которое будет работать только в период остановки оборудования, выделяющего теплоту, если это необходимо и допустимо по условиям технологии и эксплуатации.

## 7.5. Микроклимат помещений. Влияние влаги на качество ограждений

Влага является активным ускорителем процесса изменения структуры строительного материала. При некачественной гидроизоляции фундаментов влага поднимается по капиллярам материала и при эксплуатации поглощается из воздушной среды. Поверхность наружных стен увлажняют дожди.



Степень влияния влажности на теплотехнические качества и долговечность ограждения зависит от материала и конструктивных особенностей ограждения, температурно-влажностного режима помещений и насыщенности влагой внешней среды. Влажность материалов, применяемых при строительстве, не должна превышать пределов, установленных СНиПом.

Правильный выбор конструкции и материалов с учетом местных климатических условий и эксплуатационных требований, а также строгое соблюдение правил эксплуатации значительно удлиняют срок службы здания и его элементов.

Способность материала или конструкции сохранять свои качества при воздействии влаги и колебаниях положительной температуры называют *влагостойкостью*; при воздействии влаги и колебаниях отрицательных температур — *морозостойкостью*, а при воздействии влаги, содержащей растворенные в ней агрессивные вещества, — *стойкостью против коррозии*.

При действии агрессивных веществ в виде тумана или газа чаще всего наблюдается поверхностная местная коррозия, при которой разрушаются наиболее слабые участки конструкции, а большая часть поверхности подвергается неглубокому поражению (шелушение поверхности бетона с выпадением песчинок). В конструкции, выполненной из различных материалов, в первую очередь разрушается менее стойкий материал (коррозия приобретает избирательный характер). Опасным видом коррозии является образование глубоких трещин при наличии во влаге солей: в порах и капиллярах образуются кристаллы, которые разрывают материал. Не менее опасной является коррозия арматуры в железобетоне, так как при этом коррозийная пленка на поверхности арматуры нарушает сцепление между сталью и бетоном, т. е. нарушается основной принцип проектирования и самой работы железобетона.

При замерзании конструкции, насыщенной влагой, формирующийся лед создает дополнительное давление, нарушающее связь между молекулами материала, особенно в наиболее охлаждаемых местах конструкции (углы, кромки и т. п.); определенные влажностные и температурные условия благоприятствуют развитию грибков, разрушающих деревянные конструкции. Таким образом, избыток влаги почти всегда ухудшает физико-механические и теплотехнические качества ограждения.

Тепловой и влажностный режим в помещении влияет и на жизнедеятельность людей. Большая относительная влажность воздуха помещения при высокой температуре снижает возможность эффективного испарения и ухудшает тепловое состояние человека. Сочетание высокой температуры и низкой влажности вызывает у человека неприятное ощущение в дыхательных путях, ухудшая фильтрационную способность слизистой оболочки.

Внешними признаками нарушения нормального температурно-влажностного режима ограждений являются резкие колебания их температуры в морозные и ветреные дни, плесень на предметах (особенно на обуви) и на поверхности ограждения, затхлость и сырость воздуха, длительное сохранение запахов в помещении, дутье из окон, пятна на белых поверхностях.

Вопросы микроклимата в здании требуют постоянного внимания эксплуатационника. Нельзя ограничиваться только подачей в помещение нужного количества тепла, нужно следить за исправностью окон и входных дверей, так как неплотности в них не только ведут к потере тепла, но и приводят в движение внутренний воздух. Оптимальными условиями для жизнедеятельности человека являются относительная влажность воздуха, равная 45%, температура — 18—20°С и скорость воздуха — 5—10 см/с. Отступление от этих нормативов приводит к нарушению теплового баланса человека.

Влажностный режим помещений в зимний период зависит от относительной влажности $\varphi_в$ и температуры внутреннего воздуха ($t_в$). В соответствии со СНиПами температурно-влажностный режим помещений при $t_в$ = 12—24°С различают: сухой, если $\varphi_в < 50\%$; нормальный, если $51\% \leqslant \varphi_в \leqslant 60\%$; влажный, если $61\% \leqslant \varphi_в \leqslant 75\%$, и мокрый, если $\varphi_в > 75\%$.

Влажностный режим конструкции в значительной степени зависит от режима содержания помещения. Попытка усилить отопление за счет включения газовых кухонных плит приводит к чрезмерной сухости воздуха и насыщает его токсическими продуктами сгорания газа. Большие стирки, сушка белья в помещении и мытье полов пагубным способом перенасыщают воздух влагой.

Отсутствие внимания к должному содержанию приводит к увлажнению стен и нарушению расчетного температурно-влажностного режима.



В новых крупноблочных и крупнопанельных домах, стены которых имеют значительную начальную влажность, в первые годы эксплуатации рекомендуется повышать температуру внутреннего воздуха до 20—22°С, не ставить вплотную к наружным стенам и к наружным углам громоздкую мебель и не закрывать наружные стены коврами.

Защита ограждающих конструкций от внешней атмосферной влаги достигается подбором влаго- и морозостойкости, а при необходимости и стойких к коррозии материалов, а также конструктивными приемами, которые необходимо рассмотреть в стадии проектирования. Возможность увлажнения конструкций влагой, находящейся в воздухе помещений, проверяется расчетом ограждения на возможность образования конденсата на внутренней поверхности и в толще конструкции.

Воздух всегда содержит некоторое количество влаги. Количество влаги в 1 м воздуха называется его *абсолютной влажностью*. Наличие влаги в воздухе в виде водяных паров обусловливает самостоятельное (парциальное) их давление, измеряемое в кПа. Это давление называют *упругостью водяного пара* и обозначают буквой *l*. При определенном атмосферном давлении и температуре упругость водяного пара, поступающего в данный объем воздуха извне, увеличивается только до определенного предела, выше которого наступает насыщение воздуха влагой и образуется конденсат. Эта максимальная упругость обозначается буквой *E* и измеряется в тех же единицах, что и *l*. Чем выше температура, тем больше *E*:

| t, °C | +4 | +6 | +8 | +10 | +12 | +14 | +16 | +18 | +20 | +22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E кПа | 8,1 | 9,3 | 10,1 | 12,3 | 14,02 | 15,98 | 18,17 | 20,6 | 23,4 | 26,5 |

Значение *E* приобретает смысл тогда, когда указана температура воздуха.

Насыщенность воздуха влагой определяется относительной влажностью $\varphi_в$ и выражается в процентах:

$$\varphi_в = (l/E)100.$$

При повышении температуры воздуха его относительная влажность уменьшается, а при понижении увеличивается. При некоторой температуре значение *E* будет равно *l* и относительная влажность достигнет 100%. Температура воздуха, при которой относи-

тельная влажность его достигнет 100%, называется *точкой росы* и обозначается $t_р$. При дальнейшем понижении температуры избыточная влага будет терять газообразность и образует конденсат. Необходимость расчета на конденсат в зависимости от режима помещения определяется СНиПом.

При необходимости исключить образование конденсата в толще конструкции прибегают к различным мерам: устраивают пароизоляцию на внутренней поверхности стены, окрашивают стены масляной краской, облицовывают глазурованной плиткой, покрывают лаками, битумами, смолами, комбинацией из таких материалов.

## 7.6. Примеры теплотехнического расчета ограждающих конструкций

***Пример 1.*** Проектируется жилой дом в Москве из семищелевого кирпича на тяжелом растворе с внутренней штукатуркой на известковом растворе; толщина штукатурки 20 мм. Дано: $t_в = 18°C$, $\varphi_в = 55\%$; зимняя расчетная температура воздуха наиболее холодных суток –32 °С, наиболее холодной пятидневки — –25°С (СНиП 2.01.01-82). Требуется определить приемлемую толщину стены по теплотехническим параметрам.

***Решение:***

1. Определяем $R^{тр}_0$ (по формуле $R^{тр}_0 = \frac{n(t_в - t_н)}{\Delta t^н \alpha_в}$), приняв предварительно ограждение средней массивности. Находим по СНиПу $t_н = 6°C$; $n = 1$; $\alpha_в = 8{,}7$ Вт/(м² °С) и $\alpha_н = 23$ Вт/(м² °С). Вычисляем среднюю температуру наружного воздуха:

$$t_н = [-25 + (-32)]/2 = -28{,}5\ °C,$$

тогда

$$R^{тр}_0 = [18 - (-28{,}5)] / (6 \cdot 8{,}7) = 0{,}89\ м^2\ °C/Вт.$$

2. Определяем требуемую толщину кирпичной кладки ($\delta_2$), принимаем $R_0 = R^{тр}_0$ (как предельно допустимое условие). Согласно формуле ($R_0 = 1/\alpha_в + R_к + 1/\alpha_н$) получаем

$$R_0 = 1/\alpha_в + R_1 + R_2 + 1/\alpha_н,$$

из формулы ($R = \delta/\lambda$) следует $R_1 = \delta_1/\lambda_1$ и $R_2 = \delta_2/\lambda_2$.



Выпишем из СНиПа характеристики материалов по группе Б, так как влажностный режим помещения нормальный ($\varphi_в = 55\%$) и зона влажности (для Москвы) — нормальная; штукатурный раствор — $\gamma_0 = 1600$ кг/м³, $\lambda_1 = = 0{,}81$ Вт/(м°С), $S_1 = 9{,}76$ Вт/(м²°С); кирпичная кладка $\gamma_0 = 1600$ кг/м³, $\lambda_2 = 0{,}64$ Вт/(м°С), $S_2 = 8{,}48$ Вт/(м²° С).

Обозначив $\delta_2 = x$ и подставив найденные значения в приведенное выражение, получим

$$1/8{,}7 + 0{,}02/0{,}81 + x/0{,}64 + 1/23 = 0{,}89,$$

откуда $x = 0{,}453$ м.

Ближайшая большая толщина кирпичной кладки 510 мм, которую и принимаем для данного случая.

3. Проверяем фактическую инерционность при толщине кирпичной кладки $\delta_2 = 0{,}51$ м по величине

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 : R_1 = 0{,}02/0{,}81 = 0{,}024;$$

$$R_2 = 0{,}51/0{,}64 = 0{,}797;$$

$$D = 0{,}24 \cdot 9{,}76 + 0{,}797 \cdot 8{,}48 = 6{,}9 < 7$$

— ограждение средней инерционности. Если бы оказалось, что инерционность, принятая предварительно, не подтвердилась, то надлежало бы провести перерасчет с учетом инерционности (фактической) данного ограждения.

В организациях, ведающих эксплуатацией зданий, может возникнуть вопрос о необходимости проверки теплозащитных качеств ограждения, что выполняется в следующем порядке: принимают по СНиПу соответствующие данному случаю характеристики материалов; определяют по формуле $(R_0 = 1/\alpha_в + R_к + 1/\alpha_н)R_0$, и по формуле $(D = = R_1 S_1 + R_2 S_2 + ... + R_n S_n)$ инерционность и принимают соответствующую зимнюю расчетную температуру наружного воздуха; по формуле $R^{тр}_0 = \frac{n(t_в - t_н)}{\Delta t_н \alpha_в}$ определяют $R^{тр}_0$ и сравнивают его с действительным сопротивлением теплопередаче данной конструкции ($R_0 \geqslant R^{тр}_0$).

Рассмотрим еще один случай теплотехнического расчета: по данным предыдущего примера проверим возможность образования конденсата на внутренней поверхности ограждения:

$t_в = +18°C$; $t_н = -29°C$; $\varphi_в = 55\%$; $\alpha_в = 8{,}7$ Вт/(м² °С);

$$R_0 = 1/8{,}7 + 0{,}02/0{,}81 + 0{,}51/0{,}64 + 1/23 = 0{,}98 \text{ м}^2\,^\circ\text{С/Вт};$$

$$\gamma_в = 18 - \frac{18-(-29)}{0{,}98 \cdot 8{,}7} = 12{,}5^\circ\text{С}.$$

По приведенным ранее данным находим, что внутренней температуре $t_в = 18^\circ$С соответствует предельная упругость водяного пара Е = 20,6 кПа. Найдем действительную упругость водяного пара *(е)* при $\varphi = 55\%$;

$$e = 20{,}6 \cdot 0{,}55 = 11{,}3 \text{ кПа}.$$

Конденсат начинает выделяться при $e = E$. По значению предельной упругости водяного пара при Е = 11,3 кПа находим $t$ = = 8,3 °С, которая в данном случае будет температурой точки росы ($t_р$). Так как 12,5 > 8,3, то конденсата на внутренней поверхности не будет. В противном случае меняют материалы или конструкцию в целом.

***Пример 2.*** Необходимо запроектировать предприятие для пищевой (перерабатывающей) промышленности в г. Самаре; расчетные температуры наружного воздуха (средняя наиболее холодной пятидневки $t_н^п = -33^\circ$С, наиболее холодных суток $t_н^с = -37^\circ$С), воздуха в помещении $t_в = 16^\circ$С, $\varphi = 60\%$; стеновой материал — кладка из сплошного керамического кирпича на цементно-песчаном растворе с внутренней штукатуркой из того же раствора толщиной 15 мм.

***Решение:*** Расчет толщины наружной стены.

1. Предварительно принимаем кладку в два кирпича 510 мм. Согласно СНиП находим, что такая конструкция средней массивности, следовательно, расчетная температура наружного воздуха равна средней из температур $t_н^п$ и $t_н^с$, т. е. –35 °С, $\Delta t^п = 8$.

Находим требуемое минимально допустимое сопротивление теплопередаче стены:

$$R_0^{тр} = \frac{n_в(t_в - t_н)}{\Delta t^н} R_в = \frac{1 \cdot 1(16+35)}{8} 0{,}116 = 0{,}739 \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

Проверим соответствие действительного сопротивления теплопередаче наружной стены этому значению $R_0^{тр}$



$$R_о = R_в + R_{шт} + R_{кл} + R_н = R_в + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + R_н =$$

$$= 0{,}116 + \frac{0{,}015}{0{,}58} + \frac{0{,}51}{0{,}56} + 0{,}043 = 1{,}095 \text{ м}^2\text{К/Вт},$$

что больше $R_0^{тр}$ на 24%, т. е. стена отвечает теплотехническим требованиям — конденсации водяных паров на ее внутренней поверхности не будет. К тому же уменьшение толщины стены недопустимо по конструктивным соображениям.

2. Расчет толщины слоя теплоизоляции покрытия. Согласно СНиП (приложение 4) находим, что бесчердачные покрытия относятся к легким конструкциям, и поэтому в качестве расчетной зимней температуры наружного воздуха принимаем среднюю температуру наиболее холодных суток $t_н^с = -37^\circ$С.

Нормируемый температурный перепад для покрытия $\Delta t^н = 7^\circ$С. Сопротивление теплопереходу у внутренней поверхности покрытия $R_в = 0{,}116$ м² К/ВТ, $n = 1$, $в = 1{,}2$.

По формуле находим:

$$R_0^{тр} = \frac{1(16+37)1{,}2}{7} 0{,}116 \approx 1{,}054 \text{ м}^2\text{К/Вт},$$

а толщину теплоизоляционного слоя определяем:

$$\delta_{из} = 0{,}087[1{,}054 - (0{,}116 + 153 + 0{,}043)] \approx 0{,}065 \text{ м} \approx 65 \text{ мм}.$$

$$\sum R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 =$$

$$= 0{,}058 + 0{,}029 + 0{,}011 + 0{,}02 + 0{,}035 = 0{,}153 \text{м}^2 \text{ К/Вт}.$$

Сопротивление рулонной кровли четыре слоя рубероида (10 мм):

$$R_1 = \frac{\delta}{7} = 0{,}01 : 0{,}17 = 0{,}058 \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

Сопротивление армированной стяжки (50 мм):

$$R_2 = 0{,}05 : 1{,}69 = 0{,}029 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}.$$

Сопротивление гидроизоляции (один слой пергамина; 2,0 мм):

$$R_3 = 0{,}002 : 0{,}17 = 0{,}01\ 1 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}.$$

Сопротивление пароизоляции (один слой рубероида на битумной мастике; 3,0 мм):

$$R_4 = 0{,}003 : 0{,}12 = 0{,}02 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}.$$

Сопротивление железобетонной плиты покрытия (60 мм):

$$R_s = 0{,}06 : 1{,}69 = 0{,}035 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}.$$

Плиты жесткие минераловатные выпускаются толщиной 40, 50 и 60 мм. Принимаем толщину слоя утеплителя 80 мм (2 · 40 мм), его термическое сопротивление составит

$$R_y = \frac{\delta_y}{\lambda_y} = \frac{0{,}08}{0{,}087} = 0{,}919 \text{ м}^2\text{К/Вт}.$$

Тогда $R_0 = R_в + \sum R_i + R_н = 0{,}116 + 1{,}072 + 0{,}043 = 1{,}231$ м² К/Вт.

Это больше $R_0^{тр}$ только на 16%, поэтому требуется проверить конструкцию покрытия на возможность образования конденсата на его внутренней поверхности.

3. Проверка покрытия на возможность образования конденсата на его внутренней поверхности.

При запасе в 1—2°С температура внутренней поверхности покрытия должна быть равна 9—10°С .

По формуле находим:

$$\tau_в = 16 - \frac{16 + 37}{1{,}231} 0{,}116 = 11{,}01°\text{C}.$$

Так как 11,01°С больше 10°С, следовательно, на внутренней поверхности покрытия образования конденсата не будет.

### ? *Вопросы для самопроверки*

1. *Каково основное назначение строительной теплотехники?*
2. *Дайте определение теплоустойчивости и тепловой инерционности ограждения.*
3. *Назовите способы определения минимально допустимых сопротивлений теплопередаче ограждений.*
4. *Как определить тепловые потери зданий?*
5. *Сущность определения «микроклимат помещений»?*
6. *Каково влияние влаги на качество ограждений?*
7. *Выполните простейший теплотехнический расчет.*



# *Глава 8.* ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ЗДАНИЙ

## 8.1. Назначение санитарно-технических устройств

Задачи повышения производительности труда, нормальной жизнедеятельности человека и, как следствие, качества продукции неразрывно связаны с созданием оптимальных условий труда и ведения технологических процессов. Назначение санитарно-технических устройств в том и состоит, чтобы максимально содействовать созданию благоприятных условий для работающих в производственных помещениях (аналогично для жилых и общественных зданий).

В состав санитарно-технических устройств входят системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и канализации. Первые три предназначены для поддержания в рабочей зоне (и обслуживаемой) производственных помещений требуемых по санитарным нормам метеорологических условий (микроклимата) — температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся рабочие места.

Требуемая степень воздействия санитарно-технических систем на микроклимат зависит от периода года. Различают холодный, теплый и переходный периоды года. К теплому относят период с температурой наружного воздуха 10 °С и выше, к холодному и переходному — с температурой ниже 10 °С. Микроклимат в рабочей зоне нормируется в разные периоды года в зависимости от категорий работы, назначения помещения, избытков явной теплоты.

Все выполняемые на предприятиях работы по тяжести подразделяют на три категории: легкие (затраты энергии до 175 Вт); средней тяжести (от 175 до 290 Вт); тяжелые (более 290 Вт).

Если в производственном помещении имеются источники выделения теплоты (технологическое оборудование, нагретые материалы, инсоляция, люди), то выделяемая ими теплота в холодный период года может быть использована для восполнения тепловых потерь через ограждающие конструкции. В связи с этим умень-

шают мощность отопительной системы, сокращают расходы на отопление (дежурное отопление). В теплый период года такой возможности нет и поэтому прибегают к различным мероприятиям по уменьшению тепловых потерь: герметизации технологического оборудования, устройству местных отсосов от него; теплоизоляции оборудования, установок и трубопроводов. Однако и после этих мероприятий некоторое количество теплоты будет поступать в производственное помещение и воздействовать на температуру воздуха в нем. Эта теплота (за вычетом теплопотерь через ограждающие конструкции) считается избыточной. Таким же способом определяют избытки явной теплоты и для холодного периода, т. е. явной является теплота, воздействующая на изменение температуры воздуха в помещении. Избытки явной теплоты в количестве, не превышающем 84 кДж/(м$^3$ч), считаются незначительными; при большем количестве они будут значительными.

Для производственных помещений с незначительным выделением явной теплоты (84 кДж/(м$^3$ч) и менее допустимые параметры воздуха в рабочей зоне при работе средней тяжести в холодный и переходный периоды года составляют $t_в$ = 15—20°С. Относительная влажность $\varphi_в$ не более 75% и скорость $v_в$ не более 0,5 м/с. В теплый период года $t_в$ не должна превышать более чем на 3°С температуру наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 28°С; $\varphi_в$ при $t_в$ = 28 °С не более 55% и далее с понижением $t_в$ на 1°С $\varphi_в$ равняется соответственно 60, 65, 70%, а при $t_в$ = 24°С и ниже $\varphi_в$ не более 75%; допустимое значение $v_в$ = 0,3—0,7 м/с.

В холодный период года температура воздуха в отапливаемых помещениях производственных и вспомогательных зданий в нерабочее время должна предусматриваться равной 5°С, если это необходимо или допустимо по условиям технологии и эксплуатации. При этом проектная мощность отопительной системы должна обеспечивать достижение нормальной температуры в этих помещениях к началу рабочего времени.

В зависимости от относительной влажности внутреннего воздуха при его температуре от 12 до 24°С влажностный режим производственных помещений считается сухим при $\varphi_в$ < 50%; нормальным — при $\varphi_в$ = 50—60%; влажным — при $\varphi_в$ = 61—75%; мокрым — при $\varphi_в$ > 15%.



## 8.2. Классификация систем отопления

Системы отопления предназначены для восполнения тепловых потерь здания в холодный период года. Отопительные системы в зависимости от радиуса действия подразделяют на местные и центральные. Каждая отопительная система включает в себя три основные части: генератор тепла, теплопроводы, греющие поверхности.

К местным системам относят различные устройства, в которых все три части объединены и расположены в отапливаемом помещении (кирпичные и чугунные печи, газовые и электрические нагреватели, электромасляные радиаторы и т. п.). Местные системы могут быть расположены так, чтобы можно было отапливать одновременно два или три смежных помещения.

В центральных системах все три части разделены. От генератора тепла — котла, расположенного в котельной, по теплопроводам с помощью того или иного теплоносителя тепло транспортируется во все здания и помещения этого предприятия и поступает в расположенные в них нагревательные приборы, греющие поверхности которых отдают тепло воздуху помещений. При наличии станции ТЭЦ предприятие, поселение может пользоваться централизованным теплоснабжением.

В качестве теплоносителя в центральных системах могут служить вода, пар, воздух и (условно) электрический ток. Вид теплоносителя определяет название отопительных систем — водяные, паровые, воздушные. Кроме того, панельные системы отопления, в которых теплоносителем является вода или воздух.

## 8.3. Конструктивные схемы систем отопления. Водяные системы отопления

Теплоноситель (вода), применяемый в этих системах, безвреден и позволяет легко регулировать температуру воздуха в отапливаемых помещениях. Температуру воды, циркулирующей в системе, изменяют в зависимости от температуры наружного воздуха (чем выше температура наружного воздуха, тем ниже температура циркулирующей в системе воды).

Системы различают по типу циркуляции воды в них (гравитационные и насосные), по схеме расположения разводящих трубо-

проводов (с нижней и верхней разводкой), по способу присоединения нагревательных приборов (двухтрубные и однотрубные).

Гравитационные системы (с естественной циркуляцией воды) используют только для отопления небольших зданий с протяженностью трубопроводов не более 200 м. Объясняется это наличием незначительного напора для преодоления гидравлических сопротивлений в трубопроводах: при большей протяженности трубопроводов применяют насосные системы (с механической циркуляцией), радиус действия которых не ограничен.

Принципиальная схема двухтрубной системы с естественным побуждением показана на рис. 81, *а*.

Нагретая в котле вода поступает в главный стояк, затем в верхнюю разводящую магистраль, в присоединенные к ней горячие стояки, откуда по горячей подводке поступает в отопительные приборы. Здесь вода охлаждается, отдавая свою теплоту через стенки приборов воздуху помещения, и далее по обратной подводке, обратному стояку и обратной магистрали возвращается в котел.

Циркуляционное давление $P_ц$ (в Па) в системе обусловлено разностью между удельными весами охлажденной в приборе воды, заполнившей обратные трубопроводы, и горячей воды в котле и главном стояке:

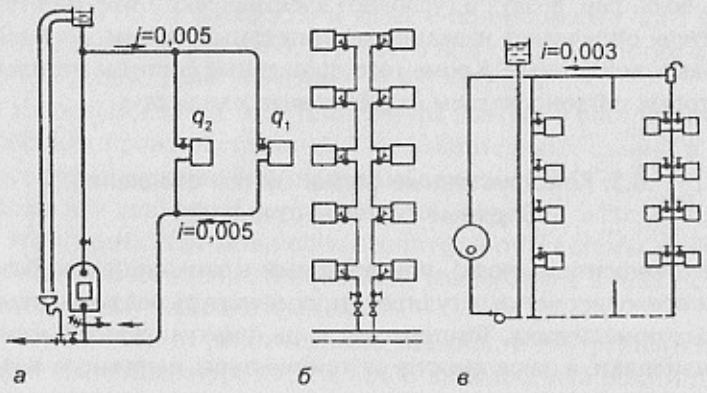



**Рис. 81.** Принципиальные схемы систем водяного отопления: *а — двухтрубная система с естественным побуждением и верхней разводкой; б — однотрубная с нижней разводкой; в — однотрубная с верхней разводкой*



$$P_ц = h_1(\gamma_o - \gamma_г),$$

где $h_1$ — расстояние по вертикали от оси котла до оси нагревательного прибора, м; $\gamma_o$ — удельный вес охлажденной воды (после отопительного прибора), Н/м$^3$; $\gamma_г$ — удельный вес горячей воды, поступающей в главный стояк из котла, Н/м$^3$.

Из формулы видно, что с увеличением расстояния между осями котла и нагревательного прибора увеличивается естественный циркуляционный напор, поэтому целесообразно размещать котел в подвальном помещении. Если такая система отопления будет присоединена к централизованному теплоснабжению через водоводяной и пароводяной бойлер, то сказанное о заглублении котла будет справедливо и для бойлера.

Чтобы избежать образования воздушных «пробок» в отдельных участках системы, горячую магистраль прокладывают с уклоном в сторону расширительного сосуда. Подводку к нагревательным приборам в этом случае осуществляют в сторону подающих стояков. Это способствует выходу воздуха из системы (при первоначальном заполнении ее водой и в процессе эксплуатации) в расширительный сосуд, а оттуда в атмосферу.

Уклоны полностью позволяют опорожнить систему при ремонте и промыть ее перед началом отопительного сезона.

Расширительный сосуд представляет собой металлический бак, сообщающийся с атмосферным воздухом и с магистралью системы. Его устанавливают в самой высокой точке системы для выхода воздуха, компенсации теплового расширения воды (увеличение объема при нагревании), а также для частичного восполнения утечек воды и распределения давления в системе.

Преимуществами системы водяного отопления с естественной циркуляцией перед системой с механической циркуляцией являются бесшумность ее работы вследствие малой скорости движения воды в системе (0,1—0,3 м/с) и отсутствие насоса; недостатками — применение труб большого диаметра и заглубление бойлера. Двухтрубные системы отопления применяют в одно- и двухэтажных зданиях.

Водяные системы отопления с механической циркуляцией показаны на рис. 81, *б*, *в*. Их выполняют по однотрубной схеме с верхней и нижней разводкой.

Между прямыми и обратными подводками к приборам имеются смещенные от стояков замыкающие участки, по которым вода может проходить, минуя приборы. Поступление воды в приборы и в замыкающие участки регулируется трехходовыми кранами.

При однотрубной схеме обратные стояки отсутствуют, вода из горячего стояка поступает в отопительный прибор, охлаждается в нем и по выходе опять поступает в тот же стояк. Поэтому в отопительные приборы расположенных ниже этажей вода будет поступать с более низкой температурой. Чтобы компенсировать ее охлаждение, приборы на нижних этажах должны иметь большую поверхность, чем на верхних.

Для устройства системы по однотрубной схеме требуется меньшее количество труб, чем для двухтрубной, и, следовательно, однотрубные системы устанавливают в многоэтажных зданиях.

Принцип действия насосной системы (с принудительной циркуляцией воды) такой же, что и гравитационной, добавляется только дополнительный побудитель в виде насоса. Циркуляционный насос ставят на обратной магистрали между котлом или бойлером и местом присоединения к ней расширительного сосуда. Насос предназначен для преодоления гидравлических сопротивлений в системе, поэтому развиваемое им давление сравнительно невелико (10—30 кПа), оно определяется следующим расчетом.

Находят расчетное количество воды $\partial$ (в кг/ч), которое должно поступать в каждый отопительный прибор в соответствии с его теплоотдачей:

$$\partial = Q_{пр} / (t_г - t_0),$$

где $Q_{пр}$ — теплоотдача прибора, Вт; $t_г$ — температура горячей воды, поступающей в прибор, °С; $t_0$ — температура охлажденной воды, выходящей из прибора, °С.

Затем определяют количество воды, проходящей через каждый участок системы, и подбирают диаметры для наиболее неблагоприятного кольца схемы, исходя из допустимых скоростей движения воды по условию образования шума.

После этого рассчитывают потери давления на трение $R$ (в Па) по принятым диаметрам трубопроводов: $R = \lambda V^2/2d$ и в местных сопротивлениях $Z$ (в Па) по скоростям движения воды:

$$Z = \sum \varepsilon \gamma V^2 / 2g,$$



где $\lambda$ — коэффициент трения; $\gamma$ — удельный вес воды, Н/м³; $V$ — скорость движения воды, м/с; $g$ — ускорение свободного падения, м/с²; $d$ — диаметр трубопровода, м; $\sum\varepsilon$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений.

При этом для уменьшения шума при работе системы расчетная скорость движения воды в трубопроводах, прокладываемых в производственных зданиях, не должна превышать 3 м/с, а во вспомогательных зданиях и помещениях предприятия — 2 м/с.

Создаваемое насосом давление $p$ (в Па) должно быть равно или на 10—15 % больше суммы потерь давления в системе:

$$\rho_н \geq \sum (Rl = z),$$

где $R$ — потери давления на трение 1 м трубы; $l$ — длина участков труб, м; $z$ — потери давления в местных сопротивлениях, Па.

Для подбора насоса, кроме давления, необходимо знать его производительность $W$, она прямо пропорциональна тепловой мощности отопительной системы и обратно пропорциональна теплоемкости воды и разности ее температур до и после нагревательного прибора:

$$W = kQ_{от} / [c(t_г - t_о)],$$

где $Q_{от}$ — тепловая мощность системы, Вт; $c$ — удельная теплоемкость воды при среднем значении ее температуры в отопительном приборе, кДж/(кг·К); $k$ — коэффициент запаса, учитывающий изменение температуры в системе и погрешность в расчете, равный 1,1—1,2.

**Паровые системы отопления** бывают низкого (от 50 до 70 кПа) и высокого (более 70 кПа) давления, с верхней и нижней разводкой, одно- и двухтрубные, с самотечным возвратом конденсата (замкнутая система) и с перекачкой его насосом (разомкнутая система).

Замкнутую систему применяют только при размещении котла ниже отопительных приборов. Для облегчения стока конденсата от конденсационной линии ее прокладывают с уклоном не менее 0,003. Для обеспечения стока попутного конденсата, образующегося вследствие охлаждения паропровода, разводящий паропровод также прокладывают с уклоном в сторону движения пара.

В разомкнутой системе отопления пар из котла поступает в главный стояк, в магистральные трубопроводы, паровые стояки и

далее по ответвлениям в нагревательные приборы, где он охлаждается, отдавая скрытую теплоту парообразования через стенки прибора воздуху помещения, и конденсируется. Конденсат из приборов по конденсационной линии через конденсатоотводчик (конденсационный горшок) отводится в конденсатосборочный бак, откуда его перекачивают насосом в котел.

Чаще применяют системы низкого давления с верхней разводкой, двухтрубные с насосной перекачкой конденсата (при обслуживании нескольких зданий одной котельной).

Паровые системы высокого давления работают по тому же принципу, что и системы низкого давления.

Применение паровых систем отопления ограничено вследствие многих недостатков: отсутствует возможность качественного регулирования параметров теплоносителя; пыль, оседающая на поверхности приборов, пригорает с выделением оксида углерода; системы подвержены интенсивной коррозии (особенно конденсатопровода), а в трубопроводах бывают гидравлические удары и шум.

Преимуществами паровых систем по сравнению с водяными являются меньшие диаметры трубопроводов за счет высокого теплосодержания пара (1 г пара при конденсации отдает примерно 2,26 кДж, а 1 кг воды при охлаждении с 95° до 70°С — 0,105 кДж), простота устройства и небольшая стоимость монтажа системы.

Положительные свойства паровых и водяных систем хорошо сочетаются в комбинированных системах отопления.

Воздушные системы отопления нашли широкое применение благодаря возможности совмещать отопление помещения с вентиляцией, а также благодаря малой металлоемкости. Малая тепловая инерционность системы позволяет отключать ее в нерабочие смены, а затем к началу рабочей смены быстро получать требуемую температуру. В отапливаемые помещения подают воздух температурой 45–70°С (45°С — при выпуске воздуха в помещение на высоте около 3 м над уровнем пола, 70°С — при подаче на большей высоте). Воздушные системы могут работать в трех режимах: рециркуляционном, совмещенном с приточной вентиляцией и комбинированном.

В рециркуляционном режиме воздух после подогрева поступает в помещение и после охлаждения за счет теплопотерь помещения снова возвращается в воздухонагреватель (отверстие для притока наружного воздуха полностью закрыто). Количество воздуха, необходимого для отопления помещения $G_{возд}$ (в кг/ч), определяют по формуле

$$G_{возд} = Q_{от} / [c(t_{пр} - t_{в})],$$

где $Q_{от}$ — тепловая мощность системы, Вт; $c$ — удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·К); $t_{пр}$ — температура приточного воздуха, °С; $t_{в}$ — температура воздуха помещения, °С.



В режиме, совмещенном с приточной вентиляцией, отверстие для поступления наружного воздуха полностью открыто и через него в калорифер, а из калорифера в помещение поступает воздух. Температура приточного воздуха $t_{пр}$ (в °С)

$$t_{пр} = t_{в} + Q_{от}/(cO_{вент}),$$

где $O_{вент}$ — расход воздуха, необходимый по условию вентиляции, кг/ч.

В комбинированном режиме к наружному воздуху подмешивается теплый воздух из помещения. Расход подмешиваемого воздуха $O_{подм}$ (в кг/ч) можно определить, если ввести в расчет коэффициент подмешивания

$$\alpha = G_{подм}/G_{пар}, \text{ откуда } G_{подм} = \alpha G_{пар}.$$

Коэффициент подмешивания можно выразить через расчетные температуры воздуха:

$$\alpha = (t_{н.в.} - t_{пр.})/(t_{пр.} - t_{в.}),$$

где $t_{н.в.}$ — расчетная наружная температура воздуха по вентиляции, °С.

Принципиальная схема системы воздушного и вентиляционно-отопительного агрегатов показана на рис. 82.

У панельной системы отопления источниками теплоизлучений служат поверхности ограждающих конструкций (панели), в которые заделывают стальные трубы диаметром 25 мм. Они расположены на расстоянии около 20 мм от внутренних поверхностей конструкции. По трубам проходит горячая вода, служащая теплоносителем. Такие панели можно располагать горизонтально и вертикально в виде наружных стеновых панелей. Особенно целесообразно располагать нагревательные элементы из труб в подоконной части панелей (рис. 83). В этом случае кроме лучистой пе-

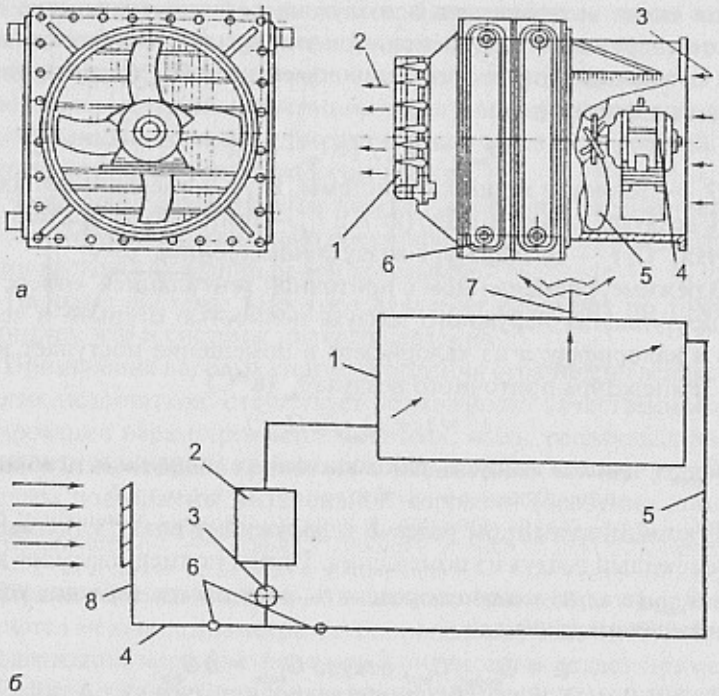



**Рис. 82.** Воздушное отопление:
*а — схема воздушно-отопительного агрегата: 1 — подвижная решетка для направления потока воздуха: 2 — выход теплого воздуха; 3 — выход воздуха; 4 — электродвигатель: 5 — вентилятор; 6 — калорифер; б — принципиальная схема воздушного отопления с механическим побуждением: 1— отапливаемое помещение; 2 — воздухонагреватель (калорифер); 3 — вентилятор; 4 — канал наружного воздуха; 5 — канал рециркуляционного воздуха; 6 — клапаны; 7 — вытяжная вентиляция; 8 — воздухозаборная шахта*

редачи теплоты будет создаваться конвективный восходящий поток теплого воздуха, который будет нейтрализовать ниспадающий поток холодного воздуха от окна. В подоконных панелях за нагревательными элементами укладывают теплоизоляцию для уменьшения передачи от них теплоты наружному воздуху.

Достоинства панельного отопления состоят в том, что оно не загромождает помещения нагревательными приборами, так как на вертикальных стеновых и горизонтальных потолочных панелях



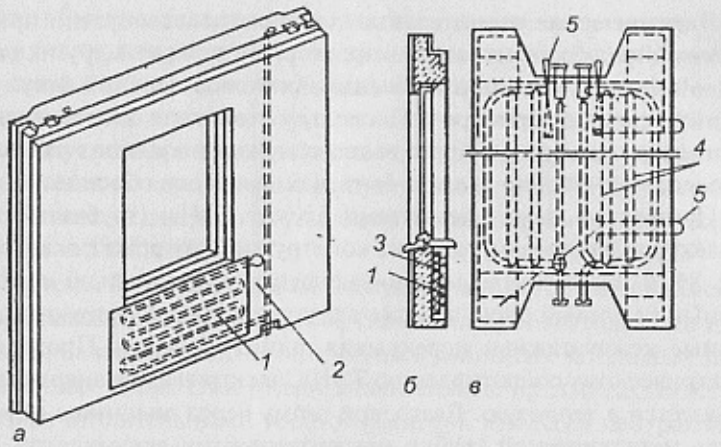



**Рис. 83.** Крупные стеновые бетонные панели с заделанными в них нагревательными приборами из стальных труб:
*а — общий вид панели наружной стены со стороны помещения; б — вертикальный разрез панели наружной стены; в — отопительная перегородочная панель; 1 — отопительная панель со змеевиком; 2 — бетонная панель; 3 — утеплитель; 4 — регистр из стальных труб; 5 — монтажные петли*

оседает минимальное количество пыли и она легко удаляется, что исключает ее подгорание; улучшаются эстетические и санитарно-гигиенические качества помещений, можно поддерживать температуру воздуха в помещении на меньшем, чем обычно, уровне; дешевле обходится монтаж системы, он сводится к соединению друг с другом концов труб нагревательных элементов и прокладке магистральных трубопроводов, в летнее время эти системы можно использовать для радиационного охлаждения помещений.

К недостаткам следует отнести большие гидравлические сопротивления, высокую тепловую инерцию и сложность ремонта.

*Местные системы отопления* представляют собой различные нагревательные приборы — газовые, электрические печи.

Газовые отопительные приборы, в частности инфракрасный излучатель, можно применять в безопасных в пожарном отношении помещениях при отсутствии фиксированных рабочих мест, а также при наличии газовой сети или баллонов с жидким газом.

Электрические отопительные приборы целесообразно применять в районах с избытком электроэнергии, а также в других районах — в часы ее малого потребления при использовании аккумуляторных тепловых приборов. Поскольку стоимость электрического отопления примерно в 10 раз выше стоимости водяного или парового, его применение должно быть экономически обосновано.

Нагревательными элементами служат ТЭНы (трубчатые теплоэлектронагреватели), одна из конструкций которых показана на рис. 84, *а*. Такие ТЭНы можно заделывать в специально изготовленный бетонный блок, а также в строительные конструкции, бетонные междуэтажные перекрытия, плинтусы и т. п. Проходя по электрическому сопротивлению ТЭНа, электрическая энергия преобразуется в тепловую. Благодаря этому через внешнюю поверхность металлической трубки нагревается блок-аккумулятор. Нагретый в нерабочее время блок будет обогревать помещение в рабочую смену, не потребляя энергии. Примером электрических отопительных приборов может служить электромасляный радиатор, схема которого показана на рис. 84, *б*. Он легко переносится

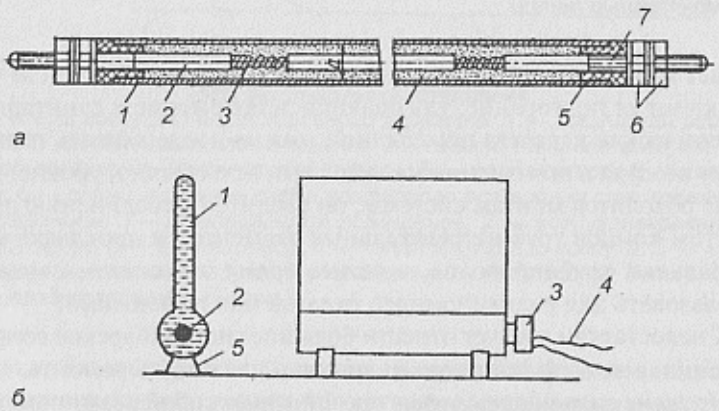



**Рис. 84.** Электрические нагревательные приборы:
*а — трубчатый электронагреватель (ТЭН): 1 — оболочка; 2 — контактный стержень; 3 — спираль из проволоки сопротивления (накаливания); 4 — периклаз; 5 — герметик; 6 — контактные гайки и шайбы; 7 — изолятор; б — схема устройства электромасляного радиатора: 1 — масло; 2 — трубчатый электронагреватель (ТЭН); 3 — автоматрегулятор; 4 — электросеть; 5 — ножки*



и может быть установлен непосредственно у рабочего места. Трубчатый теплоэлектронагреватель размещен в нижней цилиндрической части металлического кожуха, заполненного маслом. Поднимаясь над нагревателем вверх за счет естественной конвекции, масло опускается по поверхности кожуха, охлаждаясь за счет передачи теплоты через стенки воздуху помещения. Преобразование электрической энергии в тепловую происходит по эквиваленту 1 кВт · ч = 3600 кДж.

Системы отопления на базе централизованного теплоснабжения осуществляют при наличии ТЭЦ (теплоэлектроцентрали) или централи производственно-отопительных районных котельных промышленных узлов. Они имеют значительные преимущества перед мелкими отопительными установками, так как КПД центральных котельных и особенно ТЭЦ значительно выше КПД местных. На ТЭЦ одновременно вырабатывается электрическая и тепловая энергия, поэтому ее КПД составляет 0,8 против 0,4—06 для местных котельных.

*Тепловые сети* выполняют в виде сетей циркуляционного типа, как правило, двухтрубными. По одной из труб потребителям подается вода температурой 130–150°С или пар давлением около 200–300 кПа, по другой возвращается охлажденная вода температурой 70°С или конденсат. Повышение температуры подаваемой воды позволяет уменьшить диаметр магистральных трубопроводов и сократить капитальные затраты на сооружение магистрали и подводку к потребителям, а также эксплуатационные расходы за счет сокращения расхода электроэнергии сетевыми насосами, перекачивающими воду или конденсат.

Присоединение потребителя к тепловой сети осуществляют двумя способами — с помощью элеваторного пункта или бойлера. Первый способ применяют при водяной системе отопления, второй — чаще при паровой. Схема элеваторного присоединения и самого элеватора показана на рис. 85.

Горячая вода из теплосети поступает в сопла эжектора и выходит из него с большой скоростью, создавая вакуум в камере смешения, куда эжектируется часть обратной воды из отопительной системы и подмешивается к горячей воде. Смешанная вода поступает через диффузор в отопительную систему. Коэффициент под-

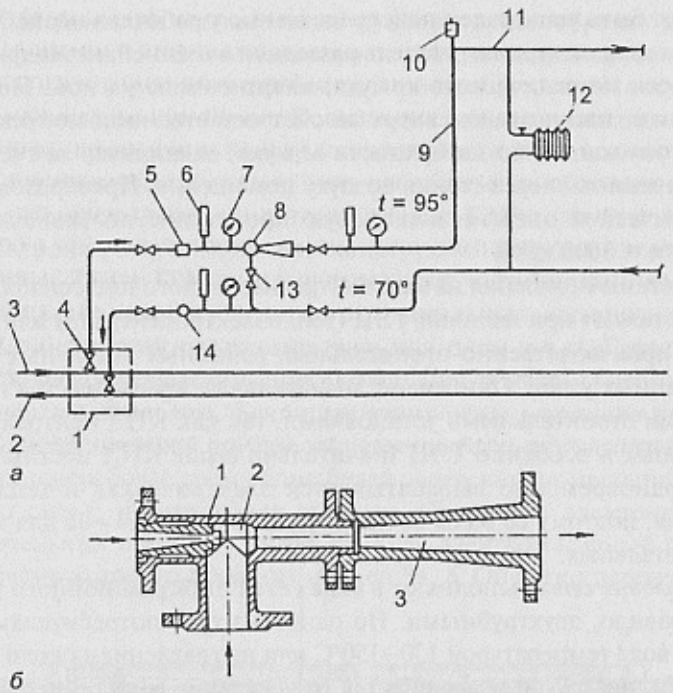



**Рис. 85.** Система отопления на базе теплофикации:
*а — схема присоединения водяной системы отопления к теплофикационной сети через элеватор: 1 — теплофикационный колодец; 2 — обратная магистраль; 3 — подающая магистраль; 4 — задвижка; 5 — грязевик; 6 — термометр; 7 — манометр; 8 — элеватор; 9 — главный стояк; 10 — воздухоотводчик; 11 — разводящая магистраль; 12 — нагревательный прибор; 13 — задвижка; 14 — водомер; б — схема устройства элеватора (водоструйного насоса): 1 — сопло элеватора; 2 — камера смешения; 3 — расширяющаяся труба (диффузор)*

мешивания определяют так же, как в случае воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией:

$$\alpha = (t_г - t_{см})/(t_{см} - t_о),$$

$$G_0 = \alpha G_г,$$

где $t_г$ — температура воды в теплосети, °С; $t_{см}$ — температура воды за диффузором, °С; $t_о$ — температура охлажденной (подмешиваемой) воды, °С; $G_о$ — расход подмешиваемой воды, кг/ч; $G_г$ — расход горячей воды, поступающей из теплосети, кг/ч.



При температуре сетевой воды 130°С ее можно подавать непосредственно в систему центрального отопления промышленного здания. На рис. 86 показана схема присоединения центральной отопительной системы к тепловой сети с помощью бойлера (водонагревателя), представляющего собой цилиндр из листовой стали, внутри которого установлен змеевик. Такое присоединение называют независимым. Пар из теплосети поступает в бойлер, конденсируется в нем, отдавая теплоту воде, направляющейся в бойлер через нижний патрубок из обратной магистрали центральной системы водяного отопления благодаря насосному или гравитационному побуждению. Нагретая вода через верхний патрубок бойлера поступает в главный стояк отопительной системы. Наличие здесь двух контуров (парового и водяного) позволяет назвать эту систему комбинированной пароводяной системой отопления.

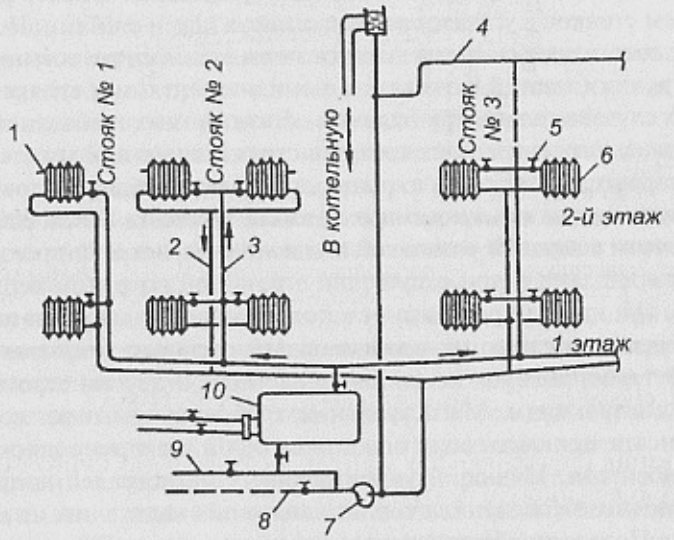



**Рис. 86.** Схема двухтрубной системы водяного отопления с насосной циркуляцией и нижней разводкой, присоединенной к теплосети через бойлер:
*1 — кран для спуска воздуха: 2 — обратный стояк; 3 — подающий стояк; 4 — воздушная линия; 5 — кран; 6 — нагревательный прибор; 7 — насос; 8 — канализация; 9 — водопровод; 10 — бойлер*

При подаче в змеевик из теплосети перегретой воды (150°С) образуется комбинированная водо-водяная система отопления.

Комбинированные системы отопления исключают передачу гидравлического давления теплосети на систему отопления, и наоборот, что обеспечивает большую надежность теплоснабжения.

## 8.4. Составные части систем отопления

Составными частями систем отопления являются трубопроводы, нагревательные приборы, запорная и регулирующая арматура, приборы контроля и автоматики.

**Трубопроводы** выполняют из стальных газовых труб диаметром до 50 мм по ГОСТ 3262-75 (легких — для горячей воды и обыкновенных — для пара и конденсата) и стальных электросварных труб ГОСТ 10704-76 диаметром более 50 мм.

Трубопроводы прокладывают, как правило, открыто с размещением стояков в углах, образуемых наружными стенами. Исключение составляют системы водяного отопления со встроенными в конструкции зданий нагревательными элементами и стояками. В других случаях только при наличии обоснованных требований технологического, гигиенического, конструктивного или архитектурного характера допустима скрытая прокладка трубопроводов. При этом применяют обыкновенные газовые трубы по ГОСТ 3262-75. В системах с верхней разводкой подающие магистрали прокладывают по чердаку, а при отсутствии его — под потолком верхнего этажа, при нижней разводке — в подпольных каналах или подвалах. В производственных зданиях предпочтительна открытая прокладка трубопроводов по стенам, колоннам и другим строительным конструкциям. Магистральные трубопроводы пара, воды и конденсата прокладывают с уклоном 0,002 в сторону движения теплоносителя. Меньший уклон водяных магистралей допустим при условии обеспечения скорости движения воды в них не менее 0,5 м/с. Подводки к отопительным приборам более 500 мм делают с уклоном в сторону движения теплоносителя 5—10 мм на всю длину, при меньшей длине уклона *не предусматривают*.

В местах пересечения перекрытий, внутренних стен и перегородок прямыми трубопроводами теплоносителя предусматривают установку гильз с кольцевым зазором между гильзой и трубой не



менее 15 мм для обеспечения свободного перемещения труб при изменении температуры теплоносителя. Зазор заполняют несгораемым теплоизоляционным материалом. В случае прохода трубопровода через противопожарную стену гильзы не ставят, а место прохода плотно заделывают строительным раствором и обеспечивают компенсацию теплового удлинения трубопровода по обе стороны стены.

В местах возможного замерзания теплоносителя (в подпольных каналах у наружных дверей, в неотапливаемом или охлаждаемом помещении и др.), а также при необходимости сохранить параметры теплоносителя для трубопроводов и оборудования систем отопления используют теплоизоляцию.

При сгораемых ограждающих конструкциях неизолированные трубопроводы теплоносителя температурой более 105°С прокладывают на расстоянии не менее 100 мм от их поверхности, при несгораемых это расстояние уменьшается до 35 мм при диаметре труб до 32 мм и до 50 мм — при большем диаметре.

***Монтаж наружных тепловых сетей*** должен осуществляться поточным методом с применением комплексной механизации монтажных, транспортных и погрузочно-разгрузочных работ.

По способу прокладки теплопроводы (теплотрассы) делятся на подземные и надземные. Подземная прокладка теплопроводов осуществляется в каналах и без каналов. Прокладка может производиться в проходных и непроходных каналах. Большая часть тепловых сетей прокладывается в непроходных каналах. Бесканальная прокладка применяется сравнительно редко. При них возможно защемление трубопровода грунтом, что при температурных удлинениях трубопровода может привести к авариям: трудно также устроить такую теплоизоляцию, которая предохраняла бы трубы от защемления и противостояла грунтовым водам.

Надземная прокладка теплопроводов производится по металлическим или железобетонным эстакадам преимущественно по территории промышленных предприятий, особенно там, где грунтовые воды залегают близко к поверхности или где особенно важно быстро обнаружить места возможных аварий и произвести ремонт.

При прокладке труб в непроходных каналах до начала работ должно быть подготовлено основание канала, убран строительный му-

сор и выставлены железобетонные опорные подушки для установки на них металлических скользящих опор, привариваемых к трубопроводам.

Проходной тоннель соответственно должен быть распалублен, очищен от строительного мусора и иметь в дне и потолке гнезда для установки металлических опор.

Перед установкой арматуры она должна быть отревизирована, с набитыми сальниками и испытанным давлением.

Арматура устанавливается таким образом, чтобы к ней был обеспечен удобный доступ для эксплуатации и ремонта. Места установки арматуры на трассе должны полностью предохранять арматуру от восприятия каких-либо изгибающих усилий. Установку всех узлов и арматуры производят сначала на основных магистралях, а затем на ответвлениях.

На теплопроводах устанавливают компенсаторы следующих типов: сальниковые — стальные, гнутые из труб Г- и П-образные, линзовые и др. Компенсаторы воспринимают и гасят усилия, возникающие в теплопроводах при перепадах температур.

**Нагревательные приборы** предназначены для передачи теплоты от теплоносителя воздуху помещения. Промышленность выпускает нагревательные приборы различных типов (рис. 87) — радиаторы, конвекторы, регистры, чугунные ребристые трубы и др. Каждый из них используют в соответствии с назначением производственного здания или помещения, санитарно-гигиеническими, архитектурными и экономическими требованиями.

**Радиаторы** представляют собой отдельные секции, отлитые из чугуна или штампованные из стали. Они имеют гладкую поверхность и легко очищаются от пыли. Их устанавливают под окнами, для нейтрализации ниспадающих потоков холодного воздуха в помещениях с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями. Чтобы обеспечить доступ к ним при осмотре, ремонте и очистке, по СНиП 2.04.05.-86 рекомендуется принимать следующие минимальные расстояния от строительных конструкций до радиаторов: 60 мм от пола, 50 мм от подоконника и 25 мм до стены.

**Конвекторы** делают из гладких стальных труб, надевая на них пластины из тонкой листовой стали с последующей оцинковкой. Поверхность нагрева 1 м ребристой части конвектора из труб диаметром 19 мм составляет 0,97 м², масса конвектора примерно в три раза меньше массы радиатора с эквивалентом теплоотдачи. Выпускают конвекторы двух типов: типа «комфорт» (с кожухом) и плинтусные (без кожуха). Очистка конвекторов от пыли несколько затруднена, поэтому их устанавливают в помещениях с малым выделением пыли. При установке конвекторов под окнами минимальное расстояние от строительных конструкций до плинтусных конвекторов рекомендуется принимать: от оси конвектора до пола — 120—150 мм, до стены — 55—70, от прибора до подоконника — 50 мм.

Конвекторы типа «комфорт» устанавливают под обычными окнами в производственных, а также в бытовых и конторских помещениях, в жилых домах. Плинтусные конвекторы целесообразно размещать в помещениях с избыточным остеклением. Это позволяет расположить конвекторы по всей длине светового проема.



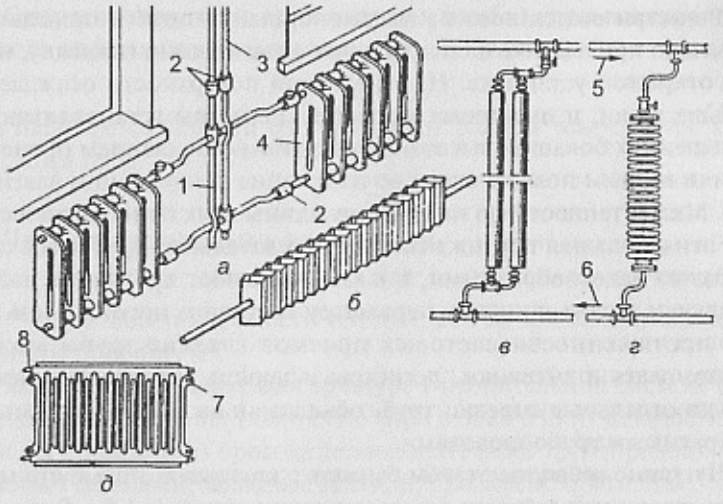



**Рис. 87.** Нагревательные приборы и способы их соединения с трубопроводами:
*а — чугунные радиаторы; б — стальной конвектор; в — нагревательный прибор из гладких стальных труб (регистр); г — чугунная ребристая труба; д — стальные и штампованные радиаторы; 1 — горячий стояк; 2 — сгон; 3 — обратный стояк; 4 — радиатор; 5 — пар; 6 — конденсат; 7 — проушины для крепления; 8 — присоединительный штуцер*

**Регистры** выполняют из гладких стальных труб и применяют не только при заделке в специальные конструкции (панели), но и при открытой установке. На их гладкой поверхности осаждается меньше пыли, и она легко удаляется. Регистры устанавливают в помещениях большой высоты под верхним остеклением (фонарями или вторым поясом окон) во избежание конденсации влаги на нем. Малая теплоотдача на единицу длины этих приборов и в связи с этим большая протяженность нагревательных труб здесь оказываются целесообразными, так как позволяют проложить нагревательные трубы по всему периметру светового проема. При малой протяженности световых проемов гладкие трубы можно компоновать в змеевики, регистры и просто располагать параллельно отдельные отрезки труб, объединяя их общими прямыми и обратными трубопроводами.

**Чугунные ребристые трубы** бывают с круглыми, прямоугольными и овальными ребрами. Их выпускают длиной 1; 1,5 и 2 м с поверхностью нагрева соответственно 2, 3 и 4 м². Они характеризуются низкой стоимостью, пригодностью для водяного и парового отопления, но их ребра слабо нагреваются, легко отбиваются, кроме того, затруднена их очистка от пыли. Поэтому эти приборы устанавливают чаще всего во вспомогательных производственных помещениях. Эти типы нагревательных приборов предназначены для систем водяного отопления с температурой воды до 150°С и давлением 0,6 МПа. Однако для стальных радиаторов в качестве теплоносителя необходима химически очищенная и деаэрированная вода, в противном случае они будут недолговечны из-за коррозии их с внутренней стороны.

При проектировании водяных и паровых систем отопления определяют площадь поверхности теплоотдачи нагревательных приборов по формуле

$$F = Q_{от}\beta/[k(t_{ср.пр.} - t_в)],$$

где $Q_{от}$ — количество теплоты, которое должны отдать приборы, Вт; $\beta$ — коэффициент, учитывающий способ установки прибора, принимаемый при открытой установке приборов равным 1; $k$ — коэффициент теплопередачи нагревательного прибора, Вт/(м² · К); $t_{ср.пр.}$ — средняя расчетная температура теплоносителя в приборе, °С; $t_в$ — расчетная температура воздуха помещения, °С.



Среднюю расчетную температуру в приборе при водяном отоплении определяют по формуле

$$t_{ср.пр} = (t_г + t_о)/2,$$

при паровом отоплении ее принимают равной температуре конденсации пара

$$t_{ср.пр.} = t_к.$$

Число нагревательных приборов $N$

$$N = F/f,$$

где $f$ — площадь поверхности теплоотдачи одной секции нагревательного прибора, м².

**Запорная и регулирующая арматура** в отопительной системе служит для преграждения полностью (при отключении) или частично (при регулировании) прохода теплоносителя по трубопроводу. Она включает задвижки, запорные вентили, пробковые проходные, трехходовые поворотные сальниковые, трехходовые регулировочные краны, обратные клапаны, конденсатоотводчики (рис. 88).

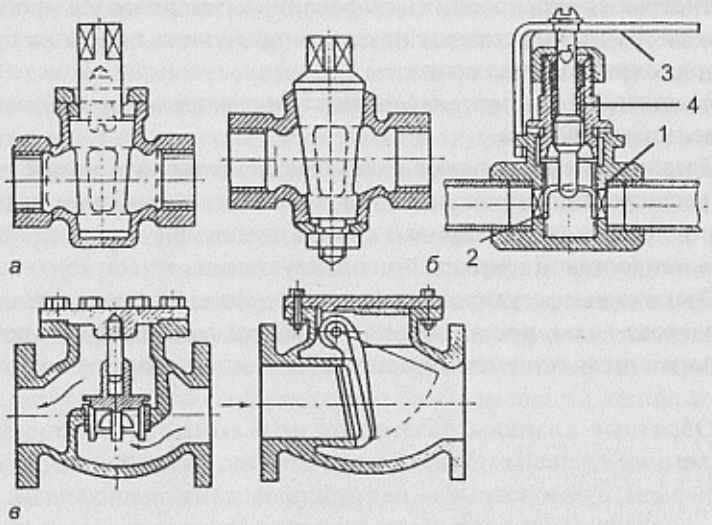



**Рис. 88.** Запорная и регулировочная арматура:
*а — пробковый край; б — кран двойной регулировки; в — обратный клапан: 1 — пробка; 2 — прорези в пробке; 3 — ручка крана; 4 — шпиндель*

**Задвижки** устанавливают на тепловых вводах, магистральных трубопроводах систем отопления при давлении воды или пара до 1 МПа (10 кг/см). Их выполняют из чугуна с выдвижным шпинделем с бронзовыми уплотнительными кольцами.

При давлении больше 1 МПа на тепловом вводе устанавливают стальные задвижки. Шпиндель задвижки на горизонтальных участках трубопроводов следует располагать вертикально или горизонтально, установка шпинделя вниз не допускается.

**Запорные вентили и пробковые проходные краны** (сальниковые и натяжные) устанавливают в качестве запорной арматуры на отопительных стояках диаметром не более 50 мм (при большем диаметре ставят задвижки).

Шпиндели предпочтительно устанавливать горизонтально. Пробковые проходные краны имеют значительно меньший коэффициент местного сопротивления по сравнению с запорными вентилями, поэтому их предпочтительно ставить на стояках системы с гравитационным побуждением. Применяя пробковые проходные сальниковые краны, достигают непроницаемости для воды за счет плотного соприкосновения шлифованных поверхностей пробки и корпуса. Это осуществляют нажатием крышки сальника на пробку при закрытом положении.

Натяжные краны устанавливают при сравнительно небольшом давлении до 600 КПа.

**Трехходовые поворотные сальниковые краны, или краны двойной регулировки**, устанавливают на подводках к приборам водяного отопления для регулировки систем отопления в процессе монтажа, теплоотдачи прибора при эксплуатации.

Трехходовые регулировочные краны применяют для регулировки расхода воды, поступающей в приборы однотрубных проточно-регулируемых систем отопления, для установки под манометром и др.

**Обратные клапаны** различают подъемные и поворотные. Подъемные клапаны устанавливают обычно на трубопроводах горячей воды, а поворотные — на трубопроводах холодной воды. Оба типа клапанов могут пропускать поток воды только в одном направлении. Их устанавливают на горизонтальных участках трубопроводов строго по уровню и с вертикальным расположением шпинделя.



**Конденсатоотводчики** ставят в паровых системах отопления с перекачкой конденсата насосом для отвода его в конденсационный бак без выпуска пара из системы. Конденсатоотводчики различают трех типов: термодинамические, термостатические и поплавкового типа. Их устанавливают строго по уровню, с обводной линией на случай ремонта и первым вентилем на ней.

**Приборы контроля и автоматики применяют** для постоянного или периодического наблюдения за параметрами теплоносителя в тепловых вводах и в отопительных системах. На тепловых вводах ставят термометры для измерения температуры поступающей и отходящей воды в магистральных трубопроводах. Манометры устанавливают до и после элеватора (насоса), а также на обратной линии отопительной системы. Диафрагму с дифференциальным манометром для измерения расхода теплоносителя, поступающего в систему, монтируют на подающей линии теплового ввода. На обратной линии теплового ввода устанавливают водомер для измерения расхода воды, выходящей из системы в тепловую сеть. Чаще других из перечисленных приборов используют термометры и манометры. Из применяемых термометров распространены ртутные, электроконтактные и электрические термометры сопротивления.

*Ртутные термометры* имеют металлическую оправу (гильзу), предохраняющую их от механических повреждений. Гильзы ввинчивают в бобышку, привариваемую на трубопроводах (коллекторах). *Электроконтактный термометр* ставят для подачи сигнала при достижении предельной температуры теплоносителя. В капиллярную трубку термометра впаяны электрические контакты. Они замыкаются поднявшимся до них столбиком ртути, в результате чего подается сигнал. *Электрические термометры сопротивления* целесообразно применять для дистанционного измерения температуры теплоносителя. Они основаны на свойстве электрического проводника изменять свое сопротивление при изменении температуры среды.

Рядом с постоянным рабочим манометром иногда можно видеть присоединенный к нему *контрольный манометр*. Это делается периодически при проверке работы постоянного манометра. Поставленный под ним трехходовой кран позволяет включать в работу одновременно оба манометра. Расположенная ниже крана петлевидная трубка служит гидравлическим затвором, защищаю-

щим манометр от воздействия высоких температур (пар или вода температурой выше 100°С). В системах отопления ставят пружинные манометры, достаточно точные при измерении давления от 0,05 МПа и выше.

## 8.5. Монтаж систем отопления

Требования, предъявляемые к монтажу систем отопления, в основном сводятся к следующему.

Нагревательные приборы размещают преимущественно под окнами и другими световыми проемами (витринами, фонарями верхнего освещения) для защиты работающих от ниспадающих потоков холодного воздуха.

Нагревательные приборы систем водяного и парового отопления должны быть доступны для осмотра, ремонта и очистки.

В целях пожарной безопасности нагревательные приборы и калориферы с температурой теплоносителя выше 105 °С следует размещать на расстоянии не менее 100 мм от сгораемых строительных конструкций или изолировать эти конструкции несгораемыми материалами. Нагревательные приборы, устанавливаемые в лестничных клетках, не должны сокращать нормативную ширину маршей и промежуточных площадок и образовывать выступы на пути движения людей. В помещениях с производствами категорий А, Б, В и Е необходимо размещать нагревательные приборы только с гладкой поверхностью без ниш. Не допускать совместную прокладку или пересечение в одном канале трубопроводов горячей воды, пара или конденсата с трубопроводами горючей жидкости с температурой вспышки паров 120°С и ниже или паров и газов.

Трубопроводы систем отопления прокладывают открыто, за исключением панельного отопления. Стояки систем отопления во вспомогательных зданиях предприятий размещают в углах, образуемых наружными стенами. При этом в двухтрубных системах подающий стояк всегда располагают справа от обратного (со стороны помещения). В производственных цехах подающие и обратные магистрали центрального отопления можно прокладывать по колоннам, стенам, в межфермерном пространстве с учетом монтажных положений других санитарно-технических устройств (водопровода, канализации, вентиляции), а также организации всего интерьера помещения в целом. Магистральные трубопроводы пара, воды и конденсата прокладывают с уклоном 0,002 и более.



Для монтажа отопительных систем при теплоносителях — воды температурой 130—150 °С или пар давлением выше 0,1 МПа — применяют в качестве уплотнителей во фланцевых соединениях паронит, а для уплотнения сальников арматуры — асбестовую набивку, пропитанную графитом.

Общими правилами выполнения монтажа отопительных систем являются: выполнение монтажа в три этапа (сборка укрупненных узлов системы на заготовительных предприятиях или на объекте, установка готовых узлов в проектное положение, соединение установленных узлов); осуществление монтажных работ в строгой последовательности; увязка их с общестроительными работами; установка средств крепления до начала установки готовых узлов в проектное положение; выполнение монтажно-сборочных работ с использованием грузоподъемных механизмов и приспособлений; соответствие проекту диаметров труб, количества и площади поверхности теплоотдачи отопительных приборов.

## 8.6. Эксплуатация систем отопления

Смонтированную систему отопления подвергают внешнему осмотру в целях проверки качества монтажа, надежности крепления всех элементов системы и особенно магистральных трубопроводов, масса которых увеличивается при заполнении водой. После внешнего осмотра систему испытывают с помощью гидравлического пресса, присоединенного к системе отопления и водопроводу.

Гидравлическое испытание систем водяного отопления проводят под давлением в 1,25 раза больше рабочего, но не менее 0,2 МПа (2 кг/см$^2$) в самой низшей точке системы. Паровые системы низкого давления испытывают гидравлическим давлением 0,25 МПа (2,5 кг/см$^2$) в нижней точке системы. Давление не должно снижаться в течение 5 мин.

После гидравлического испытания и устранения недостатков монтажа спускают воду из системы, заменяют ее свежей и проверяют равномерность прогрева нагревательных приборов по стоякам и этажам, плотность соединений элементов системы. Про-

верку на прогрев следует проводить в условиях, близких к эксплуатационным, т. е. в зимний период при закрытых окнах и дверях. При этом нагревательные приборы должны прогреваться равномерно, а температура в рабочей зоне соответствовать расчетной (нормативной). При плохом прогреве одного или группы приборов отыскивают причины плохого прогрева (засорение в подводках к приборам, воздушные мешки, плохая регулировка запорной арматуры, несоответствие температуры и давления теплоносителя расчетным параметрам) и устраняют их. После этого систему принимают в эксплуатацию, о чем составляют предварительный акт.

В процессе эксплуатации системы специально назначенной комиссией осуществляется окончательная приемка системы с тщательной проверкой наличия арматуры, контрольно-измерительных приборов, насосов, электродвигателей, соответствия их марок, производительности и мощности проектным, наличия и исправности изоляции и составлением акта приемки-сдачи системы в эксплуатацию.

Работу системы контролируют с помощью контрольно-измерительных приборов и регулируют в соответствии с изменением метеорологических условий (температуры, воздуха, скорости и направления ветра и т. п.), а также тепловыделений технологического оборудования. При этом проводят качественную и количественную регулировку подачи теплоты в нагревательные приборы изменением параметров и количества теплоносителя, поступающего в них. Кроме того, следят за работой электродвигателей, насосов, вентиляторов, конденсатоотводчиков, за наличием воды в расширительном баке, исправностью тепловой изоляции, трубопроводов и арматуры.

Мелкий текущий ремонт отопления осуществляют по мере необходимости. Капитальный ремонт системы проводят по заранее составленному плану и только в летнее время.

На летнее время систему водяного отопления оставляют заполненной водой для уменьшения внутренней коррозии труб, высыхания уплотнителя в резьбовых соединениях. Перед очередным пуском системы в работу к началу нового отопительного периода эту воду быстро спускают, промывая таким образом всю систему. После чего ее заполняют химически очищенной и деаэрированной водой.



## 8.7. Пример расчета площади поверхности теплоотдачи нагревательных приборов

*Исходные данные.* Наружные размеры здания следующие: длина — 61 м, ширина — 25 м, высота — 7 м. Расчетная температура внутреннего воздуха — $t_в = 16$ °С, наружного — $t_н = -26$°С (средняя температура самой холодной пятидневки). Теплоноситель — горячая вода, температура горячей воды — $t_г = 130$°С, температура охлажденной воды — $t_0 = 70$°С.

Для одноэтажного промышленного здания, расположенного в г. Москве, нужно рассчитать площадь поверхности радиаторов М-140 и расставить их. Тепловые потери здания $Q_{т.п}$ и тепловую мощность системы отопления $Q_{от}$ определить по удельной тепловой характеристике здания $g$.

*Решение.* Исходя из размеров здания наружный объем составит $61 \cdot 25 \cdot 7 = 10675$ м³. В таблице СНиПов даны удельные тепловые характеристики зданий.

Для предприятий молочной промышленности $g = 0{,}41$ Вт/(м³К).

Тепловые потери здания определяем по формуле

$$W = kQ_{от}/[c(t_г - t_0)];$$

$$Q_{тп} = 0{,}41 \cdot 10675[(16 - (-26))] \approx 184000 \text{ Вт}.$$

30% этих теплопотерь будут восполнены за счет тепловыделений технологического оборудования, а 70% приходятся на систему отопления. Тепловая мощность системы отопления

$$Q_{от} = 0{,}7 \cdot Q_{тп} = 0{,}7 \cdot 184000 = 128800 \text{ Вт}.$$

Коэффициент теплопередачи и поверхность теплоотдачи одной секции радиатора М-140

$$k = 9{,}76 \text{ Вт/(м²К)}, f = 0{,}254 \text{ м²}.$$

Среднюю температуру воды в приборах вычисляем по формуле

$$(130 + 70) : 2 = 100°\text{С}.$$

Общую поверхность теплоотдачи отопительных приборов определяем по формуле

$$F = Q_{от}\beta/[k(t_{ср.пр.} - t_в)];$$

$$F = 128800 / [9{,}76\ (100 - 16)] \approx 157{,}0 \text{ м²}.$$

Общее число секций радиаторов рассчитываем:

$$N = 157{,}0 : 0{,}254 = 618.$$

Приборы устанавливают следующим образом: под окнами — 22, около двух дверей — 8, у ворот — по 2 прибора с каждой стороны. Всего 38 приборов. Число секций в каждом приборе 16,2, т. е. 618 : 38. Принимаем, что под окнами, обращенными на северо-восток, и около ворот, обращенных на северо-запад, по 17 секций в каждом приборе, в остальных приборах по 16 секций. Расчетные данные по санитарно-техническим системам приводятся в таблицах СНиПов.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Каково основное назначение санитарно-технических устройств?*
2. *Перечислите классификацию систем отопления.*
3. *Каковы основные конструктивные схемы систем отопления?*
4. *Назовите основные составные части систем отопления.*
5. *Перечислите способы монтажа систем отопления.*
6. *Назовите основные требования и мероприятия по эксплуатации систем отопления.*
7. *Выполните расчет площади поверхности теплоотдачи нагревательных приборов.*

# *Глава 9.* ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ

## 9.1. Основные типы вентиляции

Технологические процессы многих производств сопровождаются выделением различных газов, паров и пыли, вредно действующих на организм человека (аммиак, углекислый газ, угарный газ, избыточная теплота).

Большинство этих выделяющихся веществ при систематическом и продолжительном воздействии на организм человека наносят вред, способствуя возникновению различных заболеваний, поэтому их объединяют общим названием — *вредности* или *вредные вещества*. Степень их воздействия на человека зависит от физико-химических свойств и содержания вредных веществ в единице объема воздуха в рабочей зоне производственного помещения.



Для снижения концентрации вредных веществ на предприятиях осуществляют следующие мероприятия: замену токсичных материалов менее токсичными; герметизацию оборудования, арматуры и трубопроводов, по которым транспортируются эти материалы; устройство местных отсосов над отверстиями или проемами, через которые могут поступать в помещение вредности; улавливание пыли в местах ее выделения или смачивание ее; устройство тепловой изоляции и придание ей ровной поверхности; окраску в светлые тона теплоотдающих поверхностей оборудования для уменьшения теплопередачи и излучения; и т. д. Несмотря на принятые меры часть вредностей поступает в помещение, и вентиляция предназначена для того, чтобы снизить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны до такой концентрации, при которой они не вызывали бы заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работающего в течение всего рабочего дня. Такая концентрация вредных веществ называется *предельно допустимой концентрацией* (ПДК), ее величина для различных вредных веществ установлена СН 245-71.

Кроме того, организмы работающих в помещении людей также выделяют теплоту, влагу, углекислый газ в количествах, зависящих от вида и интенсивности выполняемой ими работы. В связи с этим требуется увеличение отвода теплоты и влаги для поддержания нормальной температуры тела человека и физиологических процессов в его организме. Наиболее благоприятные условия для этих процессов называют комфортными.

В неподвижной воздушной среде комфортные условия для человека в состоянии покоя определяются температурой воздуха 18°С и относительной влажностью 50%, при тяжелой физической работе соответственно 14°С и 50%. При повышении температуры воздуха комфортные условия в помещении можно сохранить, увеличивая скорости движения воздуха или уменьшая его относительную влажность. Этот процесс осуществляют, кондиционируя воздух. Различают технологическое и комфортное кондиционирование воздуха. Технологическое кондиционирование предназначено для создания, поддержания и регулирования оптимальных пара-

метров воздуха при протекании химических и биохимических реакций, для обработки продукции с минимальными изменениями ее качества. С помощью комфортного кондиционирования создают для работающих в помещении людей благоприятные условия, способствующие хорошему самочувствию и повышению производительности труда.

Таким образом, вентиляция и кондиционирование воздуха обеспечивают установленные нормами санитарные условия в помещениях.

## 9.2. Определение количества воздуха, необходимого для вентиляции помещений

Процесс замены загрязненного воздуха в помещении свежим или обработанным до требуемых параметров называется *воздухообменом*. Существует два основных метода определения количества воздуха, необходимого для вентиляции помещений, — по кратности воздухообмена и выделяющимся вредностям. Иногда количество воздуха определяют по норме на одного работающего человека в час. Например, при объеме помещения на одного работающего 20 м$^3$ норма подачи воздуха составляет 30 м$^3$ на одного человека.

*Кратность воздухообмена* имеет размерность 1/ч, или ч$^{-1}$, она показывает, сколько раз за один час происходит смена воздуха в объеме всего помещения. Например, при объеме помещения $V =$ $= 15\,000$ м$^3$ и кратности воздухообмена $m = 2$ ч$^{-1}$ надо в течение одного часа подать в помещение или удалить из него 30 000 м$^3$ воздуха, т. е. воздухообмен $L$ (в м$^3$/ч) определяют по формуле

$$L = mV.$$

Количество воздуха по кратности и по норме на одного человека определяют для бытовых, конторских и других подобных помещений. По выделяющимся вредностям рассчитывают необходимое количество воздуха для производственных помещений.

Например, для удаления газов устанавливают количество воздуха, необходимое для разбавления их до допустимых концентраций:

$$L = M(p_2 - p_1),$$



где $M$ — количество выделяющихся в час газов, мг; $p_2$ — предельно допустимая концентрация газов, мг/м$^3$; $p_1$ — концентрация газов в приточном воздухе, мг/м$^3$.

Если в помещение подается наружный воздух, содержащий около 0,03% углекислого газа, то $p_1$ можно принять равной нулю, и тогда

$$L = M/p_2.$$

Численные значения $M$ устанавливают по технологическому паспорту оборудования или экспериментально.

Если одновременно с общеобменной вентиляцией работают местные отсосы, то общее количество воздуха

$$L = (M - M_{м.о})/(p_2 - p_1) + L_{м.о},$$

где $M$ — общее количество вредностей, выделяющихся в помещении в час, мг; $M_{м.о.}$ — количество вредностей, удаляемых местными отсосами в час, мг; $L_{м.о.}$ — количество воздуха, удаляемого местными отсосами в час, м$^3$.

В том случае, когда в воздух помещения выделяется несколько вредных веществ однонаправленного действия, то количества воздуха, полученные расчетом для удаления каждого из них, суммируют. Если выделяющиеся в воздух помещения вредные вещества не обладают однонаправленным характером действия, то количество воздуха при расчете общеобменной вентиляции допускается принимать по тому вредному веществу, для разбавления которого до его предельно допустимой концентрации требуется наибольшее количество приточного воздуха.

При расчете количества воздуха, необходимого для удаления избыточной теплоты, в указанных выше формулах $M$ будет обозначать количество удаляемой теплоты, а $p_2$ и $p_1$ — теплосодержание воздуха, соответственно удаляемого из помещения и поступающего (подаваемого) в него.

При расчете количества воздуха для удаления избыточной влаги $M$ будет выражать количество удаляемых из помещения водяных паров, а $p_2$ и $p_1$ — влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения и поступающего в него.

В случаях, предусмотренных санитарными нормами проектирования промышленных предприятий, вентиляционный воздух, содержащий пыль, вредные и неприятно пахнущие вещества, перед выбросом в атмосферу очищают.

## 9.3. Классификация систем вентиляции

Системы вентиляции классифицируют по назначению, способу действия и принципу размещения приточных и вытяжных отверстий, а также по энергетическому признаку.

*По назначению* различают приточные системы — для подачи свежего воздуха в помещение, вытяжные — для удаления из помещения загрязненного воздуха, приточно-вытяжные — для одновременной подачи свежего и удаления загрязненного воздуха (рис. 89).

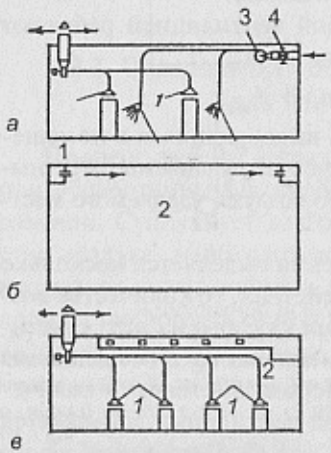



**Рис. 89.** Схемы систем вентиляции:
*а — местной приточной и вытяжной: 1 — зонты над местами выделения вредностей; 2 — воздушные души; 3 — вентилятор; 4 — калорифер; б — общеобменной; в — смешанной: 1 — местная вытяжная; 2 — общеобменная приточная для всего помещения*

*По способу действия* и принципу размещения приточных и вытяжных отверстий приточные и вытяжные системы могут быть местными, общеобменными и смешанными. При местной системе вентиляции вытяжные устройства в виде колпаков, зонтов и укрытий размещают непосредственно у мест выделения вредностей или подачу свежего воздуха осуществляют непосредственно в рабочую зону для достижения ПДК вредных веществ только в этой зоне (рис. 90, *а*). При общеобменной вентиляции воздухообмен осуществляется в объеме всего помещения (рис. 90, *б*). Смешанная система вентиляции — сочетание местной и общеобменной систем (рис. 90, *в*).

*По энергетическому признаку*, или способу побуждения воздуха к движению, различают системы с естественным и механическим побуждением. Во-первых, воздух перемещается за счет разности между объемными массами наружного и внутреннего воздуха и ветра, во-вторых, перемещение воздуха осуществляется вентилятором или каким-либо другим побудителем (в частности, эжектором, устанавливаемым для перемещения взрывоопасных смесей).



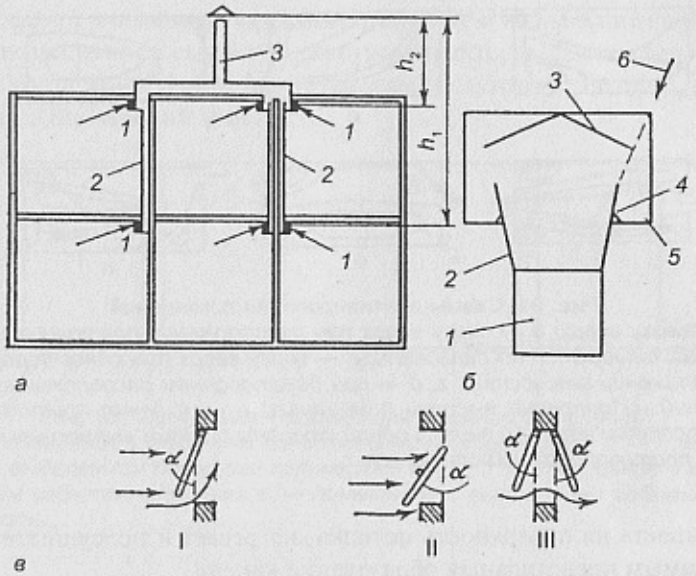



**Рис. 90.** Виды систем естественной вентиляции:
*а — канальная система: 1 — вытяжное отверстие с жалюзийной решеткой; 2 — вытяжной канал; 3 — вытяжная шахта; б — динамическая схема дефлектора ЦАГИ: 1 — патрубок; 2 — диффузор; 3 — зонт-клапан; 4 — конусный щиток; 5 — цилиндр; 6 — направление дождя; в — приточные аэрационные фрамуги: I — одинарная верхнеподвесная створка; II — одинарная среднеподвесная створка; III — двойная верхнеподвесная створка*

## 9.4. Принципиальные схемы воздухообмена

Распределение и вытяжку воздуха организуют с учетом особенностей технологического процесса, характера и свойств выделяющихся при этом вредностей. При общеобменной вентиляции в помещениях с высокой влажностью для предупреждения туманообразования и конденсации водяного пара на поверхности ограждающих конструкций (особенно на потолке) осуществляют сосредоточенную подачу сухого теплого воздуха (30—35°С) в верхнюю зону помещения. Одновременно из этой же зоны удаляют насыщенный влагой воздух (рис. 91), т. е. имеет место вентилирование помещения сверху вверх. При этом струя теплого воздуха

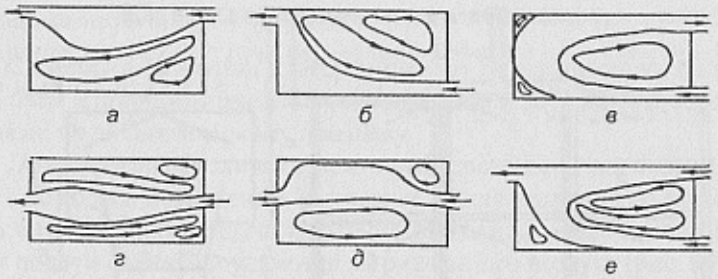



**Рис. 91.** Схемы вентилирования помещений:
*а — сверху вверх; б — снизу вверх при расположении приточных и вытяжных отверстий по диагонали; в — снизу вверх при одностороннем расположении отверстий; г, д — при двустороннем расположении отверстий на половине высоты помещения; е — с двумя приточными отверстиями вверху и внизу с одной стороны и одним вытяжным вверху на противоположной стороне*

«налипает» на поверхность потолка, нагревает и подсушивает ее, тем самым предотвращая образование капели.

В помещениях с одновременным наличием избыточной теплоты и влаги система вентиляции дополняется подачей воздуха в рабочую зону (летний и переходный периоды) или выше рабочей зоны в верхнюю зону (зимний период). Для удаления избыточной теплоты (летний период) воздух подается только в рабочую зону.

При значительном запылении воздух подается сверху не сосредоточенно, а из воздухопроводов равномерной раздачи со скоростью выхода из отверстий не более 2—3 м/с. При наличии выделений пыли и избыточной теплоты схема с равномерной подачей воздуха дополняется подачей воздуха в рабочую зону.

Запыленный воздух перед выбросом в атмосферу очищают, а выброс производят выше кровли здания не менее чем на 1,5 м.

Вытяжку загрязненного воздуха делают из разных зон в зависимости от физических свойств, в частности от плотности выделяющихся вредностей. Например, вытяжку воздуха из компрессорного цеха осуществляют из верхней зоны, так как пары аммиака обладают меньшей плотностью, чем воздух, в хлораторных делают вытяжку из нижней зоны помещения у пола, так как плотность хлора выше плотности воздуха.



Следует учитывать также расположение и назначение смешанных помещений в связи с зональным характером систем вентиляции, когда вентиляционная установка обслуживает не одно, а несколько помещений (рис. 92).

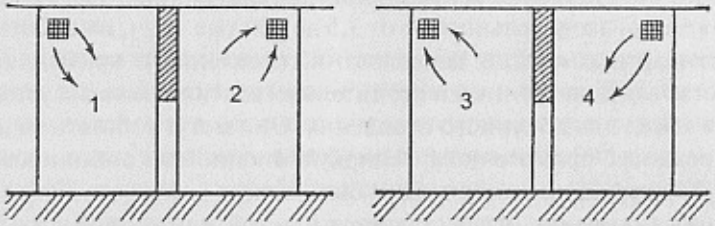



**Рис. 92.** Организация вентиляции смежных помещений:
*1 — помещение с высокими санитарными требованиями; 2 — помещение с выделением большого количества пыли; 3 — помещение с выделением избыточной влаги; 4 — помещение с выделением избыточной теплоты*

При соседстве двух помещений с высокими санитарными требованиями и с выделением большего количества пыли подачу свежего воздуха осуществляют в первое помещение, а вытяжку загрязненного воздуха — из второго. При соседстве помещения с избыточной теплотой с помещением, в котором выделяется водяной пар, надо предусмотреть подачу свежего воздуха в первое, а вытяжку — из второго.

Приточные системы устанавливают в зимний и переходные периоды, когда необходим подогрев воздуха перед подачей его в помещения. Вытяжные системы для удаления избытков теплоты устанавливают в летний период с учетом полного тепловыделения, так как потери теплоты через ограждающие конструкции чрезвычайно малы или полностью отсутствуют.

## 9.5. Составные части вентиляционных систем

Основными частями вентиляционных систем являются приточные и вытяжные камеры, фильтры, пылеуловители, калориферы, кондиционеры, воздухораспределители, воздухопроводы, фасонные части и регулирующие устройства.

Состав и количество входящих в систему основных частей зависят от назначения систем и способа побуждения воздуха к движению в системе.

***Приточные и вытяжные камеры*** служат для размещения основного оборудования вентиляционных систем (рис. 93). Камеры бывают производительностью от 3,5 до 150 тыс. м³/ч, их собирают из стандартных секций заводского изготовления и применяют в качестве вентиляционных и отопительно-вентиляционных установок, а также для дежурного отопления. Они могут работать во всех трех режимах: прямоточном, рециркуляционном и комбинированном. Конструкция камер может быть левого и правого исполнения (обслуживание осуществляется с левой или правой стороны по ходу воздуха). Сборку камер производят из одних и тех же элементов.

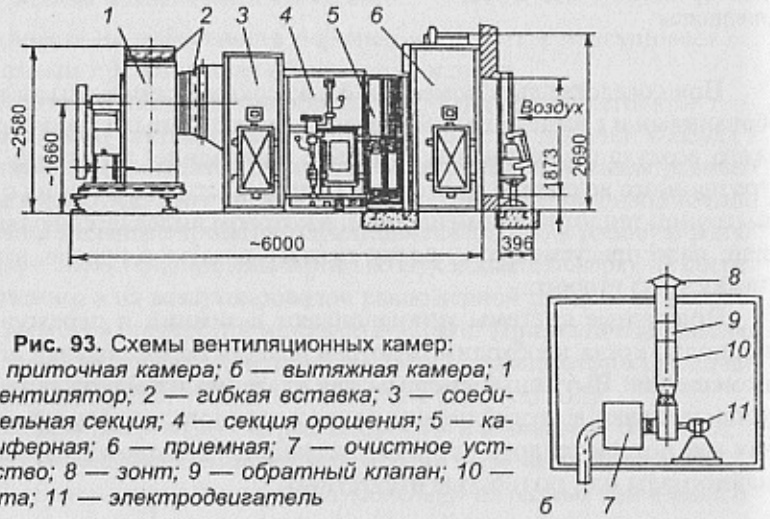



**Рис. 93.** Схемы вентиляционных камер:
*а — приточная камера; б — вытяжная камера; 1 — вентилятор; 2 — гибкая вставка; 3 — соединительная секция; 4 — секция орошения; 5 — калориферная; 6 — приемная; 7 — очистное устройство; 8 — зонт; 9 — обратный клапан; 10 — шахта; 11 — электродвигатель*

При отсутствии возможности использовать типовые приточные камеры можно изготовить ее на месте строительства.

Как правило, приточные камеры размещают у наружных стен в нижних этажах с учетом того, что радиус действия системы вентиляции (протяженность вентиляционной сети) не должен превышать 50 м. Помещения, обслуживаемые одной камерой, должны



быть близки по характеру производства и параметрам воздушной среды.

Входные отверстия для забора наружного воздуха располагают в зоне с наименьшим загрязнением воздуха производственными и вентиляционными выбросами на высоте не менее 2 м от поверхности земли.

Вытяжная камера снабжена очистным устройством и шахтой с зонтом для выброса загрязненного воздуха в атмосферу. Во избежание конденсации водяного пара, содержащегося в удаляемом воздухе, шахту утепляют, а для уменьшения потерь теплоты через вытяжную систему в нерабочую смену снабжают утепленным обратным клапаном.

***Фильтры*** делят по степени очистки воздуха на три типа: тонкой, средней, и грубой очистки, которые характеризуются конечным содержанием пыли в 1 м³ воздуха.

| Степень очистки | Тонкая | Средняя | Грубая |
|---|---|---|---|
| Конечное содержание пыли в воздухе, мг/м³ | 1—2 | 40—50 | 50 |

Тонкой очистке подвергается наружный и рециркуляционный воздух в приточных системах, а средней и грубой — в вытяжных. Для тонкой очистки приточного воздуха применяют следующие фильтры: смоченные пористые (волокнистые и масляные), сухие пористые (волокнистые, сетчатые и губчатые).

Фильтры подразделяют по их эффективности на три класса в зависимости от размеров пылевых частиц.

| Класс фильтра | Размеры пылевых частиц, мкм | Эффективность очистки, % |
|---|---|---|
| 1 | До 1 | 99 |
| 2 | От 1 до 10 | 85 |
| 3 | От 10 до 50 | 60 |

Эффективность фильтра ε (в %) определяют по формуле

$$\varepsilon = [(g_н - g_к) / g_н] \, 100,$$

где $g_н$, $g_к$ — соответственно начальное (перед фильтром) и конечное (после фильтра) содержание пыли в воздухе, мг/м³.

Наиболее часто применяют масляные фильтры (самоочищающиеся КдМ-1006А и КдМ-2006 и фильтры с кольцами Рашига) и сухие пористые волокнистые.

В *самоочищающихся фильтрах* КдМ-1006А и КдМ-2006 фильтрующее полотно образуют две последовательно установленные металлические сетки, натянутые между верхними (ведущими) и нижними (натяжными) валами. На смоченную маслом поверхность сеток оседает пыль от проходящего через фильтр воздуха. В нижней части кожуха фильтра расположена масляная ванна, в которой сетка отмывается от осевшей на нее пыли. Загрязненное масло сливают через кран и заменяют его чистым.

*Фильтры с кольцами Рашига* собирают из отдельных ячеек, представляющих собой металлические квадратные обечайки, затянутые с обеих сторон металлическими сетками. Пространство между сетками заполнено кольцами Рашига, диаметр и длина которых одинаковы 8—12 мм. Ячейки с кольцами предварительно погружают в бак с веретенным или вазелиновым маслом, вынимают и дают стечь маслу в течение 2—3 сут. при вертикальном положении, после чего их устанавливают в специальные каркасы для образования фильтрующих панелей требуемой по расчету площади. Загрязненные ячейки промывают в горячем 10%-ном содовом растворе, а затем в горячей чистой воде. После просушки их снова покрывают маслом.

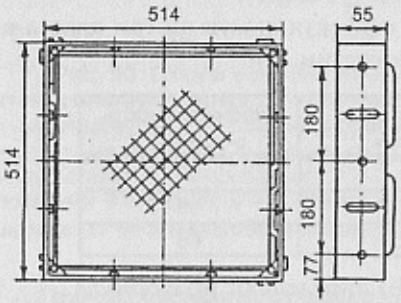



**Рис. 94.** Фильтры ячейкового типа

К сухим пористым волокнистым фильтрам относят *унифицированные ячейковые фильтры типа ФяР, ФаВ, ФяУ* (рис. 94), а также воздушные фильтры типа ФРУ (фильтры рулонные унифицированные).

*Фильтры типа ФРУ* представляют собой коробчатый каркас, в верхней и нижней частях которого установлены катушки-барабаны. На верхнюю катушку намотано полотнище чистого фильтрующего нетканого материала типа ФСВУ из упругого, слегка промасленного стекловолокна. К нижней катушке прикрепляют конец этого полотнища так, что оно перегораживает поток свежего атмосферного воздуха. По мере загрязнения до заданного предела полотно наматывается на нижнюю катушку, а на его место встает новый участок чистого полотна, сматываемого с верхней катушки. Эти фильтры применяют при нормальной запыленности наружного воздуха (до 1 мг/м$^3$).



Для очистки запыленного воздуха перед выбросом его в атмосферу наиболее широко применяют *тканевые* (хлопчатобумажные, шерстяные, нитроновые, лавсановые, из стеклоткани), зернистые орошаемые (из песка, гальки, шлака, опилок, резиновой крошки, пластических масс, а также стандартных видов насадок-колец Рашига, сферических колец), рулонные, пневматические, электрические фильтры, а также фильтры И.В. Петрякова.

В зависимости от формы, придаваемой ткани, различают фильтры рукавные, плоские, клиновые; по расположению относительно вентилятора — всасывающие, нагнетательные; по способу регенерации ткани — встряхиваемые, продуваемые и др.

В тканевых рукавных фильтрах (рис. 95) регенерация ткани осуществляется встряхиванием с помощью специального механизма.

Зернистые орошаемые фильтры иногда называют фильтрами с противоточным орошением, так как запыленный воздух проходит навстречу потоку воды.

*Пневматические рулонные фильтры* (ФРП) по устройству идентичны фильтрам типа ФРУ. Но они снабжены системой пневматической регенерации фильтрующего нетканого материала и предназначены главным образом для очистки воздуха от волокнистой пыли.

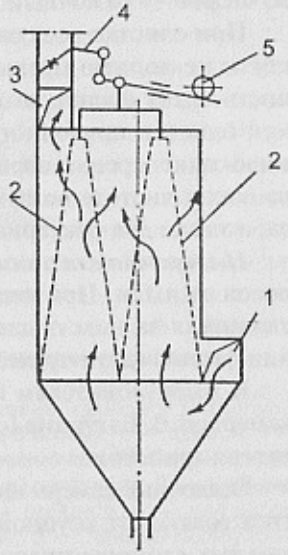



**Рис. 95.** Тканевый рукавный фильтр:
*1 — рукава фильтра; 2 — канал для отвода обеспыленного воздуха; 3 — устройство для переключения фильтра на продувку; 4 — канал для подачи запыленного воздуха; 5 — механизм для встряхивания рукавов и переключения фильтра на продувку*

В *электрических фильтрах* при прохождении воздуха через электрическое поле содержащиеся в нем частицы пыли приобретают заряд и оседают на электродах. Пыль с электродов выпадает в бункер, откуда периодически удаляется.

*Фильтры И.В. Петрякова* (ФП) применяют для очистки вентиляционных выбросов, содержащих радиоактивные или токсичные аэрозоли — туманы с капельками кислот, масел и солей. Очистку осуществляют в две ступени. В первой используют фильтрующий элемент насадочного типа из распушенного штапельного волокна — лавсана, уложенного между винипластовыми сетками, во второй — рамочный фильтр с фильтрующим материалом ФП.

При очистке воздуха от туманов количество уловленной жидкости не должно превышать 10—20 мг/м² фильтрующей поверхности. Этот фильтр можно использовать для тонкой и сверхтонкой очистки приточного атмосферного воздуха от твердых сухих высокодисперсных аэрозольных частиц при особо высоких требованиях к чистоте воздуха по характеру технологического процесса, а также для бактериальной очистки воздуха.

***Пылеуловители*** применяют для очистки вентиляционных выбросов от пыли. При недостаточной эффективности одного пылеуловителя за ним последовательно ставят второй пылеуловитель или фильтр (двух-трехступенчатая очистка).

К пылеуловителям относят осадочные камеры, лабиринтные камеры В.В. Батурина (сухого и мокрого типов), пенные пылеуловители (рис. 96).

Осадочные камеры являются простейшими устройствами для очистки воздуха от крупной пыли (более 50 мкм) при небольших начальных ее концентрациях. В них осаждается пыль под действием собственной массы при малой скорости движения воздуха (0,6 м/с) в ламинарном режиме.

*Лабиринтные камеры В.В. Батурина* более эффективны. Их рекомендуют устанавливать для предварительной очистки воздуха.

В *циклонах сухого типа* пылеотделение основано на центробежной сепарации. Воздушный поток движется по спирали вниз, содержащиеся в нем пылинки как более тяжелые, чем воздух, отбрасываются к стенкам наружного цилиндра. В результате трения пылинок о стенки снижается их скорость, они опускаются в нижнюю конусную часть циклона, откуда их удаляют через пылеотво-



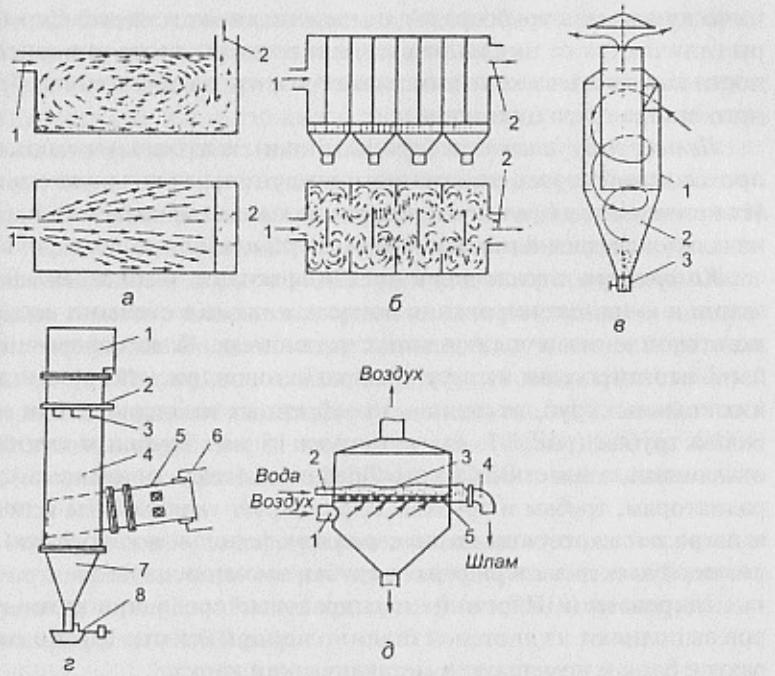



**Рис. 96.** Устройство для очистки вентиляционных выбросов от пыли:
*а — простая осадочная камера; б — лабиринтная камера В.В. Батурина: 1 — запыленный воздух; 2 — обеспыленный воздух; в — циклон: 1 — наружный цилиндр; 2 — конусная часть; 3 — выходная труба; г — скруббер ВТИ с орошаемой решеткой: 1 — выходной патрубок; 2 — гребенка для распыления воды; 3, 6 — форсунки; 4 — цилиндр; 5 — патрубок; 7 — коническая часть скруббера; 8 — клапан; д — пенный пылеуловитель (промыватель): 1 — патрубок для подачи воздуха; 2 — штуцер для подачи воды; 3 — водяная пленка; 4 — трубопровод для отвода шлама; 5 — решетка*

дящий патрубок. Очищенный воздух поднимается по внутреннему цилиндру вверх и выходит в атмосферу. Имеется целый ряд конструктивных разновидностей циклонов сухого типа в зависимости от их назначения.

*Циклоны мокрого типа* (скрубберы) основаны на использовании инерционных сил при контакте частиц пыли с водой в конце сепарации. Вода, стекая по стенкам, смывает осевшую пыль в ко-

ническую часть скруббера и дальше в шламоотстойник. Скрубберы отличаются от циклонов сухого типа такой же производительности значительно меньшим диаметром из-за отсутствия выбросного внутреннего цилиндра.

*Пенные пылеуловители* (промыватели) задерживают пыль при прохождении струек запыленного воздуха через водяную пленку. Их применяют для очистки воздуха от плохо смачиваемой пыли с начальной загрязненностью его выше 10 г/м³.

***Калориферы*** служат для нагревания воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, а также в системах воздушного отопления и в сушильных установках. Калориферы могут быть смонтированы из чугунных радиаторов (рис. 97, *а*), из гладких стальных труб, из стальных оребренных пластинами или спиралью трубок (рис. 97, *б*) диаметром 15 мм. Трубки могут быть овальными, а пластины волнообразными (гофрированными). По радиаторам, трубам и трубкам циркулирует горячая вода или пар и нагревает их, отсюда название калориферов — водяные или паровые. В электрокалориферах в трубки вмонтированы электрические нагреватели. Пластины и спиральные оребрения калориферов выполняют из листовой стали толщиной 0,5 мм. Трубки собирают в блок и помещают в металлический каркас.

Воздух в калориферах нагревается в процессе контакта с внешней нагретой поверхностью трубок и оребрения. Лучшими по теплотехническим показателям сейчас являются калориферы с овальными трубками и насаженными на них пластинами волнообразной формы (одноходовые и многоходовые).

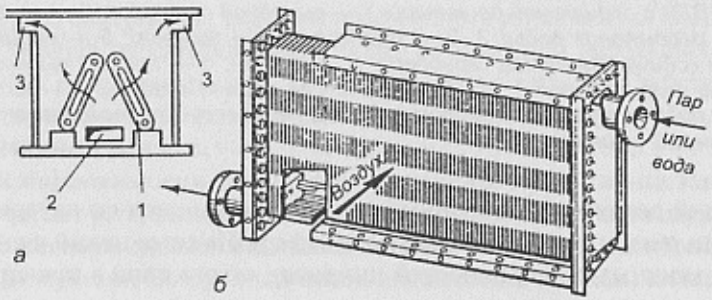



**Рис. 97.** Калориферы:
*а — из чугунных радиаторов: 1 — чугунные радиаторы; 2 — канал, подводящий в калорифер наружный воздух; 3 — каналы приточной вентиляции; б — из стальных оребренных пластинами трубок*



Овальная форма трубок увеличивает поверхность контакта между трубками и пластинами, а диагональные гофры способствуют созданию турбулентного воздушного потока. Вместе взятые, они улучшают теплотехнические показатели калориферов. С этой же целью трубки располагают в шахматном порядке в три-четыре ряда перпендикулярно направлению движения воздуха.

В одноходовых калориферах теплоноситель проходит по всем трубкам только в одном направлении, в многоходовых — по одной части трубок в одном направлении и по другой — в обратном. Теплоносителем в одноходовых калориферах могут служить пар и вода, в многоходовых калориферах — только вода. Одноходовыми выпускаются калориферы пластинчатые — КВБ, КЗПП, КЧПП — и спирально-навивные — КФСО и КФБО, многоходовыми — КЗВП и КЧВП.

Расчет и подбор калориферов выполняют исходя из расхода теплоты, требуемой на нагрев воздуха, и площади поверхности нагрева калорифера. Расход теплоты $Q$ (в кДж/ч) на нагрев воздуха определяют по формуле

$$Q = Lcc\,(t_k - t_н),$$

где $L$ — расход воздуха, м³/ч; $c$ — плотность воздуха, кг/м³; $c$ — удельная массовая теплоемкость воздуха, кДж/кг · К; $t_k$ — температура воздуха на выходе из калорифера, °С; $t_н$ — температура воздуха при входе в калорифер, °С.

Площадь поверхности нагрева калорифера $F$ (в м²) определяют по формуле

$$F = Q/\left(k\Delta t_{ср} \cdot 3{,}6\right),$$

где $k$ — коэффициент теплопередачи поверхности калорифера, зависящий от массовой скорости воздуха в живом сечении калорифера, вида теплоносителя и скорости воды в трубках калорифера, Вт/(м² · К); $\Delta t_{ср}$ — средняя разность температур теплоносителя и воздуха; при теплоносителе — вода $\Delta t_{ср} = \left(t_н + t_0\right)/2 - \left(t_k + t_м\right)/2$, при теплоносителе — пар $\Delta t_{ср} = t_н - \left(t_k + t_м\right)/2$; температура насыщенного пара, °С; 3,6 — коэффициент перевода Вт в кДж, $t_0$ — температура охлажденной воды, °С.

В настоящее время ГОСТами введены в действие стальные пластинчатые калориферы пяти моделей паровых (КП) и пяти моделей водяных (КБ): самая малая — СМ, малая — М, средняя — С, большая — Б, самая большая — СБ. Каждая модель имеет 12 номеров, благодаря чему может быть набрана установка практически любой поверхности нагрева.

***Кондиционеры*** — агрегаты, предназначенные для очистки от пыли, тепловлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования. Промышленность выпускает типовые секции, из которых можно смонтировать агрегат в соответствии с технологической схемой обработки воздуха и требуемой производительностью кондиционера по воздуху — от 10 до 250 тыс. м³/ч.

Типовые секции, составляющие кондиционер, делят на рабочие и вспомогательные (рис. 98). Рабочими секциями являются вентиляционная установка, камеры обработки воздуха (подогрева, охлаждения, фильтрации, увлажнения, секции приемных и переходных клапанов). Вспомогательные секции — камеры обслуживания, ремонта, смешивания потоков воздуха, присоединительные секции.

Кондиционеры подразделяют по принципу действия на прямоточные, рециркуляционные и комбинированные.

*Прямоточные кондиционеры* работают только на наружном воздухе, который обрабатывается, подается в помещение и затем полностью удаляется из него.

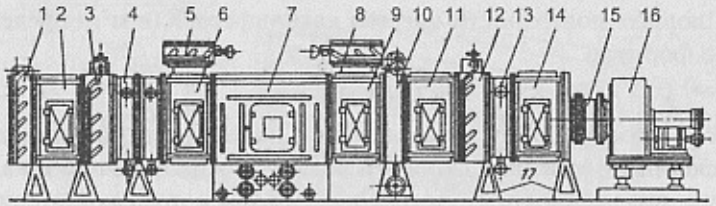



**Рис. 98.** Примерная схема набора секций и камер центральных кондиционеров:
*1 — приемный клапан; 2, 11, 14 — промежуточные камеры; 3, 12 — сдвоенные секционные клапаны; 4, 13 — секции подогрева; 5, 8 — проходные клапаны; 6, 9 — смесительные камеры; 7 — камеры промывания; 10 — масляный самоочищающийся фильтр; 15 — секция, переходная к вентилятору; 16 — вентиляционная установка; 17 — подставка*



*Рециркуляционные кондиционеры* подают обработанный воздух в помещение, а после насыщения его вредностями снова забирают и обрабатывают.

*Комбинированные кондиционеры* работают на наружном и внутреннем воздухе, т. е. при частичной рециркуляции (рис. 99). Кроме того, различают неавтономные и автономные кондиционеры. *Неавтономные кондиционеры* не содержат внутри холодильной установки. Они выполнены в горизонтальном исполнении и предназначены для кондиционирования воздуха в промышленных зданиях.

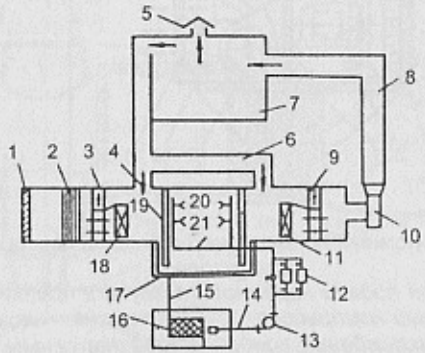



**Рис. 99.** Схема кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляцией:
*1 — жалюзийная решетка; 2 — фильтр (самоочищающийся); 3 — воздушные клапаны; 4 — канал первой рециркуляции; 5 — вытяжная камера; 6 — канал второй рециркуляции; 7 — вентилируемое помещение; 8 — воздуховод; 9 — воздушные клапаны; 10 — центробежный вентилятор; 11 — калорифер второго подогрева; 12 — сетчатые (бутылочные) фильтры; 13 — центробежный насос; 14 — холодная вода; 15 — труба для отвода воды из поддона; 16 — фильтр для очистки воды; 17 — поддон форсуночной камеры; 18 — калорифер первого подогрева; 19 — сепаратор; 20 — форсунки; 21 — трубы к форсункам*

*Автономные кондиционеры* предназначены для кондиционирования воздуха в отдельных небольших помещениях. В агрегат встроена холодильная машина, конденсатор которой может охлаждаться наружным воздухом или водой, отсюда их деление на кондиционеры с воздушным или водяным охлаждением. Наиболее компактными являются кондиционеры с воздушным охлаждени-

ем. Их устанавливают в оконном или стеновом проеме (рис. 100). Автономные кондиционеры с холодильной машиной, работающей по схеме теплового насоса, наиболее совершенны. Они позволяют не только охлаждать и нагревать воздух, но и регулировать его относительную влажность.

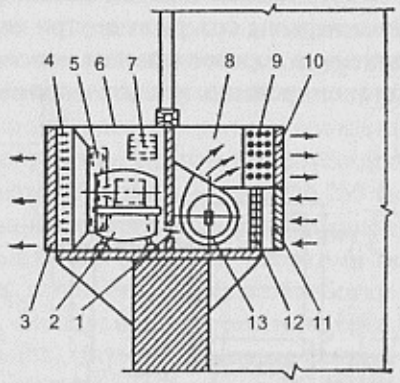



**Рис. 100.** Автономный кондиционер с воздушным охлаждением кондуктора:
*1 — отверстие для подачи наружного воздуха к приточному вентилятору; 2 — метичный компрессор; 3 — жалюзи; 4 — конденсатор; 5 — вентилятор для охлаждения конденсатора наружным воздухом; 6 — наружный отсек, сообщающийся с атмосферным воздухом: 7 — жалюзи для сбора наружного воздуха; 8 — внутренний отсек, сообщающийся с воздухом; 9 — испаритель холодильный; 10 — декоративная приточная решетка; 11 — декоративная рециркуляционная решетка; 12 — фильтр; 13 — приточный вентилятор*

***Воздухораспределители*** — устройства, устанавливаемые в конце участков приточной сети, конструкция которых подбирается в соответствии с массой подаваемого воздуха, уровнем установки относительно рабочей зоны, характером технологического процесса и расположением рабочих мест. При этом важное значение имеют направление движения струи воздуха и скорость ее затухания. По своему назначению воздухораспределители можно разделить на две основные группы: для общеобменной вентиляции и для местной вентиляции. Воздухораспределители каждой из этих групп делят на устройства для подачи воздуха в помещение и для вытяжки воздуха из него.



При общеобменной вентиляции в помещениях с высокой влажностью сосредоточенную подачу сухого теплого воздуха в верхнюю зону помещения и одновременное удаление насыщенного влагой воздуха целесообразно осуществлять с помощью комбинированного воздухораспределителя приточно-вытяжного типа ВК (рис. 101, *а*). Он сочетает в себе приточное и вытяжное уст-

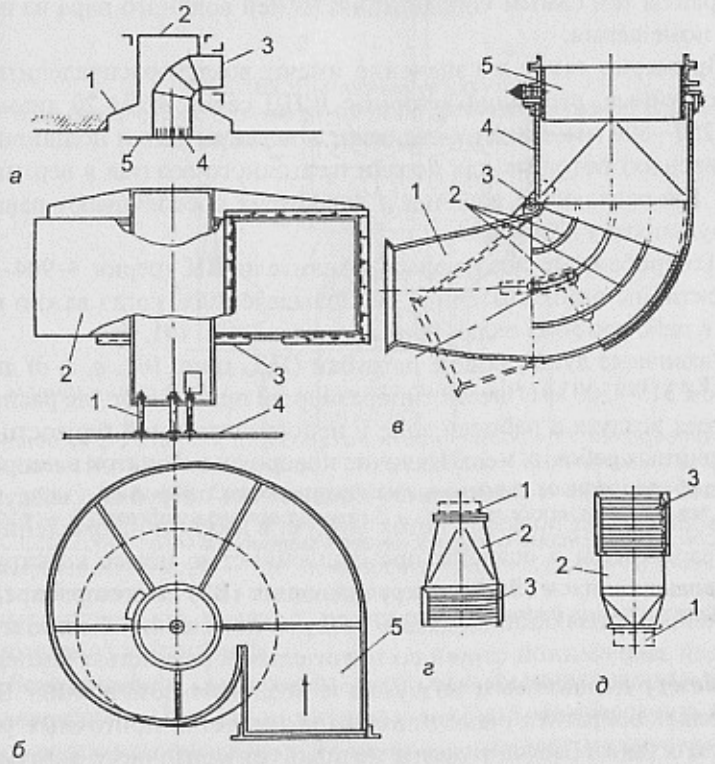



**Рис. 101.** Воздухораспределители:
*а — комбинированный потолочного типа: 1 — диффузор; 2 — присоединительный патрубок к приточному воздуховоду; 3 — присоединительный патрубок к вытяжному воздуховоду; 4 — вытяжная решетка; 5 — отражатель; б — воздухораспределитель ВЦ: 1 — винт регулировочный; 2 — корпус; 3 — выходной патрубок; 4 — диск отражательный; 5 — входной патрубок; в — патрубок поворотный душирующего типа ППД: 1 — нижнее звено; 2 — лопатка рассекателя; 3 — шарнир нижнего звена; 4 — среднее звено; 5 — верхнее звено; г, д — патрубки душирующие ПДВ и ПДН: 1 — воздуховод; 2 — корпус; 3 — направляющая*

ройство. Обогрев теплым приточным воздухом (30—35°С) вытяжного патрубка устраняет возможность конденсации водяного пара в нем и в вытяжном воздухопроводе. Отражатель способствует образованию веерной струи приточного воздуха и направляет ее на поверхность потолка. При этом струя теплого и сухого воздуха «налипает» на поверхность потолка, нагревает и подсушивает ее, предотвращая тем самым конденсацию на ней водяного пара из воздуха помещения.

Примерно такое же значение имеют воздухораспределители двухструйные, шестидиффузорные ВДШ серии 4.904-20 диаметром 250—800 мм. Их устанавливают в перекрытиях и подшивных (подвесных) потолках для подачи приточного воздуха в верхнюю зону. Направляющая решетка и диафрагма обеспечивают равномерную подачу воздуха.

Центробежные воздухораспределители ВЦ (серия 4-904-52) эффективны при избыточных тепловыделениях, когда важно подать в рабочую зону охлажденный воздух (рис. 101, *б*).

Различные душирующие патрубки (ПД) (рис. 101, *в*, *г*, *д*) диаметром 315—500 мм (шести типоразмеров) применяют для распределения воздуха в рабочей зоне в непосредственной близости от постоянных рабочих мест. Наличие поворотных лопаток в направляющей решетке и шарнирного соединения патрубка с воздуховодом позволяет подавать поток воздуха в нужном направлении.

Разработаны и освоены промышленностью новые конструкции вращающихся (ВВ) и закручивающих (ВЗ) воздухораспределителей, позволяющих подавать воздух в помещение быстрозатухающей закрученной струей со значительной разностью температур между подаваемым воздухом и воздухом помещения. Это позволяет сократить расход воздуха, количество приточных устройств, а также расход теплоты на подогрев приточного воздуха и электроэнергии на его подачу.

Кроме того, на предприятиях пищевой промышленности применяют различные *вытяжные насадки и устройства* (рис. 102). Важным требованием к их конструкции является обеспечение равномерной скорости всасывания в их приемном сечении.

В производственных лабораториях широко используют *вытяжные шкафы* (рис. 103). Разновидностью вытяжных шкафов являются *вытяжные камеры* и *витринные отсосы*. Местные вентиляци-



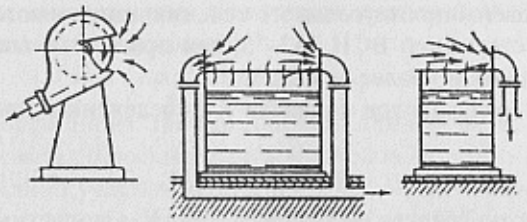



**Рис. 102.** Вытяжные устройства:
*а — кожух-отсос для удаления пыли; б — двубортовой отсос от ванны; в — однобортовой отсос*

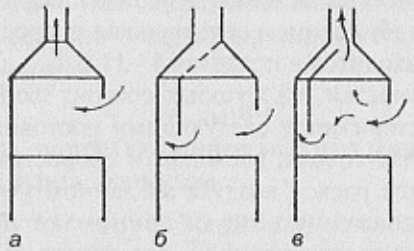



**Рис. 103.** Схемы устройства вытяжных шкафов:
*а — с отсосом воздуха сверху; б — с отсосом воздуха снизу; в — с отсосом воздуха сверху и снизу*

онные отсосы, как правило, не присоединяются к вытяжной общеобменной вентиляции.

***Воздухопроводы (воздуховоды)*** изготовляют металлические и неметаллические. При любом материале необходимо обеспечить гладкость внутренних поверхностей с минимальным сопротивлением движению воздуха и минимальную вибрацию стенок воздухопроводов. Неметаллические материалы должны быть малогигроскопичными и влагостойкими. По форме воздухопроводы различают круглые (более экономичны) и прямоугольные.

Металлические воздухопроводы проектируют, изготовляют и монтируют в соответствии со СНиПами следующих наружных диаметров: 100, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000 мм.

Воздуховоды прямоугольного сечения принимаются в соответствии с инструкцией ВСН 352-75, как правило, с соотношением сторон сечения не более чем 2 : 1.

Расчет воздуховодов сводится к определению площади сечения $F$ (м²):

$$F = L / (3600V),$$

где $L$ — расход воздуха на участке, м³/ч; $V$ — допустимая скорость воздуха на участке, м/с.

В системах естественной вентиляции скорость воздуха принимают равной 0,5—1 м/с — в каналах и решетках, 1—1,5 м/с — в приточных и вытяжных шахтах. При этом сумма потерь давления на преодоление трения в местных сопротивлениях не должна превышать величину естественного перепада давлений. В системах с механическим побуждением оптимальная скорость воздуха в воздухопроводах находится в пределах 4—12 м/с.

Отдельные участки, из которых состоит любая сеть воздухопроводов, характеризуется следующими постоянными величинами: сечением воздуховода, расходом и скоростью движения воздуха. Чем меньше расход воздуха на данном участке, тем меньшую скорость движения воздуха принимают при определении площади сечения воздухопровода. Для определения действительной скорости движения воздуха в воздуховоде рассчитывают диаметр воздуховода $d$ (мм) в зависимости от формы сечения.

Для воздуховода круглого сечения

$$d = 1130\sqrt{L/V}\,.$$

Полученное расчетное сечение $d$ округляют до ближайшего стандартного диаметра и определяют действительную скорость воздуха при этом диаметре.

Для воздухопровода прямоугольного сечения определяют эквивалентный диаметр $d_{экв}$ (в мм). Потери трения на единицу длины будут такие же, как и в воздухопроводе круглого сечения при сохранении той же скорости движения воздуха:

$$d_{экв} = 2ab / (a + b),$$

где $a$ и $b$ — стороны прямоугольного воздухопровода, мм.

После округления диаметров до стандартных значений определяют потери давления на преодоление сопротивления трению в местных сопротивлениях.



Сопротивление трению, или потери давления на трение, $P_{тр}$ (в Па) определяют по формуле

$$P_{тр} = \lambda l / dcV^2 / 2,$$

где $\lambda$ — коэффициент трения для металлических воздуховодов (0,03); для неметаллических воздухопроводов $\lambda$ принимают по таблицам; $l$ — длина участка воздухопровода, м; $d$ — диаметр воздухопровода, мм; $c$ — плотность воздуха, кг/м³; $cV^2/2$ — динамическое давление, Па.

*Местными сопротивлениями* называют фасонные части воздуховодов и вентиляционные устройства, в которых имеют место потери давления при вихреобразованиях и перераспределении скоростей или изменении направления потока воздуха. Отношение потерь давления в местных сопротивлениях к динамическому давлению в данном сечении воздуховода называется *коэффициентом местного сопротивления* $E$:

$$E = 2P_{м.с.} / (cV^2).$$

Следовательно, потери давления в местных сопротивлениях $P_{м.с.}$ (в Па) можно выразить формулой

$$P_{м.с.} = \sum \varepsilon \rho V^2 / 2,$$

а общие потери давления $P$ (в Па) в простом воздухопроводе определяются как сумма потерь давления на всех его участках:

$$P = \sum_{1}^{n} \left(l\lambda / d + \sum \varepsilon\right) \rho V^2 / 2,$$

где $n$ — число участков в сети.

Для расчета потерь давления в местных сопротивлениях скорость движения воздуха определяют в сечении участка воздухопровода, прилегающего к местному сопротивлению, поскольку на этом участке воздух движется с большой скоростью. В калориферах, фильтрах и других устройствах вентиляционной системы, через которые проходит воздух, также имеют место потери давления на трение и потери давления в местных сопротивлениях.

Данные расчета касались простых воздуховодов, т. е. имеющих неразветвленную сеть. Если схема воздухопроводов состоит из нескольких ветвей, то ее называют сложной или разветвленной.

*Расчет разветвленной сети* воздухопроводов начинают с наиболее протяженной магистрали и присоединенного к ней наиболее удаленного от вентилятора участка.

Наиболее распространенным материалом для изготовления воздухопроводов является листовая сталь: горячекатаная толщиной 0,5—0,9 мм, шириной 600—1500, длиной 1200—5000 мм и холоднокатаная толщиной 0,2—3,9 мм, шириной 600—1500 и длиной 1200—3500 мм.

К неметаллическим материалам для изготовления воздухопроводов и фасонных частей можно отнести винипласт толщиной 3—9 мм с соединением его листов сваркой. Из других синтетических материалов применимы полиэтилен, стеклопластик, стеклоткань и др.

***Фасонные части*** служат для осуществления переходов от одного сечения воздухопровода к другому (диффузор и конфузор), изменения направления (колена), разветвления воздухопроводов (тройники, крестовины). При их расчете и изготовлении соблюдается правило, согласно которому площади сечений ответвлений принимают пропорционально массе проходящего по ним воздуха, а сумма площадей поперечных сечений равна площади поперечного сечения основного ствола воздуховода.

***Регулирующие устройства*** — это клапаны, шиберы и дроссельные устройства (рис. 104).

***Клапаны*** бывают поворотные и перекидные. *Поворотные* клапаны устанавливают на воздухозаборных и выпускных отверстиях больших сечений и поэтому делают разрезными, состоящими из нескольких поворотных полотнищ и напоминающими подвижные жалюзийные решетки. Это позволяет уменьшить массу отдельного полотнища и его вылет при открывании клапана. В выпускных и приточных отверстиях клапаны должны быть утепленными или иметь дополнительный утепленный затвор. Клапаны внутри воздухопровода вращаются на оси, расположенной в середине полотна.

*Перекидные* клапаны предназначены для регулирования расхода воздуха, проходящего по воздухопроводу, и направления его по линиям воздуховодов, в разветвлении которых они установлены с расположением оси вращения на одной из граней. Перекидные клапаны выполняют, как правило, прямоугольного или трапециевидного



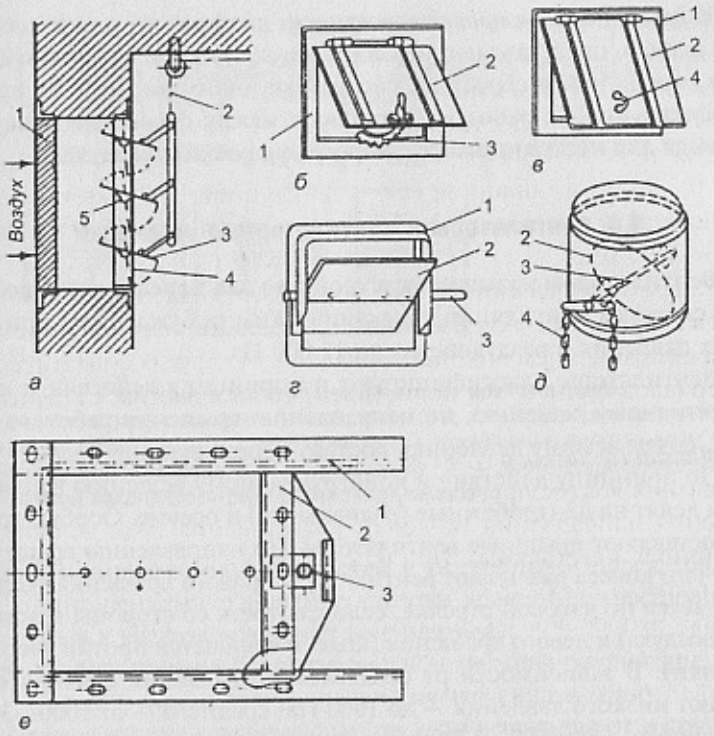



**Рис. 104.** Регулирующие устройства:
*а — разрезной клапан на воздухозаборном проеме в наружной стене: 1 — жалюзи; 2 — тросовый привод; 3 — перья клапана; 4 — металлическая рама; 5 — ось пера; б, в — малоразмерные клапаны: 1 — металлическая обечайка; 2 — полотно клапана: 3 — зубчатая дуговая рейка для упора; 4 — ушко для крепления тросового привода; г, д — клапаны, размещаемые внутри воздухопроводов (дроссельные клапаны), соответственно прямоугольного и круглого сечений: 1 — металлическая обечайка: 2 — полотно клапана; 3 — ось; 4 — тросовый привод; е — шибер: 1 — П-образная рама; 2 — заслонка; 3 — болт для фиксации положения заслонки*

сечения. Малоразмерные клапаны ставят иногда на воздухозаборных и выпускных отверстиях в вентилируемых помещениях.

***Шиберы*** служат для регулирования расхода воздуха в магистральных воздухопроводах и в местах соединения их с ответвлениями. Они представляют собой П-образную раму. В нее вставляют заслонки, требуемое положение которых фиксируется болтом.

## 5.16. Эксплуатация систем водоснабжения

Главной задачей эксплуатации водопровода является поддержание водозаборных, очистных сооружений и водопроводной сети в исправности, а также обеспечение оптимального режима их работы. Этого достигают систематическим обследованием, регулярными профилактическими ремонтами, своевременной заменой пришедших в негодность элементов водопровода. Кроме того, использование воды на водоразборных точках постоянно контролируют.

Для осуществления ремонтных работ создают эксплуатационные и ремонтно-аварийные (дежурные) бригады в составе не менее трех человек, под руководством инженера или техника. Они ведут журнал технического состояния водопровода, в который записывают причины неисправностей или аварий, дату ремонта или замены оборудования. Ремонтники при обслуживании водопровода должны соблюдать требования безопасности. На предприятиях для эксплуатации водопроводных сооружений составляют эксплуатационные инструкции.

Для поддержания пропускной способности трубопроводов их периодически очищают скребками, металлическими щетками, промывают воздушной смесью при помощи воздушного компрессора и т. д. В отдельных случаях внутренний водопровод очищают химическим способом.

На каждую водопроводную скважину составляют паспорт, где записывают все сведения о скважине (конструкция, состояние, проект скважины, геологические разрезы, данные буровых журналов, акты о неполадках при бурении, сведения о пробных откачках, анализ воды, акты генеральных испытаний при эксплуатации, данные о ремонтах, изменения нормальных условий эксплуатации). В журнал работы скважины заносят показания приборов, сведения о неисправностях. Качество воды проверяют не реже одного раза в месяц, а данные проверки заносят в журнал.

При заборе воды из поверхностных водоисточников необходимо следить за их состоянием (уровнем и качеством воды, скоплением наносов, размывом берегов, санитарным состоянием водоисточников и местами водоразбора, образованием обледенения и др.).



На очистных станциях дежурные ведут журнал дежурства и поддерживают связь с насосными станциями.

Очистные сооружения, резервуары при градирнях и баки один раз в год опорожняют для очистки от осадков и наростов. Все люки баков, в которых хранятся запасы водопроводной воды, должны быть плотно закрыты и запломбированы. Открывать люки разрешается только для чистки и ремонта. Помещения водопроводных сооружений, а также баки для воды обеспечивают системами вентиляции (чаще всего естественной).

Эксплуатацию внутреннего водопровода начинают только после гидравлического испытания на герметичность давлением, в 1,5 раза большим рабочего, но не менее 1 МПа. Результаты испытания оформляют актом. В распоряжение обслуживающего персонала передают рабочие чертежи водопровода, сведения о расчетных расходах воды и давлении на водах и водоразборных точках, технические паспорта насосов и другого оборудования. При эксплуатации внутреннего водопровода постоянно следят за исправностью запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов.

В системах повторного водоснабжения особо надо следить за исправностью резиновых прокладок пластинчатых установок. Всякие неплотности в оборудовании первого применения воды могут привести к ее загрязнению и исключить ее дальнейшее использование. Всю систему периодически по плану, согласованному с санэпидемстанцией, дезинфицируют. Лаборатории предприятия должны систематически контролировать качество повторной воды по химическим и органолептическим показателям.

Стальные трубы для водопровода прокладывают открытым способом, и во избежание образования конденсата на трубах холодного водоснабжения в отапливаемых помещениях их теплоизолируют.

Особое внимание уделяют ликвидации утечек воды, которые могут увеличить ее расход на 30–50%.

Во избежание гидравлических ударов в водопроводе применяют арматуру шпиндельного типа (вентили, задвижки). Неисправной арматурой (разболтанные клапаны и золотники, ослабление креплений, засорение), а также большой скоростью воды (выше 3 м/с) в трубах создается шум разного рода (треск, свист, гудение и др.). Для устранения шума заменяют изношенные детали, уве-

К ***дроссельным устройствам*** относят диафрагмы, или дроссельные шайбы, представляющие собой металлическое полотно с круглым отверстием в середине, соответствующим расчету. Во время пусконаладочных работ их вставляют между фланцами воздуховода для постоянного регулирования расхода воздуха.

## 9.6. Вентиляторы и вентиляторные установки

Вентилятором называется устройство для перемещения воздуха в системах вентиляции с механическим побуждением при потерях давления в воздуховодах до 12 000 Па.

Вентиляторы классифицируют по принципу действия и конструктивному решению, по направлению вращения рабочего колеса, создаваемому давлению, составу перемещаемой среды.

По принципу действия и конструктивному решению вентиляторы делят на центробежные (радиальные) и осевые. Особую группу составляют крышные вентиляторы. По направлению вращения рабочего колеса различают вентиляторы правого вращения (колесо вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны всасывания воздуха) и левого вращения (колесо вращается против часовой стрелки). В зависимости от создаваемого давления вентиляторы бывают низкого давления — до 1000 Па, среднего — от 1000—3000 и высокого — от 3000—12000 Па. По составу перемещаемой среды различают вентиляторы в обычном исполнении (из листовой стали) — для перемещения чистого или малозапыленного воздуха с температурой до 150°С, в антикоррозийном исполнении (из нержавеющей стали или алюминия) — при наличии в перемещаемом воздухе веществ, разрушающе действующих на обычный металл; в газовзрывобезопасном исполнении (искрозащищенные) — корпус и рабочее колесо делают из разнородных металлов, не дающих искр при соударении, пылевые вентиляторы — для перемещения воздуха, содержащего пыли свыше 150 мг/м$^3$.

Вентиляторы выпускают в следующем конструктивном исполнении (рис. 105):

- с непосредственной насадкой колеса (ротора) вентилятора на вал электродвигателя;
- с соединением их с помощью эластичной муфты;



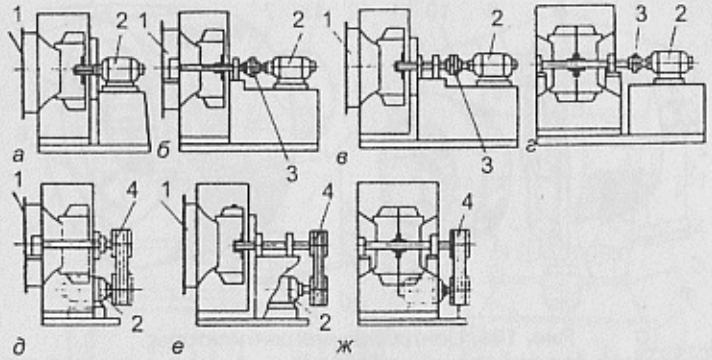



**Рис. 105.** Конструктивные схемы вентиляторов:
*а — на одном валу с электродвигателем; б, в, г — с соединением на эластичной муфте; д, е, ж — с клиноременной передачей и постоянным передаточным отношением: 1 — вентилятор; 2 — электродвигатель; 3 — эластичная муфта; 4 — клиноременная передача*

- с клиноременной передачей и постоянным передаточным отношением (отношение частоты вращения электродвигателя к частоте вращения вентилятора);
- с регулируемой бесступенчатой передачей (вариаторы, гидравлические и электрические муфты скольжения).

*Центробежные вентиляторы* (рис. 106) применяют в крупных системах воздушного отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха с большими сопротивлениями. Промышленность выпускает стальные центробежные вентиляторы типов Ц4-70, Ц4-76, Ц-14-46, ЦП-40, вентиляторы из алюминиевых сплавов Ц4-70, Ц13-50, вентиляторы из разнородных металлов Ц14-46, винипластовые вентиляторы Т4-76.

*Осевые вентиляторы* (рис. 107) используют в системах вентиляции и воздушного отопления производственных зданий при больших объемах воздуха и малых сопротивлениях систем, а также для установок без всасывающих и нагнетательных воздуховодов в окнах, стенках и т. д.

***Крышные вентиляторы*** (рис. 108) могут быть осевыми и центробежными. Их устанавливают на кровлях зданий. В том и другом исполнении рабочее колесо вращается в горизонтальном положении на вертикально расположенном валу. В осевых крышных вен-

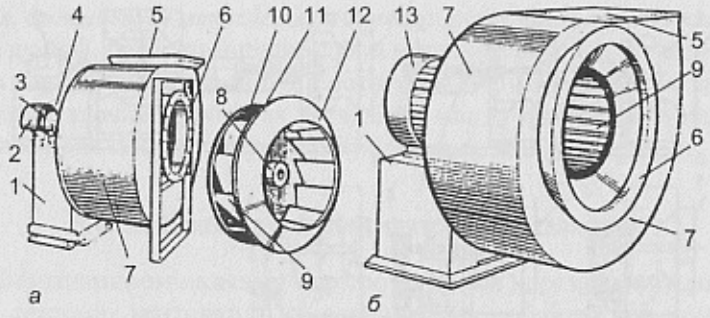



**Рис. 106.** Центробежные вентиляторы:
*а — со шкивом для клиноременной передачи; б — с установкой рабочего колеса непосредственно на валу электродвигателя: 1 — станина; 2 — шкив; 3 — вал; 4 — подшипник; 5 — выходное отверстие; 6 — входной патрубок; 7 — спиральный кожух; 8 — ступица; 9 — лопасть рабочего колеса; 10 — обод рабочего колеса; 11 — рабочее колесо; 12 — переднее кольцо; 13 — кожух вентилятора электродвигателя*

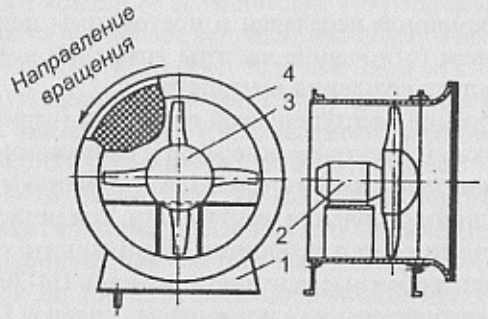



**Рис. 107.** Осевой вентилятор Ц3-40:
*1 — рама; 2 — электродвигатель; 3 — рабочее колесо-крыльчатка; 4 — кожух-обечайка*

тиляторах рабочее колесо насажено на вал электродвигателя, в центробежных кроме непосредственного привода от электродвигателя применяется и клиноременная передача.

Крышные вентиляторы выпускают следующих типов: центробежные простые КЦ3-90 № 4, 5 и 6; центробежные виброизолированные КЦ4-84-В № 8,10 и 12; осевые простые с колесом Ц3-04 № 4, 5 и 6; осевые виброизолированные с колесом Ц3-04 № 8-В и 12-В.



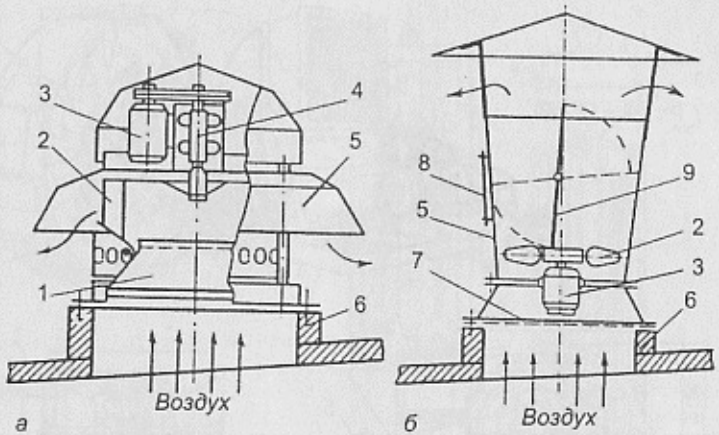



**Рис. 108.** Схемы крышных вентиляторов:
*а — центробежного КЦ-4-84; б — осевого с колесом Ц3-04; 1 — входной патрубок; 2 — рабочее колесо; 3 — электродвигатель; 4 — подшипники; 5 — кожух; 6 — железобетонный стакан; 7 — предохранительная решетка; 8 — люк; 9 — самооткрывающийся клапан*

***Вентиляторная установка*** представляет собой агрегат заводского изготовления, состоящий из вентилятора, гидромуфты и электродвигателя, смонтированных на одной раме.

Вентиляторные установки являются обязательной составной частью центральных кондиционеров и, кроме того, могут поставляться как самостоятельные агрегаты для комплектования систем вентиляции и центрального воздушного отопления. Они бывают правого и левого исполнения, с вентиляторами одностороннего всасывания — производительностью до 120 тыс. $м^3$/ч и двустороннего — 160 тыс. $м^3$/ч и выше, полным напором 600, 800 и 1200 Па.

Вентиляторная установка ВУ-1621 (индекс Кд-16075/2, Кд-16076/2, Кд-16077/2) показана на рис. 109. Все основные узлы установки монтируют на раме. Вентилятор, входящий в состав установки двустороннего всасывания Ц-4-100/2 №16/2 (номер вентилятора соответствует номинальному диаметру рабочего колеса, выраженному в дециметрах), центробежный. Гидромуфта ГУ-40А служит для регулирования производительности по воздуху и плавного пуска вентилятора. Установка приводится в движение от электродвигателя через клиноременную передачу. Безопасная работа

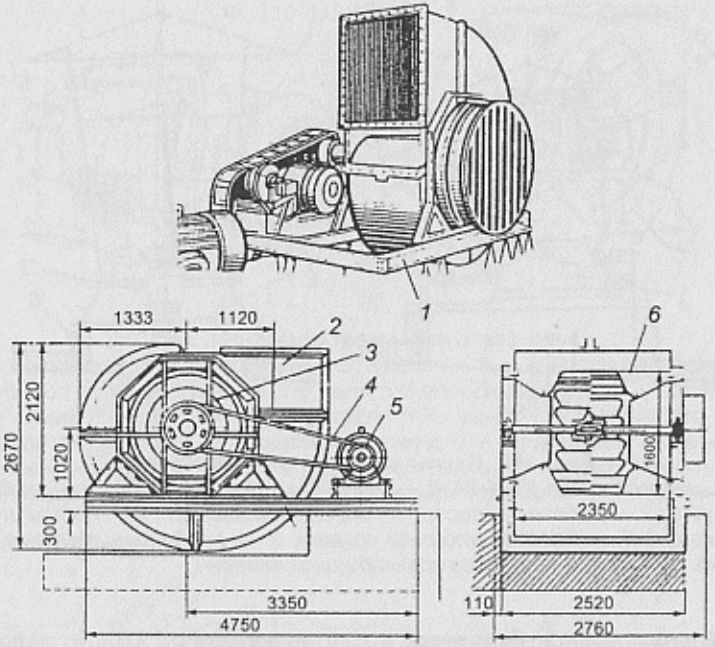



**Рис. 109.** Вентиляторная установка ВУ-1621:
*1 — сварная рама; 2 — вентилятор; 3 — гидромуфта; 4 — клиновые ремни; 5 — электропривод; 6 — узел вала*

вращающихся частей обеспечивается ограждением и заземлением электродвигателя.

## 9.7. Приборы контроля и автоматики

В процессе монтажа, испытания, наладки и эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования воздуха применяют различные приборы контроля и автоматики.

*Ручные анемометры* (рис. 110, *а*, *б*) применяют для измерения скорости движения воздуха (крыльчатые — при скорости 0,3—5 м/с и чашечные — от 1—20 м/с). Крыльчатый анемометр ставят таким образом, чтобы его ось была направлена навстречу потоку воздуха. В отличие от него чашечный анемометр устанавливают вертикально.



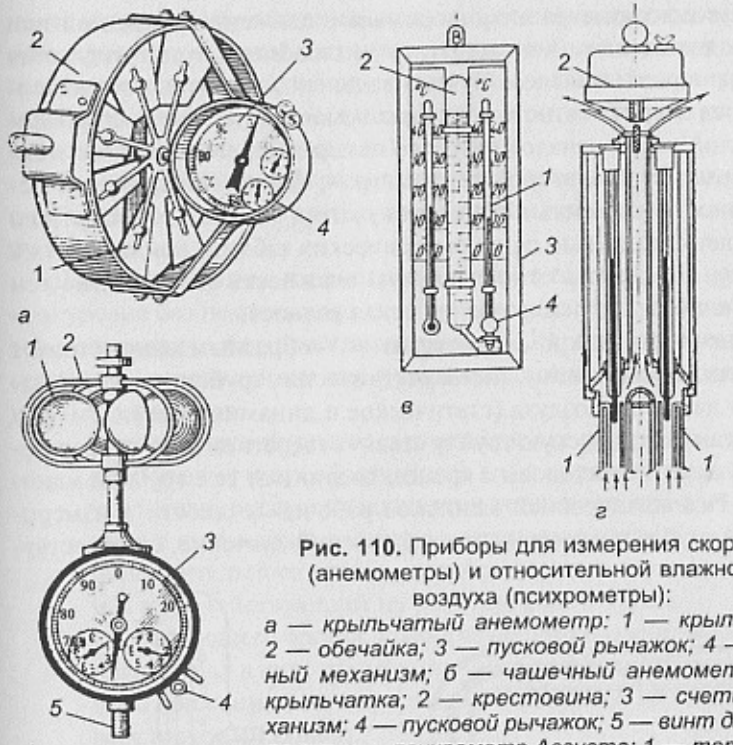



**Рис. 110.** Приборы для измерения скорости (анемометры) и относительной влажности воздуха (психрометры):
*а — крыльчатый анемометр: 1 — крыльчатка; 2 — обечайка; 3 — пусковой рычажок; 4 — счетный механизм; б — чашечный анемометр: 1 — крыльчатка; 2 — крестовина; 3 — счетный механизм; 4 — пусковой рычажок; 5 — винт для крепления; в — психрометр Августа: 1 — термометры; 2 — стеклянный резервуар; 3 — деревянная или пластмассовая планка; 4 — чувствительный элемент; г — психрометр Ассмана: 1 — металлические трубки; 2 — вентилятор*

*Термоанемометрами* измеряют скорость движения воздуха в пределах 0,1—5 м/с. Их работа основана на измерении величины охлаждения датчиков в виде полупроводниковых микротермосопротивлений из платиновой или вольфрамовой проволоки.

*Психрометрами Августа и Ассмана* (рис. 110, *в*, *г*) определяют относительную влажность воздуха. Наиболее совершенный из них второй. Он состоит из двух термометров, чувствительные элементы которых заключены в металлические трубки, служащие для создания вокруг них воздушного потока с постоянной скоростью 2,5—3 м/с. Воздух перемещается вентилятором, вмонтированным

в корпус психрометра и приводимым в движение пружиной или электродвигателем. Для защиты от теплообмена путем излучения трубки покрыты никелем. Чувствительный элемент одного из термометров обернут батистом, который смачивается дистиллированной водой перед началом каждого измерения, его называют мокрым термометром, второй термометр — сухим. Психрометрическая разность (разность показаний сухого и мокрого термометров) позволяет с помощью психрометрических таблиц, прилагаемых к прибору, определить относительную влажность воздуха. Она тем ниже, чем больше психрометрическая разность.

Чашечными микроманометрами и V-образным манометром с присоединением к нему пневмометрических трубок (рис. 111) измеряют давление воздуха (статическое и динамическое).

Пневмометрическую трубку ставят отверстием *1* навстречу потоку воздуха и трехходовым краном соединяют ее с трубкой манометра. Разность уровней менисков рабочей жидкости в измерительной трубке покажет на шкале давлений значение, соответствующее измеряемому давлению воздуха. Соединив трехходовым краном манометр с другим шлангом, соединенным с отверстиями *2* пневмометрической трубки, можно получить разность уровней менисков рабочей жидкости на шкале, соответствующую статическому давлению воздуха в той же точке.

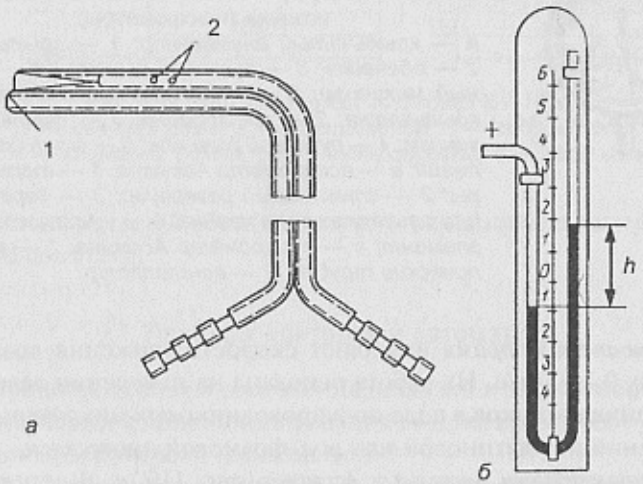



**Рис. 111.** Приборы для измерения статического и динамического давления воздуха:
*а — пневмометрическая трубка: 1 — отверстие, воспринимающее динамическое давление; 2 — отверстия, воспринимающие статическое давление; б — U-образный манометр; h — разность уровней менисков рабочей жидкости, соответствующая давлению в точке измерения*



Техническими и лабораторными переносными термометрами с рабочей жидкостью (ртутью или спиртом) измеряют температуру воздуха.

Для поддержания параметров воздуха в помещении на заданном уровне без постоянного участия человека предназначена система автоматического регулирования (САР). Автоматические регуляторы, выполняющие эти функции, состоят из следующих основных элементов:

- датчика, воспринимающего отклонение параметра от заданного уровня и преобразующего его в определенный сигнал;
- усилителя, воспринимающего и усиливающего сигнал датчика в командный для исполнительного органа;
- исполнительного органа, преобразующего командный сигнал в воздействующий на регулирующий орган;
- регулирующего органа, преобразующего воздействующий на него сигнал в виде прямолинейного возвратно-поступательного движения и стока в непосредственное воздействие на регулируемый объект.

## 9.8. Подбор вентиляционного оборудования

Вентиляционное оборудование подбирают с помощью соответствующих номограмм, таблиц и каталогов. Вентиляторы подбирают после гидравлического расчета воздуховодов, определения сопротивления калориферов и фильтров. При этом учитывают аэродинамические характеристики, составленные для каждого номера и типа вентилятора, в которых графически выражена зависимость между его производительностью по воздуху, давлением и числом оборотов рабочего колеса.

На основе индивидуальных графиков каждого вентилятора можно построить общий график, охватывающий все номера вентиляторов данного типа, который при одинаковых производительности и давлении имеет больший коэффициент полезного дей-

ствия. Подбор вентиляторов по таблицам затрудняет такой выбор, и поэтому ими пользуются очень редко. Значение коэффициента полезного действия вентиляторов при рабочем режиме должно быть не менее 0,85. Кроме КПД учитывают условие бесшумности работы вентилятора, зависящее от назначения здания. Например, для вспомогательных зданий и помещений по этому условию окружная скорость рабочего колеса центробежного вентилятора не должна превышать 25 м/с, а для заводских клубов — 17 м/с, при осевых вентиляторах соответственно не более 35—25 м/с. Для уменьшения шума вентиляторы присоединяют к воздуховодам посредством эластичных (мягких) вставок и устанавливают на звукопоглощающие основания.

Число оборотов рабочего колеса вентилятора следует подбирать также с учетом способа его привода от электродвигателя. При непосредственном приводе частота вращения колеса соответствует частоте вращения электродвигателя. При отсутствии непосредственного привода при помощи шкивов и ремней можно получить любое заданное количество оборотов рабочего колеса. Вентиляторы комплектуют с электродвигателями в агрегаты, соответствующие оптимальным технико-экономическим показателям. При этом используют электродвигатели следующих серий: А2 — защищенного исполнения с чугунной станиной и щитами; А02 — защищенного обдуваемого исполнения с чугунной станиной и щитами; А0А2 — защищенного исполнения с алюминиевой станиной и щитами. Частота вращения этих двигателей — от 730 до 2850 мин$^{-1}$.

Для подбора вентилятора необходимо знать мощность на валу электродвигателя $N$ (в кВт) с учетом потерь в передаче:

$$N = L \cdot P/ (3600\eta_в\eta_п),$$

где $\eta_в$ — КПД вентилятора (по его характеристике); $\eta_п$ — КПД передачи (при клиноременной передаче $\eta_п = 0{,}96$, непосредственной — $\eta_п = 1$).

Установочную мощность электродвигателя определяют умножением его мощности на валу на коэффициент запаса $K_з$, изменяющийся от 1,5 при мощности двигателя 0,5 кВт до 1,05 при 5 кВт и более: $N_у = N \cdot K_з$.

При клиноременной передаче устанавливают ограждение из металлической сетки, натянутой на стальной каркас.



## 9.9. Выбор системы вентиляции для различных помещений

Выбор системы вентиляции производственного или вспомогательного здания зависит от назначения, этажности здания, технологического процесса, массы и характера выделяющихся вредностей.

По характеру и массе выделяющихся вредностей все помещения пищевой и перерабатывающей промышленности подразделяются на три основные группы: 1) вредные вещества в виде пыли, 2) избыток теплоты и влаги, 3) избыток влаги при сравнительно низкой температуре воздуха помещения. Например, для первой группы помещений технически и экономически целесообразна вытяжка местными отсосами через фильтры для улавливания вредностей у места их образования. В зимнее время предусматривают системы приточной вентиляции с механической порциональной подачей воздуха в верхнюю зону помещения. В летнее время осуществляется интенсивный приток воздуха через фрамуги.

Для второй группы помещений (цехов) технически целесообразно применение местных отсосов с механической общеобменной вытяжки из верхней зоны помещения. В зимний и переходный периоды года целесообразна механическая сосредоточенная подача приточного воздуха в верхнюю зону с частичной подачей его в рабочую зону, в теплый период — естественная приточная вентиляция.

В помещениях третьей группы нельзя открывать фрамуги для естественного притока воздуха в теплый период и в то же время нельзя допускать конденсации влаги на потолке. В таких случаях необходима механическая сосредоточенная подача воздуха в верхнюю зону в течение всего года с некоторым охлаждением его летом. Общеобменная вытяжка из верхней зоны в некоторых из них дополняется местными отсосами.

Аналогично с учетом экономической целесообразности выбирают способы и системы вентиляции для других групп производственных помещений.

## 9.10. Монтаж систем вентиляции

Требования к монтажу систем вентиляции в основном сводятся к тому, чтобы были обеспечены проектные параметры воздуш-

ной среды в вентилируемых помещениях. Этого достигают максимальной герметизацией систем воздуховодов и оборудования, необходимой звукоизоляцией, надлежащими условиями для эксплуатации, ремонта и замены оборудования.

Сокращения сроков выполнения монтажно-сборочных работ, сохраняя их высокое качество, достигают при высокой индустриализации работ, заключающейся в использовании стандартных секций вентиляционных камер, блоков и узлов воздуховодов (звеньев воздуховодов, шиберов, дросселей-клапанов, креплений, подвесок, скоб, кронштейнов, фланцев) заводского изготовления или выполненных в мастерских соответствующим механическим оборудованием. На месте, как правило, только собирают изготовленные детали, применяя механизмы для перемещения заготовок и вентиляционного оборудования.

По окончании монтажа проводят пусконаладочные работы. Предварительно проверяют соответствие состава вентиляционного оборудования, размеров и расположения вентиляционной сети, регулирующих устройств чертежам. Если во время монтажа по каким-либо причинам были произведены изменения, их вносят в исполнительные рабочие чертежи.

Смонтированную систему испытывают и регулируют с помощью приборов контроля и автоматики. Проверяют фактический расход приточного и вытяжного воздуха через каждую вентиляционную решетку или местный отсос. Затем сравнивают фактическое значение их с проектным и при необходимости регулируют соответствующими устройствами.

Суммарную производительность отдельных участков системы сравнивают с общей производительностью вентилятора. Разница между значениями не должна превышать 5—10%, она показывает степень герметичности системы. Особенно тщательно герметизируют стыки вентилятора с системой воздухопроводов и оборудования, поскольку здесь наблюдаются наибольший перепад давлений внутри и вне воздуховода и соответственно наибольшие утечки и подсосы воздуха. Проверяют также полное давление, создаваемое вентилятором, а также давление и скорость воздуха в воздуховодах. При отклонениях действительных значений давления и скорости от проектных проверяют частоту вращения вентилятора и двигателя тахометром, при необходимости изменяя ее заменой шкивов



или электродвигателей. Проверяют балансировку колес вентиляторов, которая должна обеспечить плавную и бесшумную работу вентиляторов в системе. При наличии дисбаланса производят дополнительную балансировку.

Для проверки производительности калориферов измеряют температуру воздуха до и после работы калориферов. Используя температуру и расход воздуха через калориферы, определяют их тепловую мощность. Одновременно измеряют температуру воды, поступающей и выходящей из калориферов, и ее массу, при теплоносителе — измеряют пар и его давление. Разность между количеством теплоты, отдаваемой теплоносителем и получаемой воздухом, может составлять не более 5—10%.

## 9.11. Эксплуатация систем вентиляции

Во время эксплуатации необходимо обеспечить постоянную эффективность и долговечность работы систем, своевременный и качественный ремонт с последующей наладкой при минимальных затратах материалов и труда.

На каждую вентсистему, принятую в эксплуатацию, заводят паспорт и журнал эксплуатации. В паспорте отражают все сведения о системе и проведенных планово-предупредительных и капитальных ремонтах и прилагают к нему светокопии рабочих чертежей системы с внесенными в них изменениями в процессе монтажа, а также перечень условий эксплуатации всей системы в целом и отдельных ее элементов. Паспорт составляют в двух экземплярах. Один хранится в техническом архиве предприятия, второй — в службе технического надзора за эксплуатацией вентиляционных систем.

Журнал эксплуатации является основным документом, характеризующим состояние системы. В него вносят все сведения о техническом состоянии системы на данный момент времени, о выполнении работ по обслуживанию и текущему ремонту с указанием срока, вида и места работ. Журнал ведется ответственным за эксплуатацию вентиляционной системы и хранится у главного инженера предприятия.

Состав и численность работников службы эксплуатации вентсистем зависят от мощности предприятия, сложности систем

вентиляции и определяются штатным расписанием. Ответственный за эксплуатацию систем составляет графики ежедневных и периодических осмотров систем, очистки воздухопроводов, фильтров, калориферов, оросительных камер от осевших на них пыли и грязи, проверки креплений и герметичности оборудования и воздухопроводов, осмотра и смазки подшипников, а главный инженер утверждает их.

На крупных предприятиях назначается штатный инженер, который составляет план проведения предупредительного и капитального ремонтов систем и руководит их выполнением, он же отвечает за эксплуатацию систем. Текущий ремонт не планируется и выполняется сменными слесарями и электромонтерами на основе результатов осмотров, записываемых в журнал эксплуатации.

Аварийный ремонт проводят в случаях внезапного выхода из строя вентилятора, калорифера, фильтра. Устанавливают причину и виновника аварии, время простоя и характер ремонта записывают в журнал эксплуатации.

При изменении технологического процесса и замене в связи с этим технологического оборудования, как правило, возникает необходимость в реконструкции вентиляционной системы. Ее выполняют на основании технической документации, утвержденной главным инженером, а результаты реконструкции принимаются специальной комиссией с составлением акта приемки-сдачи после технических и гигиенических испытаний системы.

## 9.12. Требования безопасности и противопожарные мероприятия

В целях безопасной эксплуатации все вращающиеся части вентиляционных установок должны иметь ограждения, корпуса двигателей заземлены, установлены предохранители от перегрузок. Необходимо наличие графика работы вентиляционных систем при пожаре с автоматическим и ручным отключением тех из них, которые не должны работать.

Противопожарные мероприятия способствуют обеспечению взрывной и пожарной безопасности вентилируемых помещений. Эти мероприятия зависят от категории взрывной и пожарной опасности производства (А и Б — взрывопожароопасные, В, Г и Д — пожароопасные, Е — взрывоопасные).



Для помещений с производством категорий Г и Д, расположенных между противопожарными стенами, рекомендуется проектировать общие системы вентиляции. Если же в помещениях с производствами категорий В, Г и Д имеются зоны с производствами категорий А, Б или Е, то общеобменная система вентиляции в этих зонах должна быть отдельной от общей системы.

Если помещения с производствами категорий А, В и Е с выделением вредных газов и паров повышенной опасности (I–III классов) граничат с другими производственными вспомогательными помещениями, то производительность систем приточной вентиляции с механическим побуждением для помещений категорий А, Б и Е предусматривают на 5% меньше производительности систем вытяжной вентиляции тех же помещений. Это делается в целях предотвращения перехода вредных газов в соседние помещения.

## 9.13. Пример расчета приточной системы вентиляции

*Исходные данные.* Расход воздуха $L = 40000$ м³/ч; начальная концентрация пыли (перед фильтром) $e_{нач} = 5$ мг/м³; конечная концентрация пыли (после фильтра) $e_{кон} = 0{,}5$ мг/м³.

Необходимо выполнить схему вентиляции, подобрать воздушный фильтр, определить диаметр воздуховодов и подобрать вентилятор.

*Решение.* Схему вентиляционной системы выполняют в соответствии с размерами производственного здания (рис. 112). Устанавливают две приточные вентиляционные системы с одинаковой производительностью под потолком, подвешивая их к балкам покрытия по длине здания. Вентилятор, калорифер, фильтр размещают в приточной камере на антресолях. Расстояние между приточными отверстиями принимают равным 6 м, за исключением двух первых и одного последнего участков, считая от приточной камеры (1—2, 2—3 и 10—11), имеющих отклонение от указанного расстояния согласно рис. 112 и прилагаемой таблице (табл. 17) результатов расчета диаметра воздуховода.

Для подбора воздушного фильтра вычисляют его требуемую эффективность:

Таблица 17

**Результаты расчета диаметра воздуховода**

| № участка | Длина участка, м | Расход воздуха на участке, м³/ч | Расчетная скорость воздуха, м/с | Диаметр воздуховода, мм | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | расчетный | стандартный |
| 1-2 | 2 | 20000 | 13 | 740 | 710 |
| 2-3 | 4 | 18000 | 12 | 721 | 710 |
| 3-4 | 6 | 16000 | 11 | 719 | 710 |
| 4-5 | 6 | 14000 | 10 | 704 | 710 |
| 5-6 | 6 | 12000 | 9 | 688 | 710 |
| 6-7 | 6 | 10000 | 8 | 667 | 630 |
| 7-8 | 6 | 8000 | 7 | 637 | 630 |
| 8-9 | 6 | 6000 | 6 | 597 | 630 |
| 9-10 | 6 | 4000 | 5 | 534 | 560 |
| 10-11 | 5 | 2000 | 4 | 422 | 400 |

$$\varepsilon = [(g_н - g_к)/g_н]\ 100;$$

$$\varepsilon = [(5 - 0{,}5)/5]\ 100 = 90\%.$$

По найденному значению и начальной концентрации пыли выбирают масляный самоочищающийся фильтр КдМ-2006 К с параметрами $g = 10$ мг/м³, $e = 95\%$, $L_{уд} = 10000$ м³/ч, рабочая поверхность фильтра $F = 20000/10000 = 2$ м², сопротивление фильтра — 100 Па.

Диаметры круглых воздуховодов определяют по формуле $d = 1130\sqrt{L/V}$ или по номограмме (рис. 113). Все результаты расчетов заносят в указанную таблицу результатов расчета диаметра воздуховода.

Вентилятор подбирают по расходу воздуха, приходящемуся на одну вентиляционную установку, и полному давлению, которое должен развивать вентилятор для преодоления сопротивления фильтра, калорифера и воздуховодов. Для сокращения объема расчетных работ суммарные потери давления в данной системе необходимо принять равными 600 Па.

Ввиду сравнительно малой запыленности воздуха выбирают центробежный вентилятор типа ПГА-70.

По номограмме (рис. 114) находят точку пересечения шкалы полного давления (отметка 600) и линии максимального значения



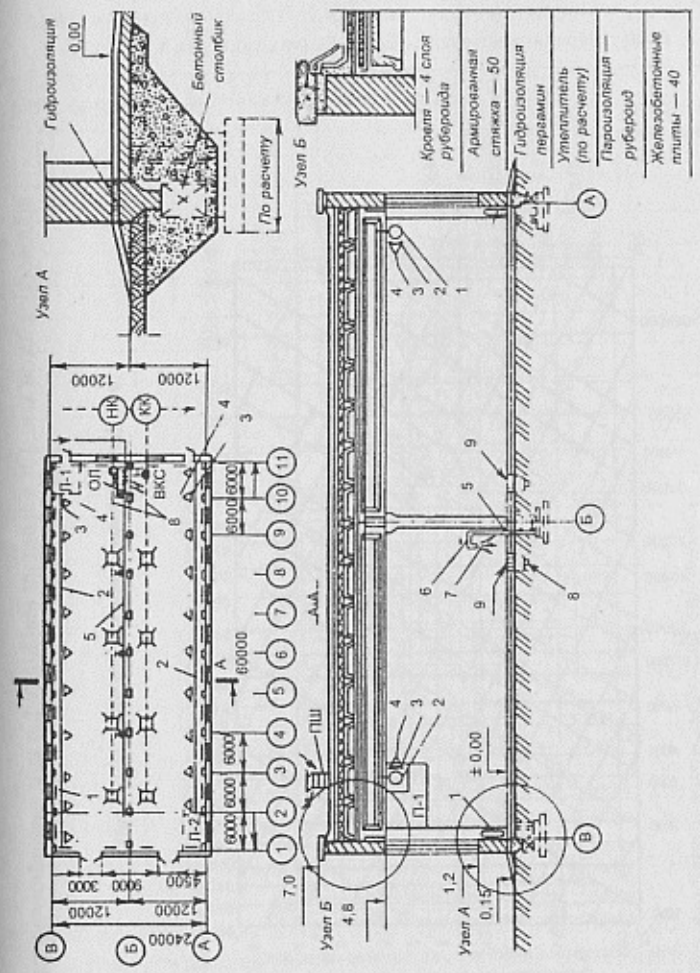



**Рис. 112.** План, поперечный разрез и узлы одноэтажного промышленного здания с полным каркасом:
*П-1 и П-2 — приточные вентиляционные камеры: ПШ — приточная шахта; Н — насос; ОП — обводная линия; ВКС — вытяжной канализационный стояк; КК — канализационный колодец; 1 — радиаторы; 2 — воздухопроводы; 3 — воздухораспределители (решетки на воздухопроводе); 4 — выпуск приточного воздуха; 5 — водопроводная сеть; 6 — водоразборные краны; 7 — выпуск воды; 8 — канализационная сеть; 9 — трапы*

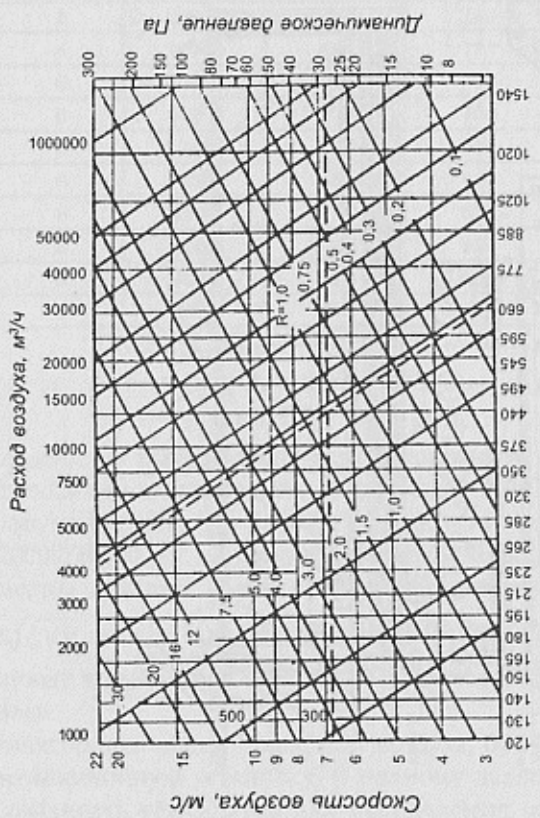



**Рис. 113.** Номограммы для определения диаметра круглых воздухопроводов



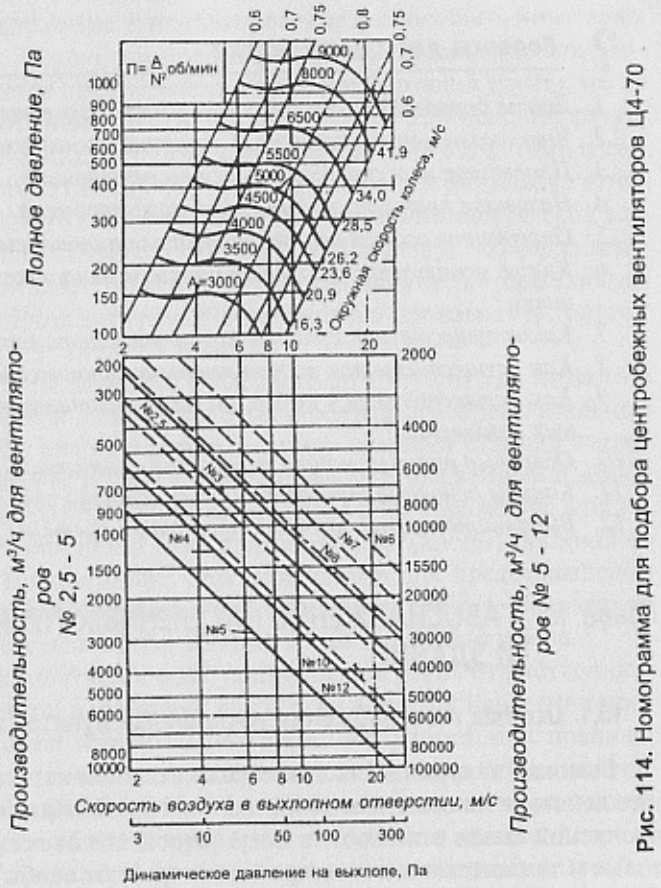



**Рис. 114.** Номограмма для подбора центробежных вентиляторов Ц4-70

КПД вентилятора (0,8), опускаясь из точки их пересечения по вертикали до пересечения со шкалой производительности вентилятора 20000 м³/ч. Точка пересечения попадает на пунктирную линию № 10. Следовательно, надо принять к установке вентилятор Ц4-70 № 10.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Дайте определение «вредностей» и «вредных веществ».*
2. *Что такое «воздухообмен» и «кратность воздухообмена»?*
3. *Приведите классификацию систем вентиляции.*
4. *Назовите принципиальные схемы воздухообмена.*
5. *Определите составные части вентиляционных систем.*
6. *Какие используются вентиляторы и вентиляторные установки?*
7. *Какие существуют приборы контроля и автоматики?*
8. *Как осуществляется подбор вентиляционного оборудования?*
9. *Как осуществляется выбор системы вентиляции для различных помещений?*
10. *Основные правила монтажа систем вентиляции.*
11. *Каковы основные требования безопасности эксплуатации?*
12. *Выполните пример расчета приточной системы вентиляции.*

## *Глава 10.* ГАЗОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ЗДАНИЙ

### 10.1. Основы газоснабжения населенных пунктов и зданий

Высокая калорийность газообразного топлива, его отравляющее действие на организм человека и легкость образования взрывоопасной смеси отличают газовые устройства от всех других бытовых и теплотехнических устройств и требуют особых, более жестких правил производства и приемки работ по их монтажу.

В зависимости от действующего в газовых сетях давления различают газопроводы *низкого* (до 0,05 кг/ см²), *среднего* (от 0,05—3 кг/см²) и *высокого давления* (> 6 кг/ см²).

Питание газовых устройств всех гражданских зданий производится только по газопроводам низкого давления, а промышленные предприятия снабжаются газом от газопроводов среднего и высокого давления.



Внутриквартальные и дворовые газопроводы прокладывают параллельно стенам зданий на расстоянии от них не менее 2 м, чтобы в случае утечки газа он не попадал в здания (подвалы).

Глубина заложения этих газопроводов должна быть ниже зоны промерзания. Только газопроводы осушенного газа (без конденсата) допускается прокладывать в зоне промерзания грунта, но не менее 0,8 м от поверхности земли и только при условии отсутствия динамических нагрузок, через пересечения с дорогами и стенами обязательно газопровод прокладывают внутри гильз (т. е. через трубу большего диаметра, которая и воспринимает на себя всю внешнюю динамическую и статическую нагрузку). К сварке газопроводов допускают только опытных сварщиков, которые обязаны ежегодно проходить испытание на право производить паспортную сварку (или личное клеймо).

Для снижения давления с высокого до среднего или низкого в жилых кварталах и на предприятиях строят газораспределительные станции (ГРС), рядом с которыми устанавливают станции катодного заземления (СКЗМ), которые подают на уложенный в землю газопровод (катод) постоянное минусовое (–) напряжение, а на углеграфитовые электроды (или старые рельсы) (аноды) постоянное плюсовое (+) напряжение. Это необходимо для предотвращения электрохимической коррозии от блуждающих токов и химической коррозии в результате повреждения изоляции трубопровода.

При подземной прокладке газопроводов очень ответственным мероприятием по подготовке к монтажу является нанесение противокоррозийной изоляции на трубы. Эта работа, как правило, должна выполняться на специализированном предприятии вне строительной площадки. На объекте производятся только изоляция сварных стыков и исправление изоляции в местах, поврежденных при транспортировании, хранении и опускании труб в траншею. При надземной прокладке газопроводов по стальным опорам и при прокладке по стенам зданий для противокоррозийной защиты применяют покрытия на основе атмосферостойких лакокрасочных материалов. При изоляции на объекте сварных стыков необходимо наносить грунтовку в тот же день, когда произведена очистка поверхности, а изолировочный слой — не позднее

чем через сутки после огрунтовки. Производство изоляционных работ на трассе во время дождя, тумана, снегопада и сильного ветра не допускаются. Для ремонта поврежденных мест изоляции следует применять липкие ленты, из которых на поврежденные участки наклеивают заплаты в 2—3 слоя с нахлестом на неповрежденную часть изоляции не менее 20 мм.

До начала монтажных работ по прокладке подземных газопроводов должны быть приняты от строителей траншеи и котлованы, о чем составляется акт приемки под монтаж. Для обеспечения надежного основания под газопроводы разрыв во времени между рытьем траншеи и укладкой труб в них должен быть минимальным, а снятие последнего слоя грунта (подготовка постели) и устройство приямков для сварки неповоротных стыков, установки гидрозатворов, конденсатосборников и т. п. должны выполняться непосредственно перед спуском газопроводов в траншеи и установкой этого оборудования. Места случайных переборов должны быть подсыпаны до проектных отметок песчаным или мелким местным грунтом с тщательным уплотнением. Обратная засыпка траншей осуществляется механизированным способом, но после ручной присыпки газопровода песком и испытанием (проверкой) сопротивления гидроизоляции трубопровода (подземного).

## 10.2. Сварка и укладка газопроводов

Наиболее эффективным способом монтажа наружных газопроводов является прокладка их укрупненными блоками (плетями). Отдельные трубы (покрытые антикоррозийным покрытием) сваривают в плеть на бровке траншеи или на земле у опор, а затем при помощи такелажных приспособлений и самоходных кранов спускают в траншею или поднимают на заранее установленные опоры. Этот способ позволяет сваривать трубы в удобных условиях и сводит к минимуму сварку неповоротных стыков (потолочную сварку). Длина плетей зависит от веса труб и грузоподъемности такелажных средств и автокранов.

Первым должен быть сварен пробный стык в условиях, полностью соответствующих условиям стройплощадки (трубы, электроды, проволока, флюс, режим сварки). Пробный стык каждого сварщика подвергается механическим испытаниям, после чего сварщику присваивают номер или шифр, который он обязан наплавить (или выбить клеймо) на расстоянии 30—50 мм от каждого сваренного им стыка. Все виды электросварки (ручная, дуговая, автоматическая, полуавтоматическая, в том числе и сварка в среде углекислого газа) должны выполняться не менее чем в два слоя. Ручная газовая сварка выполняется в один слой.



Приварка патрубков для ответвлений может производиться только в стороне от кольцевого сварного шва на расстоянии не менее 200 мм.

Сварной шов не должен иметь незаваренных кратеров и грубой чешуйчатости, должен быть по всему периметру выпуклым с плавным переходом к поверхности основного металла и иметь ширину не более чем в 2,5 раза больше толщины стенки труб. Высота усиления шва должна быть от 1 до 3 мм, но не более 40% толщины стенки труб. Неудовлетворяющие этим требованиям сварные швы подлежат исправлению.

На подземных газопроводах стыки проверяют, кроме того, физическими методами: на газопроводах низкого давления — 5% общего количества стыка; среднего — 10%, высокого давления — 100%.

Проверку качества сварных стыков и изоляционных работ кроме персонала монтажной организации (сварочной лаборатории) и технического надзора заказчика производит инспекция газового хозяйства местных властей.

По окончании укладки газопровода в траншею проверяют состояние изоляции (на эпид), фактическое расстояние между газопроводом и другими инженерными сетями (особенно электрическими кабелями) и правильность укладки газопровода с уклоном не менее 0,002 в сторону конденсатоотводчиков, водоотводчиков с помощью нивелировки по отметкам узловых точек газопровода. После этого немедленно производят присыпку уложенного газопровода грунтом.

При надземной прокладке газопроводов по стенам промышленных или жилых зданий или по специальным опорам сварные швы должны располагаться не на опоре, а на расстоянии от нее не менее чем 300—500 мм. Фланцевые соединения располагают от опоры не менее чем 400 мм. При укладке газопроводов по стенам зданий расстояние от стены до оси трубы должно быть не менее внешнего диаметра.

Компенсаторы монтируют только при установленных неподвижных опорах. Предварительную растяжку или сжатие П- и Г-образных компенсаторов производят до начала монтажа с учетом температуры окружающего воздуха на величину, указанную в проекте.

Из предметов сетевого оборудования газопроводов устанавливают краны, задвижки, водоотводчики и гидравлические затворы.

Однако опасность взрыва и отравления людей определила ряд особых требований к установке оборудования газовых сетей. Так, запорную арматуру запрещается устанавливать в проходных каналах и технических коридорах; при установке кранов, задвижек, водоотводчиков и гидрозатворов подземных газопроводов применяют устройства для управления ими с поверхности земли, причем штоки органов управления защищают особыми устройствами — *коверами*. Их устанавливают на бетонные основания, а траншеи в этих местах засыпают песком с послойным уплотнением. При необходимости устройства на сети колодцев днища их выполняют до укладки труб, а стены и перекрытия — после окончания монтажных работ и обеспечивают при установке перекрытия плотность швов против попадания в колодец поверхностных вод.

## 10.3. Устройство ответвлений и вводов. Техника безопасности

Врезка ответвлений в газопровод высокого и среднего давления производится после отключения участка, к которому присоединяется ответвление, снижения на этом участке давления и по возможности продувки его воздухом. Перед началом сварки или резки в колодцах и котлованах проверяется загазованность воздуха. Во избежание большого пламени при резке и сварке места выхода газа должны замазываться глиной с асбестовой крошкой. Врезка, как правило, должна выполняться в дневное время. Число рабочих при врезке должно быть не менее двух, а при работе в колодцах, туннелях или глубоких траншеях — не менее трех. Каждый рабочий должен иметь противогаз и обувь без стальных подковок либо работать в галошах (искробезопасность). Инструмент и приспособления должны гарантировать невозможность искрообразования при ударе, в частности, режущая часть зубил обильно смазывается тавотом, солидолом либо другой густой смазкой. На поверхности земли у котлована с наветренной стороны должны находиться два человека, держащие концы веревки от спасательных поясов рабочих, находящихся в котловане. После врезки выполненный шов должен быть проверен на плотность обмазкой мыльным раствором.



## 10.4. Конструкции присоединения ответвлений к магистральному газопроводу

Конструкция присоединения может быть осуществлена приваркой либо с помощью седелки (рис. 115, *а*), либо с помощью накладных половинок тройника (рис. 115, *б*). В обоих случаях после приварки седелки или тройника автогеном в стенке магистрального газопровода через штуцер прожигают отверстие и к штуцеру приваривают трубопровод ответвления с помощью надвижной муфты.

Все виды сварочных работ при врезке осуществляют исключительно газовой сваркой. На каждом абонентском вводе на расстоянии не менее 2 м от стены здания или ограждения устанавливают запорные устройства — задвижки, отключающие абонента. Их необходимо устанавливать в повышенных точках (во избежание загрязнения), а ввод укладывать с уклоном не менее 0,02 в сторону магистрального газопровода (для отвода самотеком конденсата).

Вводы в здания при подземных газопроводах осуществляют через стены здания выше подошвы фундамента в первый этаж. На вводе в доступном для обслуживания месте устанавливается отключающее устройство (задвижка, пробковый газовый кран). Ввод газопровода в подвал разрешается только в технический коридор, изолированный от других помещений подвала, имеющий высоту не менее 1,6 м, ширину не менее 1,5 м и два выхода, не связанных с другими частями здания. Проход газопровода сквозь стены и другие строительные конструкции осуществляется с уставной гильзы, заполненной битумом и законопаченной просмоленной прядью. Трубопровод должен быть окрашен до установки на него гильзы.

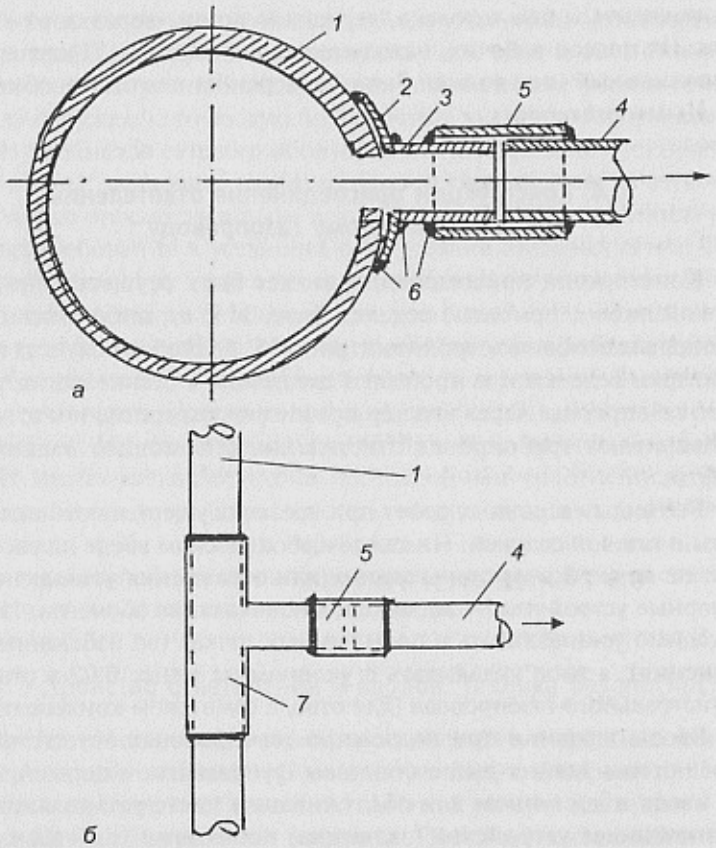



**Рис. 115.** Конструкции приспособления ответвлений к магистральному газопроводу:
*а — с помощью седелки; б — с помощью накладного сварного тройника: 1 — основной газопровод; 2 — накладка; 3 — присоединительный патрубок; 4 — присоединяемый газопровод; 5 — надвижная муфта; 6 — сварка; 7 — тройник*

## 10.5. Испытание и сдача наружных газовых сетей

Наружные газовые сети подвергают испытаниям на прочность и плотность после установки всей отключающей арматуры. Их испытывают с обязательным участием эксплуатирующей газовой



организации (представителя) и составлением соответствующего акта. Перед испытанием газопроводы должны быть продуты воздухом для удаления окалины, влаги и засорения.

Испытания всех газопроводов на прочность и плотность производятся сжатым воздухом. Давление контролируется манометрами. Заглушки, устанавливаемые при испытании, должны быть рассчитаны на прочность.

Газопроводы при испытании на прочность необходимо выдерживать под давлением не менее 1 ч, после чего давление снижают до нормы, установленной для испытания на плотность. Затем производится осмотр газопровода и арматуры и проверяется плотность сварных, фланцевых и резьбовых соединений обмазкой их мыльным раствором. Повышение и понижение давления должно производиться плавно, а устранение обнаруженных испытанием дефектов производить только после снижения давления до атмосферного.

## 10.6. Монтаж систем внутреннего газоснабжения

В системах внутреннего газоснабжения зданий поддерживается давление, обеспечивающее нормальную работу газовых приборов, для этого на вводах газопровода иногда необходимо устанавливать регуляторы давления. Регуляторы давления устанавливают обычно до газового счетчика на вводе в квартиру или дом.

Особенно тщательно должны быть проверены дымоходы для отвода продуктов сгорания от газовых приборов, печей и т. д. Дымоходы должны, как правило, устраиваться во внутренних стенах зданий, причем в строящихся зданиях каждый прибор должен иметь самостоятельный дымоход. Площадь поперечного сечения дымохода должна быть не меньше чем у патрубка присоединяемого к нему газового прибора. Дымоходы должны быть выполнены из кирпича 1-го сорта, асбоцементных или гончарных труб. Дымовые каналы должны быть выведены на 0,5 м выше прилегающей части крыши. В дымоходах необходимо проверять наличие нормальной тяги, плотность стенок и обособленность канала (проверка задымлением), наличие и исправность разделок от сгораемых конструкций зданий.

Согласно правилам безопасности объем помещений ванных комнат и объединенных санузлов при установке в них проточного водонагревателя должен быть не менее 7,5 м$^3$. Двери этих помещений должны открываться наружу и иметь в нижней части решетку не менее 0,02 м$^2$ или зазор между дверью и полом не менее 5 см. Помещения, где будут установлены газовая плита или водонагреватель, должны иметь вытяжные вентиляционные каналы.

Особая опасность утечки газа для здоровья и жизни людей требует повышенного внимания к качеству оборудования и материалов, применяемых для монтажа систем газоснабжения. Необходимо следить за тем, чтобы на газопроводах устанавливалась отключающая арматура, специально предназначенная для газовой среды и рассчитанная на рабочее давление. Газовые краны до установки должны быть проверены на герметичность воздухом, а задвижки — керосином в закрытом состоянии в течение 10 мин.

Для систем газоснабжения допускаются только сильные соединительные части или из ковкого чугуна. В качестве уплотнителя в резьбовых соединениях должна применяться только льняная прядь, пропитанная свинцовым суриком или белилами, замешанными на натуральной олифе. Применение пеньки и заменителей натуральной олифы не допускается. Прокладки для уплотнения фланцевых соединений должны быть изготовлены из паронита толщиной 2—3 мм и пропитаны перед установкой минеральным маслом. У газового оборудования и приборов все места, подверженные коррозии, до установки должны быть покрыты антикоррозийной смазкой, а все отверстия для поступления газа закрыты заглушками.

При монтаже газопроводов сухого газа внутри зданий они прокладываются по стенам здания без уклонов, а стояки устанавливаются строго вертикально. В местах пересечения междуэтажных перекрытий и других строительных конструкций газопровод должен заключаться в гильзу.

При установке на газопроводах арматуры необходимо отключающую задвижку (на вводе) располагать на горизонтальном участке шпинделем вверх (вертикально), краны на линии — осью параллельно стене, т. е. эта арматура должна быть легкодоступна для управления и ремонта.



Газовые счетчики устанавливаются на вводе газопровода в помещения в местах, защищенных от случайного механического повреждения.

Особенностью монтажа систем внутреннего газоснабжения, требующих повышенной плотности соединений, является монтаж с применением сварки. Резьбовые и фланцевые соединения допускаются лишь в местах установки отключающих устройств, регуляторов давления и др. Во время сварки в зимнее время и при остывании стыка свободные концы труб необходимо закрывать инвентарными заглушками.

Газопроводы прокладывают открыто по стенам любой конструкции и из любых материалов, кроме фанерных. Не разрешается прокладывать газопровод по фрамугам и обрамлению оконных и дверных проемов (коробкам и наличникам). В местах проходов их размещают на высоте не менее 2,2 м от пола и не менее 10 см от потолка. Расстояние труб от стены должно быть не менее 1/2 диаметра трубы, но не более 100 мм.

При пересечении газопровода с другими трубопроводами или электропроводкой они не должны соприкасаться.

Вводы газопровода в жилые здания делают в лестничные клетки или в помещения кухонь.

Крепление газопроводов диаметром до 40 мм производится разъемными хомутами, а более 40 мм они укладываются плотно без зазора на кронштейны или подвески. Расположение опор и расстояние между ними определяются проектом. Приварка средств крепления к газопроводам не разрешается.

Присоединение газовых приборов к газопроводу производится стальными трубами. На каждом присоединении должен быть установлен кран в легкодоступном месте и как можно ближе к газовой горелке. Перед каждым газовым прибором после газового запорного крана устанавливают сгоны, позволяющие отсоединять этот прибор для ремонта или замены без выключения всей газовой сети. Выпуск воздуха из сети при подаче газа к приборам производится через эти приборы.

Все внутренние газопроводы после окончания монтажа и испытаний окрашивают масляной краской: в жилых зданиях — под цвет стен, в технических коридорах — желтый; в промышленных зданиях — светло-коричневый цвет.

Приемка системы оформляется особым актом, отличным от актов приемки сантехнических устройств.

Пуск газа в газопроводы (после проведения всем жильцам или рабочим-эксплуатационникам инструктажа) производит представитель горгаза в присутствии представителя монтажной организации. При заполнении газопроводов газом они продуваются до вытеснения воздуха полностью. Помещение, в котором производится продувка газопровода, должно проветриваться, затем проводится наладка оборудования.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Какое рабочее давление в газопроводах используется в различных сетях?*
2. *Каковы основные требования газоснабжения населенных пунктов и зданий?*
3. *Каковы требования к монтажу и сварке газопроводов?*
4. *Правила устройства вводов и ответвлений.*
5. *Техника безопасности при врезках в действующие магистральные сети.*
6. *Конструктивные особенности присоединения ответвлений к магистральному газопроводу.*
7. *Назовите требования к испытанию и сдаче наружных и внутренних газовых сетей.*

*Раздел IV*

# ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

## *Глава 11.* ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

### 11.1. Строительное проектирование

Предприятия мясной и молочной промышленности (и любой другой отрасли) проектируют на основе схем развития и размещения этих отраслей и производительных сил по экономическим районам страны. Содержание, состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации, по которой должно осуществляться строительство новых, расширение, реконструкция и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений, установлены СНиПами. Проектно-сметная документация на экспериментальное строительство разрабатывается в соответствии с действующим Положением.

Проектирование нового строительства, расширение, реконструкция и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений осуществляются на основе решений, принятых в утвержденных технико-экономических обоснованиях (ТЭО) или технико-экономических расчетах (ТЭР) строительства. При проектировании предприятий, зданий и сооружений произ-

водственного назначения учитывают решения, принятые в схемах и проектах районной планировки, в генеральных планах городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов, в проектах планировки промышленных зон (районов), а также в схемах генеральных планов групп предприятий с общими объектами (промышленных узлов).

Задание на проектирование составляется заказчиком проекта с участием генерального проектировщика.

В соответствии со СНиП 1.02.01-85 предприятия, здания и сооружения проектируют в одну стадию — рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости — или в две стадии — проект со сводным сметным расчетом стоимости и рабочая документация со сметами.

В одну стадию проектируют предприятия, здания и сооружения, которые будут строить по типовым и повторно применяемым проектам, а также технически не сложные объекты и объекты технического перевооружения. Другие объекты строительства, в том числе крупные и сложные, проектируют в две стадии.

Разработка рабочих проектов и проектов на строительство предприятий, зданий и сооружений осуществляется на основе утвержденных ТЭО (ТЭР) материалов по выбору площадки для строительства и в соответствии с заданием на проектирование.

В рабочих проектах и проектах с учетом вариантных проработок осуществляют необходимую доработку и детализацию проектных решений, уточняют основные технико-экономические показатели, в том числе стоимость строительства проектируемых предприятий, зданий и сооружений.

Рабочие проекты и проекты с учетом вариантных проработок необходимо разрабатывать без излишней детализации в составе и объеме, достаточных для обоснования принимаемых проектных решений, определения объемов основных строительно-монтажных работ, потребности в оборудовании, строительных конструкциях, материальных, топливно-энергетических, трудовых и других ресурсах, а также для правильного определения сметной стоимости строительства, имея в виду, что при составлении рабочей документации по отдельным особо сложным объектам проектная организация может осуществлять дополнительные проработки, уточняющие материал проектов.



Рабочий проект и проект на новое строительство, расширение и реконструкцию действующих предприятий, зданий и сооружений или их очередей состоит из следующих разделов: общая пояснительная записка, генеральный план и транспорт, технологические решения, научная организация труда рабочих и служащих, управление предприятием, строительные решения, организация строительства, охрана окружающей среды, жилищно-гражданское строительство, сметная документация, паспорт рабочего проекта (проекта).

Для определения сметной стоимости проектируемых предприятий, зданий, сооружений или их очередей составляют следующую документацию:

- *в составе рабочего проекта* (при одностадийном проектировании): сводный сметный расчет, сводка затрат, объектные и локальные сметы (при продолжительности строительства до двух лет, а также при строительстве, осуществляемом по типовым и повторно применяемым проектам), объектные и локальные сметные расчеты (при продолжительности строительства свыше двух лет, а на объем работ первого года строительства — объектные и локальные сметы), сметы на проектные и изыскательские работы;
- *в составе рабочей документации:* объектные и локальные сметы.

Типовые проекты промышленных зданий привязывают к местным условиям строительства с учетом топографических, геологических, гидрогеологических, климатических особенностей района строительства, т. е. частично их корректируют. В ходе привязки типовых проектов выполняют следующие проектные работы: определяют координаты и отметки частей зданий и сооружений; уточняют глубину заложения фундаментов и размеры их конструктивных решений и подземного хозяйства с учетом гидрогеологических условий; дорабатывают конструкции цокольных и подвальных этажей, а также узлов примыкания к зданиям галерей, эстакад, тоннелей и других сооружений с учетом рельефа местности строительства.

## 11.2. Проектно-изыскательские работы и обоснование выбора площадки для строительства предприятия

До утверждения задания на проектирование при составлении технико-экономического обоснования строительства объекта выбирают площадку для постройки предприятия и проводят на ней технические изыскания.

Место расположения площадки должно обеспечивать возможность соблюдения санитарных и противопожарных норм, применения рациональных решений по водоснабжению, энергоснабжению, отводу сточных вод, охране водоемов, почвы и атмосферного воздуха от загрязнения сточными водами и промышленными выбросами, а также по наиболее целесообразному расселению работающих данного предприятия и доставки их к месту работы.

Под строительную площадку необходимо использовать малоплодородные земли.

При наличии двух или нескольких географических точек или площадок в одном географическом пункте до составления окончательных выводов по технико-экономическому обоснованию строительства объекта проводят технические изыскания по каждой площадке для сравнения различных вариантов. В процессе этих изысканий определяют размеры и рельеф площадки, геологические, гидрогеологические и метеорологические данные, а также источники снабжения проектируемого объекта энергией, водой, способы очистки и удаления сточных вод. Кроме того, выявляют наилучшие условия использования железнодорожных, водных и автомобильных путей сообщения, а также условия организации на площадке строительных и монтажных работ — обеспечение энергией, водой в период строительства, обеспечение жильем рабочих, возможность получения местных строительных материалов, готовых строительных элементов, конструкций и т. д.

Проектно-изыскательские работы выполняются соответствующими организациями на основании договоров, заключаемых с ними заказчиком в соответствии с Правилами о договорах на выполнение проектных и изыскательских работ. В роли заказчика обычно выступают ведомство, промышленные объединения и предприятия, которые могут распоряжаться средствами, выделяемыми в установленном порядке для выполнения этих работ. Подрядчиком является проектная организация — генеральный проектировщик, которая в необходимых случаях привлекает на договорных началах субподрядные специализированные проектные и изыскательские организации для разработки проектов отдельных зданий и сооружений, частей, разделов проекта и выполнения отдельных видов работ.



При размещении предприятий на территории городов проектной организации выдаются архитектурно-планировочное задание, составленное местными органами власти, а также строительный паспорт участка и технический паспорт. В техническом паспорте должны быть отражены результаты инженерных и экономических изысканий, проведенных в районе строительства.

Инженерные изыскания ведут по следующим направлениям: *топографические* — определение рельефа местности, наличия лесов, водных источников, болот, промышленных предприятий, дорог, различных коммуникаций; *геологические* — установление характера строения и напластования грунтов; *гидрогеологические* — определение характеристики воды и глубины ее залегания; *климатологические* — определение температуры и влажности воздуха в различные периоды года, количества атмосферных осадков, направления и скорости ветров.

Проектно-изыскательские работы выполняют с применением современных экономико-математических методов и использованием межотраслевых и отраслевых программных средств для вычислительной техники, систем автоматизированного проектирования и систем обработки информации, способствующих сокращению сроков проектирования и снижению затрат на выполнение работ, повышению производительности труда работников проектно-изыскательских организаций и качества проектной документации.

Разработку проектно-сметной документации по крупным предприятиям и сооружениям (электроснабжение, теплоизоляция, вентиляция, антикоррозийная защита строительных конструкций, изделий и др.) поручают проектным организациям, специализированным по видам работ, а разработку проектов организации строительства выполняют с обязательным участием проектных организаций министерств и ведомств, осуществляющих строительство.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Что такое строительное проектирование?*
2. *Чем обусловлена необходимость проектно-изыскательских работ и обоснования выбора площадки для строительства предприятия?*

# *Глава 12.* ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА И ОБОРУДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

## 12.1. Инженерная подготовка и оборудование строительных площадок

*Общие положения.* Одним из важных этапов строительства зданий и сооружений является подготовка строительного производства. Здесь закладывается основа планомерного развертывания строительно-монтажных работ и взаимоувязанной деятельности всех участников строительства объекта.

В этот период решаются вопросы обеспечения стройки проектно-сметной документацией, отвод площадки под строительство, обеспечение строительства подъездными путями, электро-, водо-, теплоснабжения, организации поставки оборудования, конструкций, материалов и заключение договоров подряда и субподряда, оформление разрешений и допусков на производство работ.

Работы по подготовке объекта к строительству можно разделить на внеплощадочные и внутриплощадочные.

*Внеплощадочные подготовительные работы* включают строительство подъездных путей, линий электропередачи, сетей водоснабжения, канализационных коллекторов с очистными сооружениями, жилых поселков для строителей, создание при необходимости производственной базы строительных и монтажных организаций.

*Внутриплощадочные подготовительные работы* включают сдачу-приемку геодезической разбивочной сети (основы) для строительства, освобождение строительной площадки для производства строительно-монтажных работ — расчистку территории, снос строений и др., планировку территории, отвод поверхностных и грунтовых



вод, искусственное понижение (в необходимых случаях) уровня грунтовых вод, перекладку существующих и прокладку новых инженерных сетей, устройство постоянных и временных дорог, обеспечение строительной площадки временным ограждением, противопожарным водоснабжением и инвентарем, освещением.

## 12.2. Расчистка территории

Снос зданий и сооружений выполняют разрушением механическим и взрывным способами или разборкой с использованием соответствующих механизмов и оборудования. Эти работы относят к категории сложных и трудоемких, и от их успешного проведения зависят общая продолжительность возведения объекта и предоставление фронта работ для развертывания строительства.

Указанные работы к тому же являются в определенной степени опасными и требуют особого внимания. Перед обрушением вертикальных частей строения снимают элементы кровли, а сами вертикальные части для предотвращения разброса обломков следует обрушить внутрь.

Для разрушения зданий применяют автокраны или краны-экскаваторы (драглайн), оборудованные в качестве ударного элемента металлическим шаром или другими механизмами (клин-бабой). Сборные и монолитные железобетонные и металлические строения разбирают по ранее разработанной схеме сноса.

Разрушение конструкций зданий и монолитного железобетона может осуществляться гидравлическими экскаваторами, оборудованными гидромолотами. Подвеска гидромолота должна предусматривать возможность его работы в горизонтальном направлении. Эффективно применение гидроклиновых установок. В комплект установки входят четыре гидроклина (рис. 116).

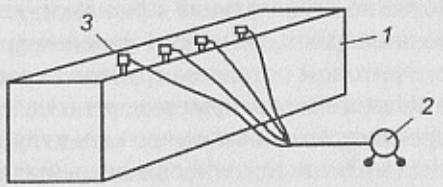



**Рис. 116.** Комплект гидроклиновой установки:
*1 — фундамент; 2 — гидроклиновая установка; 3 — гидроклинья*

В высверленное отверстие опускают гидроклин, после чего из гидросистемы подают жидкость под давлением. В результате действия расклинивающегося усилия происходит разрушение бетона или образование в нем трещин. При незначительной ширине трещины, когда перерезание арматурных стержней в бетоне невозможно, в нее устанавливают два расширителя (клинья) толщиной 5—7 мм и после расширения трещины вновь применяют гидроклин для окончательного отделения части монолита. Разрушение производится послойно, на глубину сверления.

Линии связи и электропередачи, подземные коммуникации и другие сооружения, затрудняющие производство работ на объекте, переносят в места, определяемые проектом, под наблюдением специалистов соответствующих организаций.

Крупные камни и негабаритные предметы, перемещение которых затруднено, предварительно дробят. Для механического дробления наиболее эффективно применение гидромолотов, которыми оснащают гидравлические экскаваторы. Скальные грунты разрушают взрывом. Это специальные пиротехнические работы. Перемещение камней или их обломков, погрузка в транспортные средства с последующим вывозом их за пределы строительной площадки могут производиться с помощью клещевых захватов, которыми оснащаются современные гидравлические экскаваторы.

## 12.3. Отвод поверхностных и грунтовых вод

Водоотвод, предназначенный для защиты строительной площадки от стока поверхностных вод (паводковых, талых, ливневых), выполняют в виде водоперехватывающих нагорных и водоотводящих канав, подпорных стен, оградительного обвалования и системы дренажей. Тип защитных устройств, их размеры зависят от рельефа местности, расположения строительной площадки, гидравлического напора воды. На площадках с высоким уровнем грунтовых вод и их интенсивным притоком осушение грунтов целесообразно вести с помощью открытого или закрытого дренажа.

*Открытый дренаж* устраивают в виде канав глубиной до 1,5 м, имеющих пологие (1 : 2) откосы и необходимый для течения воды уклон. В отдельных случаях канавы могут заполняться дренирующими материалами (щебень, гравий, крупный песок).



Основной вид дренажа — *горизонтальный закрытый*, состоит из трубчатых дрен с водоприемными отверстиями, оборудованных фильтром, коллекторов и устьевых сооружений. Такие дренажи более эффективны, так как в трубе скорость движения воды выше, чем в дренирующем материале. В качестве дрен используются гончарные трубы (керамические, асбестоцементные, бетонные из обычного и пористого (фильтрующего) бетона, стеклопластиковые, пластмассовые и бумажные).

В последние годы в строительной практике значительно возросли внимание и требования к применению экологически чистых, природосберегающих методов и технологических приемов. Это в первую очередь относится к сохранению и сбережению древесной растительности, поверхностного слоя грунта, предотвращению загрязнения грунтовых вод.

Растительный слой грунта на площади будущего земляного сооружения срезается на глубину 15—25 см бульдозерами и автогрейдерами (скреперами), собирается в отвалы для последующего использования по озеленению и благоустройству строящегося объекта или другой территории.

Зеленые насаждения, не подлежащие вырубке и пересадке, обносят оградой. Деревья и кустарники, пригодные для озеленения, должны быть пересажены и сохранены от повреждений.

## 12.4. Геодезическая разбивочная основа

Геодезическая разбивочная основа служит для плановой и высотной привязки на местности проекта строящихся зданий и сооружений, а также геодезического обеспечения строительства на всех стадиях возведения объекта.

Геодезическую разбивочную основу выполняют в виде строительной сетки, продольные и поперечные оси которой представляют собой прямоугольные координаты, определяющие положение здания или сооружения на местности. При строительстве одиночных зданий в районах имеющейся застройки в качестве геодезической разбивочной основы могут служить «красные линии».

Для выноса строительной сетки на местность используют имеющуюся на площадке геодезическую сеть (опорные точки) (рис. 117). По координатам геодезических пунктов и пунктов сетки

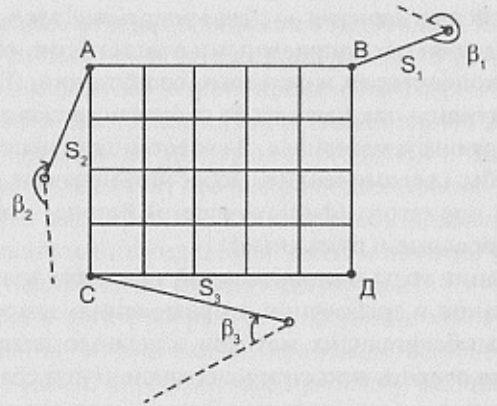



**Рис. 117.** Схема выноса на местность строительной сетки

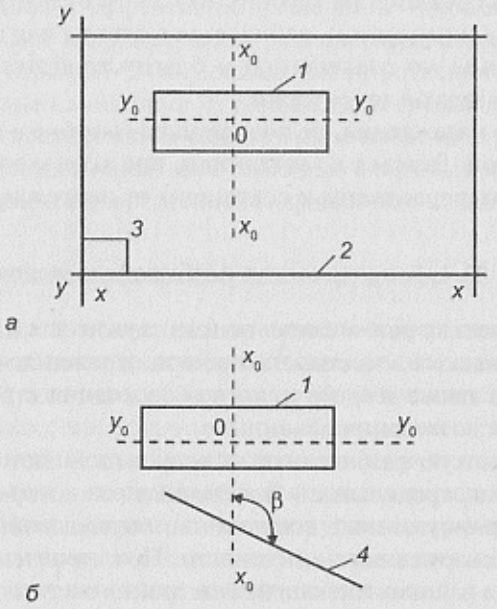



**Рис. 118.** Способы переноса на местность основных осей здания:
*а — на основе строительной сетки; б — на основе «красной линии»: 1 — здание; 2 — строительная сетка; 3 — оси условной координатной сетки; 4 — «красная линия»*



определяют полярные координаты $S_1$; $S_2$; $S_3$ и углы $\beta_1$; $\beta_2$; $\beta_3$, по которым наносят направления сетки *AB* и *AC*. Продольные и поперечные оси сетки закрепляют на местности постоянными знаками с плавной точкой. Знаки делают из заполненных бетоном и прочно закрепленных в грунте отрезков труб, из забетонированных отрезков рельсов и т. д. Подобным образом фиксируют и «красную линию».

В качестве координат принимают близлежащие стороны строительной сетки, а их пересечение за ноль отсчета.

Привязку осуществляют к «красной линии» (рис. 118). При этом определяют угол β между главной осью здания и «красной линией» и расстояние от точки *A* до точки *O* пересечения главных осей.

В процессе строительства необходимо следить за сохранностью и устойчивостью знаков геодезической разбивочной основы.

## 12.5. Инженерные сети на городских улицах

К инженерным сетям относят подземные сети (водопровод, канализация, теплофикация, газоснабжение, электроснабжение, слаботочные сети и др.) и надземные сети (электроосвещение, телефонная связь, контактные провода городского электротранспорта и др.). Воздушные сети применяют преимущественно для устройства контактных проводов трамвая и троллейбуса, так как большая наземная сеть проводов и опоры для них ухудшают вид улицы, а обрыв проводов может привести к травмам. Контактную сеть трамвая и троллейбуса подвешивают на кронштейнах, укрепляемых на столбах или на тросах-растяжках, которые прикрепляют к мачтам, столбам и стенам зданий. Контактные провода подвешивают на высоте 5,5—6,3 м (под путепроводами и в тоннелях эту высоту допускается снижать до 4,5—4,2 м).

Подземные сети разделяют на кабельные, трубопроводные и тоннельные (коллекторы или каналы). К кабельным прокладкам относят кабели высокого напряжения (для энергоснабжения и освещения) и низкого напряжения (телефон, телеграф, радио, телевидение, кабели различных ведомств). Трубопроводы используют для водопровода, канализации, теплофикации, газоснабжения, водостока и др. Коллекторы (тоннели, каналы, галереи) предназнача-

ют для раздельной или совместной прокладки отдельных подземных коммуникаций. Коллекторами именуют также основные (магистральные) трубопроводы ливневой и фекальной канализации.

Глубина заложения подземных коммуникаций зависит от их типа, механических воздействий на них проходящего транспорта и глубины промерзания грунтов.

Инженерные сети следует прокладывать преимущественно по улицам и дорогам, для чего необходимо в поперечных профилях улиц, дорог предусматривать места для их укладки: на полосе между «красной линией» и линией застройки — для кабельных сетей (силовые, связи, сигнализации и др.); под тротуарами — для тепловых сетей или проходных коллекторов; на разделительных полосах — для водопровода, газопровода и хозяйственно-бытовой канализации. При ширине улиц в пределах «красных линий» 60 м и более следует предусматривать прокладку сетей водопровода и канализации по обеим сторонам улиц. При реконструкции проезжих частей с устройством дорожных покрытий капитального типа, под которыми расположены подземные инженерные сети, следует предусматривать вынос этих сетей на разделительные полосы и под тротуары.

Прокладку подземных инженерных сетей следует, как правило, предусматривать совмещенной в общих траншеях или в общих коллекторах в следующих случаях: при необходимости одновременного размещения тепловых сетей диаметром 500—900 мм, водопровода диаметром до 500 мм, свыше десяти кабелей связи и силовых кабелей напряжением до 10 кВт, при реконструкции городских магистралей с развитым подземным хозяйством, при недостатке свободных сетей в траншеях, на пересечениях с магистральными улицами и железнодорожными путями.

В общих коллекторах допускается также прокладка воздуховодов, напорной канализации и других инженерных сетей. В коллекторе кабели и трубопроводы размещают следующим образом:

а) при двухрядном расположении сетей: с одной стороны прохода сверху должны быть проложены кабели связи, под ним теплопроводы; с другой стороны прохода — сверху силовые кабели, ниже кабели связи, внизу водопроводы;

б) при однорядном расположении: сверху прокладывают силовые кабели, под ними кабели связи, ниже теплопроводы и водопроводы; водопровод следует располагать ниже теплопроводов и кабелей.



Устройство коллекторов предусматривает обеспечение доступа для постоянного наблюдения за подземными сооружениями и их своевременного ремонта. В связи с этим проходные коллекторы необходимо оборудовать естественной и искусственной вентиляцией.

При прокладке подземных коммуникаций в совмещенных проходных коллекторах требуются, естественно, большие затраты, чем при траншейном их размещении, однако, как показала практика, в процессе эксплуатации эти затраты полностью окупаются за счет исключения необходимости при производстве работ разрывать и восстанавливать дорожные покрытия, при этом не нарушаются внешний облик городских улиц, движение транспорта и пешеходов.

Следует иметь в виду, что при бесканальной прокладке трубопроводов сначала прокладывают сети с более низкими отметками (т. е. в более глубокой траншее) во избежание обрушения стенок траншеи при параллельной прокладке нескольких трубопроводов либо других инженерных коммуникаций.

## ? Вопросы для самопроверки

1. *Что означает «инженерная подготовка и оборудование строительных площадок»?*
2. *Как осуществлять отвод поверхностных и грунтовых вод с территории строительной площадки?*
3. *Назовите геодезическую разбивочную основу для плановой и высотной привязки на местности проекта строящихся зданий и сооружений.*
4. *Опишите порядок (чередование) прокладки инженерных сетей на городских улицах.*

*Раздел V*

# ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

## *Глава 13.* ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 13.1. Основные понятия и определения

Передача электроэнергии от источников к потребителям производится энергетическими системами, объединяющими несколько электростанций.

Приемники электроэнергии городов, поселков, предприятий получают питание от системы электроснабжения, которая является составной частью энергетической системы.

*Системой электроснабжения (СЭС)* называется совокупность взаимосвязанных электроустановок, предназначенных для производства, передачи и распределения электроэнергии.

*Энергетическая система (ЭС)* — совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, потребителей электроэнергии и теплоты, связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

*Электроэнергетическая система (ЭЭС)* — часть энергетической системы без тепловых сетей и потребительской теплоты. Она обеспечивает централизованное электроснабжение потребителей на территории, охватываемой подчиненными ей электрическими сетями.



*Электрическая сеть* — совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии на определенной территории, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, аппаратуры присоединения, защиты и управления.

*Электростанция* — установка или группа установок, предназначенных для производства электро- и зачастую и тепловой энергии.

*Воздушная (ВЛ)* или *кабельная (КЛ) линия электропередачи* — электроустановка, являющаяся совокупностью токоведущих элементов, их изоляции и несущих конструкций, предназначенная для передачи электроэнергии на расстояние.

*Приемный пункт (*или *пункт приема) электроэнергии* — электроустановка, на которую поступает электроэнергия для электроприемников предприятия, жилья и т. д. от внешнего источника питания. В зависимости от потребляемой мощности и от удаленности от источника питания приемными пунктами электроэнергии могут быть УРП, ГПП, ПГВ, ТП, РП, ЦРП.

*Трансформаторная подстанция (ТП)* — электроустановка, предназначенная для преобразования электроэнергии одного напряжения в электроэнергию другого напряжения с помощью трансформатора. Цеховая или квартальная ТП средней или малой мощности преобразует энергию с напряжением 6—10 кВ в напряжение 0,4/0,23 или 0,69/0,4 кВ и служит для питания нескольких близлежащих цехов или жилых кварталов.

*Комплектная трансформаторная подстанция (КТП)* — подстанция, состоящая из трансформаторов, блоков комплектных распределительных устройств и других элементов, поставляемая в полностью собранном или частично собранном и подготовленном для сборки виде.

*Главная понизительная подстанция (ГПП)* — подстанция, получающая питание напряжением 35—220 кВ непосредственно от районной энергосистемы и распределяющая электроэнергию на более низком напряжении 6—35 кВ по всему объекту или отдельному его району, т. е. по ТП предприятия, города, включая и питание крупных ЭП на 6, 10, 35 кВ.

*Глубоким вводом* называется система питания электроэнергией, при которой электрическая линия подводится возможно ближе к электроустановкам потребителей для уменьшения числа ступеней трансформации, снижения потерь мощности и энергии.

*Подстанция глубокого ввода (ПГВ)* — подстанция, выполненная по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении, получающая питание напряжением 35—220 кВ непосредственно от энергосистемы или от узловой распределительной подстанции данного района и предназначенная для питания отдельного объекта или района, или предприятия.

*Узловой распределительной подстанцией (УРП)* называется центральная подстанция, получающая электроэнергию от энергосистемы напряжением 110—330 кВ, как правило, имеющая районное значение.

*Распределительный пункт (РП)* — распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации, не входящее в состав подстанции. РП 6—10 кВ питаются в основном от ГПП, от УРП.

*Центральным распределительным пунктом (ЦРП)* называется центральный пункт, получающий питание непосредственно от районной энергосистемы 6—20 кВ и распределяющей его на том же напряжении по всему объекту или отдельной части.

*Проект* — это изображение будущего устройства или сооружения, выполненное в схемах, чертежах и пояснительных записках на основе логического анализа, расчетов и разработки исходных данных.

*Электрические схемы* определяют принцип действия электроустановки, ее назначение, порядок работы и выполняются в соответствии с ГОСТами.

## 13.2. Общие сведения об электроустановках

*Электроустановками (ЭУ)* называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, трансформации, передачи, распределения электроэнергии и преобразования ее в другой вид энергии, изменения рода тока, напряжения, частоты или числа фаз.



ЭУ разделяют по назначению, роду тока (постоянный или переменный) и по напряжению (до 1 кВ и более).

*Приемник электрической энергии (ЭП)* — аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электроэнергии в другой вид энергии (электродвигатель — крутящий момент; прожектор — свет и т. д.).

Бесперебойность (надежность) электроснабжения электроприемников (потребителей) электроэнергии в любой момент времени определяется режимами их работы. В отношении обеспечения надежности электроснабжения, характера и тяжести последствий от перерыва питания приемники электроэнергии согласно ПУЭ разделяются на следующие три категории:

*Электроприемники I категории* — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Так, например, на нефтехимических заводах и синтетического каучука нагрузка потребителей I категории составляет 75—80% суммарной нагрузки предприятия.

ЭП I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв в их электроснабжении при аварии на одном из ИП может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников (электрозадвижки, вентиляторы, насосы, подъемные машины на подземных рудниках, аварийного освещения и т. д.) должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого источника питания (ИП).

*Электроприемники II категории* — такие ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовому простою рабочих, механизмов, промышленности, транспорта, нарушению ритма жилья в городской и сельской местности.

Это наиболее многочисленная группа. ЭП II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых ИП.

*Электроприемники III категории* — все остальные, менее ответственные ЭП (склады и т. д.), где перерыв в электроснабжении может продолжаться не более суток.

## 13.3. Назначение и типы электрических станций

В зависимости от рода первичного двигателя и способа преобразования различных видов энергии электростанции могут быть тепловыми (в том числе и атомные) и гидравлическими.

Тепловые станции (ТЭС), в свою очередь, делятся на станции с паровыми турбинами, двигателями внутреннего сгорания, газовыми турбинами. Наибольшее применение нашли паровые ТЭС.

***Тепловые электрические станции (ТЭС).***

В настоящее время около 80% электроэнергии производится на тепловых электрических станциях. Они используют органические виды топлива: уголь, нефть, газ, торф, относящиеся к невозобновляемым источникам энергии. Энергией перегретого водяного пара приводится во вращение турбина, соединенная с генератором. Если весь пар, за исключением небольших отборов для подогрева питательной воды, используется для вращения турбины, то такие станции называются *конденсационными* (КЭС) (или ГРЭС), их располагают вблизи районов добычи топлива и водоемов и выдача мощности производится на высоких напряжениях (220—750 кВ).

*Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)* предназначены для централизованного снабжения городов и предприятий электрической и тепловой энергией.

***Атомные электрические станции (АЭС).***

Строительству атомных электростанций (АЭС) с учетом повышения их безопасности уделяется все большее внимание, так как они приводят к значительной экономии органического топлива.

Основной частью АЭС является ядерный реактор, в котором энергия ядерных реакций превращается в тепловую энергию. Ядерный реактор состоит из активной зоны, отражателя, системы охлаждения, системы управления, регулирования и контроля, корпуса и биологической защиты. В рабочие каналы активной зоны помещается ядерное топливо в виде урановых или плутониевых стержней, покрытых герметической оболочкой. В этих стержнях и происходит ядерная реакция, сопровождающаяся выделением большого количества теплоты.



Стержни с ядерным топливом называют *тепловыделяющими элементами (твэлами)*. Количество твэлов в активной зоне может доходить до нескольких тысяч. Деление ядер урана происходит при бомбардировке их нейтронами, в результате чего получаются осколки ядер, нейтроны и другие продукты деления, которые разлетаются в разные стороны с огромными скоростями и, следовательно, имеют большую кинетическую энергию, которая почти полностью превращается в теплоту, которая используется для нагрева теплоносителя, омывающего рабочие каналы твэлов с помощью принудительной циркуляции. В качестве теплоносителя используются обычная вода, тяжелая вода, водяной пар, жидкие металлы, некоторые инертные газы (углекислый газ, гелий). В активной зоне находится замедлитель, уменьшающий скорость деления нейтронов до значения, обеспечивающего управляемую реакцию.

Активная зона окружена отражателем, который возвращает в нее вылетающие нейтроны. Управление реактором производится с помощью специальных стержней, которые вводятся в активную зону и изменяют поток нейтронов, а следовательно, и интенсивность ядерной реакции. За корпусом реактора имеется биологическая защита, выполненная в виде толстого слоя бетона с внутренними каналами для отвода теплоты.

Ядерное топливо обеспечивает значительную экономию органического топлива: 1 кг урана U-235 заменяет 2900 т угля.

***Гидравлические и другие типы электростанций.***

Гидроэлектростанции (ГЭС) сооружаются на реках и водопадах и используют энергию водного потока. Этот источник энергии возобновляемый. Установленная мощность ГЭС составляет более 20% общей мощности электростанции. Перед плотиной ГЭС образуется водохранилище, вода которого используется по мере необходимости для выработки электроэнергии.

Пуск агрегата ГЭС занимает не более 30 с, поэтому резервирование мощности в энергосистеме целесообразно осуществлять агрегатами ГЭС. КПД — 85—90%.

*Приливная гидроэлектростанция (ПЭС)* на Кольском полуострове работает с 1968 г. Мощность ее невелика, но позволяет проводить эксперименты по использованию обратимых гидроагрегатов. Необходимо также преодолеть трудности, связанные со строительством ПЭС (высокая стоимость и пульсирующий характер выдачи мощности).

***Нетрадиционные возобновляемые источники энергии.***

Солнце обладает огромными запасами энергии, однако малая плотность солнечного потока у земной поверхности и нерегулируемый приток его к земной поверхности затрудняют использование этой энергии. Современные фотопреобразователи позволяют преобразовать солнечную энергию в электрическую с КПД 12—20%. В Крыму сооружена первая солнечная установка мощностью 5 МВт. Широкое использование солнечные батареи получили в космонавтике.

*Ветроэнергетическими ресурсами* богаты прибрежная полоса Северного Ледовитого океана и восточные районы. В этих районах могут быть использованы ветроустановки мощностью до 100—300 кВт. Разработаны ветроэлектродвигатели серии «Циклон» и ведутся работы по их совершенствованию.

*Геотермальная энергия.* Термальные воды и пар из скважин широко используются для отопления и горячего водоснабжения на Кавказе, в Казахстане, Западной Сибири, на Камчатке. Буровая скважина, дающая 100 т пара в час, обеспечивает ежегодную экономию 20 т м³ нефти. С 1967 г. успешно эксплуатируется первая в стране Паужетская геоТЭС на Камчатке у вулкана Камбальный, где температура пород на глубине 3,5 км достигает 600°С. С помощью буровых скважин в раскаленные недра направляются речные воды; превратившись в пар, они приводят в действие мощные турбоагрегаты.

Большой интерес представляют методы непосредственного преобразования тепловой энергии в электрическую. Такие методы подразделяются на магнитогидродинамические, термоэлектрические, термоэмиссионные.

Принцип действия *магнитогидродинамического (МГД) генератора* основан на законе электромагнитной индукции: если в магнитном поле перемещать проводник, то в нем возникает ЭДС.



Проводником в МГД-генераторе является поток ионизированного газа (плазма), магнитное поле создается мощными электромагнитами, ЭДС постоянного направления снимается специальными электродами.

*Термоэлектрические генераторы (ТЭГ)* основаны на возникновении термо-ЭДС при перепаде температур в спае металлов или в полупроводниках *n* и *c*. ТЭГ широко используются в качестве источников энергии на космических объектах, ракетах, подводных лодках, маяках и др. Их КПД — 10%.

*Термоэмиссионные генераторы* основаны на явлении термоэлектронной эмиссии с горячего катода. В энергетических целях возможно использование ядерных термоэмиссионных преобразователей, в которых для нагрева катода используется теплота, получаемая в результате ядерной реакции. КПД — 15%. Принципиально возможно прямое преобразование ядерной энергии в электрическую, так как при радиоактивном распаде электроны (β-лучи) испускаются вследствие естественного свойства элементов.

### ? *Вопросы для самопроверки*

1. *Назовите основные понятия и определения электроснабжения.*
2. *Приведите общие сведения об электроустановках.*
3. *Назначение и типы электрических станций.*

# *Глава 14.* ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРЕДПРИЯТИЙ И ЗДАНИЙ

## 14.1. Силовые трансформаторы

На всех электрических станциях и подстанциях устанавливаются силовые трансформаторы, предназначенные для преобразования электроэнергии переменного тока одного напряжения в другое. Наибольшее распространение получили трехфазные трансформаторы, так как потери в них на 12—15% ниже, а расход активных материалов и стоимость на 20—25% меньше, чем в группе из трех однофазных трансформаторов такой же суммарной мощности.

Основными частями трансформатора являются магнитопровод с обмотками высокого и низкого напряжения. Магнитопровод набирают из отдельных листов холоднокатаной стали Э330, Э330А, изолированных друг от друга для уменьшения потерь в стали. В магнитопроводе проходит основной магнитный поток, благодаря которому энергия привычной обмотки электромагнитным путем передается во вторичную обмотку. Обмотки выполняют из электротехнической меди или алюминия круглого или прямоугольного сечения. Качество витков в первичной и вторичной обмотках зависит от напряжения. Витки обмотки изолированы друг от друга кабельной бумагой, от магнитопровода — маслом и цилиндрами из электрокартона.

Обмотки высокого напряжения (ВН) от обмоток низкого напряжения (НН) изолированы маслом и электрокартоном. Концы обмоток выводятся из баков через изоляторы. Пакеты магнитопровода стянуты с помощью нижней и верхней ярмовых балок. Бак заполнен маслом, которое служит не только для изоляции обмоток, но и для их охлаждения. Охлаждение самого масла происходит при естественной циркуляции его в баке и радиаторных трубах. Бак полностью заливается маслом, а для компенсации изменения объема при охлаждении или нагреве предусмотрен расширительный бачок с маслоуказателем.

## 14.2. Канализация электрической энергии во внутригородских, промышленных сетях

*Канализация электрической энергии* — это распределение электроэнергии с помощью воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий и токопроводов от места производства до места потребления. В сетях напряжением более 1 кВ канализация электроэнергии может осуществляться с помощью кабельных и воздушных линий и токопроводов. Выбор того или иного конструктивного решения электрической сети города, села, предприятия зависит от размещения нагрузок, плотности застройки территории, ее насыщенности технологическими, сантехническими, транспортными коммуникациями, уровня и агрессивности грунтовых вод, степени загрязнения воздуха, района гололедности.



*Кабельной линией (КЛ)* называется устройство для передачи электроэнергии, состоящее из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями. Гарантированный срок службы кабеля, как правило, не менее 25 лет.

В группу кабелей высокого напряжения входят кабели от 6—110 кВт. Такие кабели изготовляются с пластмассовой, бумажной пропитанной изоляцией, маслонаполненные и др.

Применяются различные способы прокладки КЛ: в земляных траншеях, в кабельных каналах и туннелях, по эстакадам и галереям.

Для прокладки КЛ в траншее применяют бронированные или небронированные кабели, защищенные от коррозии джутово-битумным покровом или полихлорвиниловой изоляцией. В земляных траншеях КЛ 6—35 кВ прокладывают на глубине 0,7—0,8 м (рис. 119). Кабель укладывают на подушку из песка 0,1 м и закрывают от механических повреждений красным кирпичом. В местах пересечения с проезжей частью дороги, подземными коммуникациями и на вводах в здание КЛ 6—35 кВ прокладывают в асбестоцементных трубах. Не рекомендуется в одной траншее укладывать более шести кабелей напряжением до 10 кВ и не более трех при 20—35 кВ.

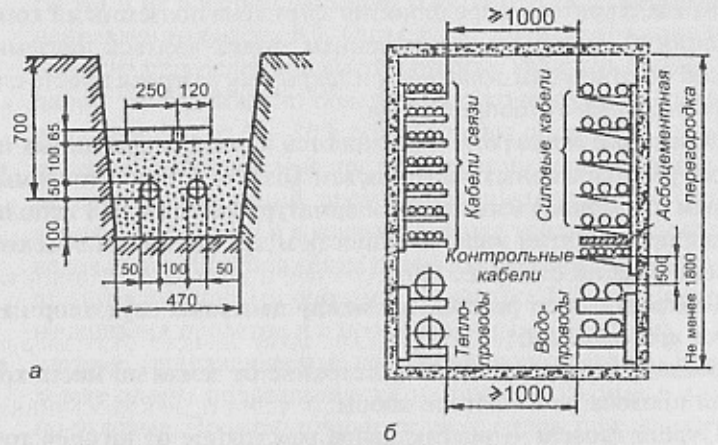



**Рис. 119.** Схема прокладки двух кабелей в траншее *(а)*; прокладка кабельных линий в совмещенном коллекторе *(б)*

Расстояние между кабелями в траншее должно быть не менее 100 мм. Кабель укладывают в траншее «змейкой», с запасом 1,5—2% общей длины траншеи на случай возможных смещений почвы и деформации кабеля в разные времена года либо для его натяжения при механическом повреждении для установки муфты (соединительной).

На предприятиях КЛ прокладывают в специальных кабельных сооружениях — каналах, туннелях.

В каналах целесообразно прокладывать кабели при их числе более 6—30 штук, а при более 30 штук в туннелях.

*Канал* — непроходное кабельное сооружение глубиной 0,4—1,2 м, прокладываемое съемными металлическими и бетонными плитами.

*Туннель* — более глубокое (до 2,5 м) сооружение, устраиваемое в земле для прокладки многих кабелей и имеющее устройство принудительной вентиляции. При прокладке в каналах и туннелях облегчается доступ к кабельным линиям, обеспечивается легкость замены поврежденного участка.

Недостатком прокладки кабелей в туннелях является повышенная пожарная опасность при электрических пробоях в кабелях или соединительных муфтах. Поэтому их оборудуют датчиками автоматической пожарной сигнализации.

Когда территория предприятия загружена подземными коммуникациями, приемлемым решением может явиться надземный способ по открытым *эстакадам* и *закрытым галереям* вместе с технологическими трубопроводами.

*Воздушные линии (ВЛ)* выполняются из неизолированных проводов, расположенных на открытом воздухе и прикрепляемых к опорам с помощью изоляторов и арматуры. Обычно ВЛ используют для предприятий малой мощности и для отдельных объектов в сельской местности (рис. 120).

Горизонтальное расстояние между центрами двух опор называется *пролетом ВЛ*.

*Высота подвеса* линий — расстояние от земли до места крепления провода на изоляторе опоры.

*Стрела провеса* — вертикальное расстояние от низшей точки провода в пролете до прямой линии, соединяющей точки крепления провода на опорах. Стрела провеса провода зависит от температуры воздуха, длины пролета, внешней нагрузки на провод (ветер, гололед), материала и сечения провода.



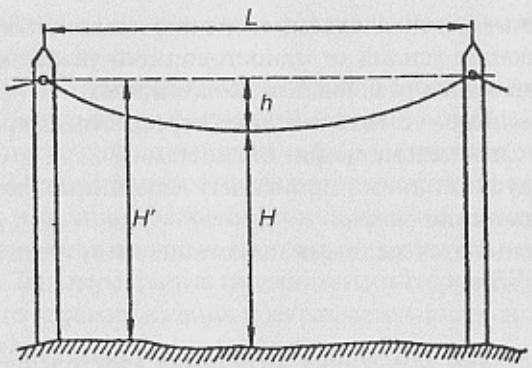



**Рис. 120.** Габариты воздушной линии:
*L — длина пролета; h — стрела провеса; H — габарит линии; H' — высота подвеса*

*Габаритом* провода над землей называют расстояние от проводов до поверхности земли при наибольшей стреле провеса.

По своему назначению и месту установки опоры ВЛ делят на:

- *промежуточные*, устанавливаемые на прямых участках трассы ВЛ и не воспринимающие усилий от тяжести проводов, направленных вдоль ВЛ. Они служат для поддержания проводов на определенной высоте прямых участков линий. Эти опоры имеют обычно облегченную конструкцию, и число их составляет от 60—80% общего числа опор ВЛ;
- *анкерные*, применяемые при пересечении дорог и других инженерных сооружений, предназначенные для жесткого крепления проводов ВЛ и воспринимающие усилия тяжения проводов вдоль ВЛ. Натяжение проводов ВЛ производится между двумя анкерными опорами, на участке ВЛ, состоящем из нескольких пролетов и с промежуточными опорами;
- *угловые*, устанавливаемые на углах поворота трассы ВЛ. Угловые опоры подразделяются на промежуточные и анкерно-угловые. Промежуточные угловые опоры применяют при небольших углах поворота ВЛ, а анкерно-угловые ставят при углах поворота ВЛ более 20°;

- *концевые*, устанавливаемые в начале и в конце ВЛ и воспринимающие усилия от одностороннего тяжения проводов, они являются разновидностью анкерных;
- *специальные* — ответвительные, перекрестные (транспозиционные для перемены фаз ВЛ местами).

Для воздушных линий применяют деревянные, железобетонные, металлические опоры.

ВЛ выполняются медными, алюминиевыми и сталеалюминевыми проводами.

## 14.3. Короткие замыкания в системах электроснабжения. Виды короткого замыкания, причины их возникновения и последствия

Коротким замыканием (КЗ) называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или с землей, при котором точки в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая больший допустимый ток продолжительного режима.

В системе трехфазного переменного тока могут быть замыкания между тремя фазами — *трехфазные КЗ*, между двумя фазами — *двухфазные КЗ*. Если нейтраль электроэнергетической системы соединена с землей, то возможны *однофазные КЗ*, они составляют 60–92% общего числа КЗ, реже встречаются трехфазные.

Возможно *двойное замыкание на землю* в различных, но электрически связанных частях электроустановки.

Как правило, трехфазные КЗ вызывают в поврежденной цепи наибольшие токи, поэтому при выборе аппаратуры обычно за расчетный ток КЗ принимают ток трехфазного КЗ.

*Причинами КЗ* могут быть механические повреждения изоляции — проколы и разрушение кабеля при земляных работах, поломка фарфоровых изоляторов, падение опор ВЛ, старение (т. е. износ) изоляции, различные набросы на провода ВЛ, перекрытие фаз животными и птицами, перекрытие между фазами вследствие атмосферных перенапряжений.

Короткое замыкание может возникнуть при неправильных оперативных переключениях, например при отключении нагруженной линии разъединителем, когда возникающая дуга перекрывает изоляцию между фазами.



Некоторые КЗ являются *устойчивыми*, условия возникновения их сохраняются во время бестоковой паузы коммутационного аппарата, т. е. после снятия напряжения с электроустановки. К ним относятся КЗ вследствие механических повреждений, старения или увлажнения изоляции. Условия возникновения *неустойчивых КЗ* самоликвидируются во время бестоковой паузы коммутационного аппарата. Так, перекрытие гирлянды изоляторов ВЛ вследствие атмосферного перенапряжения прекращается после снятия напряжения с линии.

*Последствия коротких замыканий* — резкое увеличение тока в короткозамкнутой цепи и снижение напряжения в отдельных точках системы. Дуга, возникшая в месте КЗ, приводит к частичному или полному разрушению аппаратов, машин и других устройств. Увеличение тока в ветвях электроустановки, примыкающей к месту КЗ, приводит к значительным механическим воздействиям на токоведущие части и изоляторы, на обмотки электрических машин. Прохождение больших токов вызывает повышенный нагрев токоведущих частей и изоляции, что может привести к пожару в распределительных устройствах, в кабельных сетях и других элементах электроснабжения и будет причиной дальнейшего развития аварии.

Снижение напряжения приводит к нарушению нормальной работы механизмов, при напряжении ниже 70% номинального напряжение двигатели затормаживаются, работа механизмов прекращается.

Для уменьшения последствий КЗ необходимо как можно быстрее отключить поврежденный участок, что достигается применением быстродействующих выключателей и релейной защиты с минимальной выдержкой времени. Все электрические аппараты и токоведущие части электроустановок должны быть выбраны таким образом, чтобы исключалось их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов КЗ, в связи с чем возникает необходимость расчета этих величин.

## 14.4. Защитное заземление

При обслуживании электроустановки опасность представляют не только неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением, но и те конструктивные части электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции (корпуса электродвигателей, пускателей, баки трансформаторов, кожухи шинопроводов, металлические каркасы щитов и т. д.).

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции применяется одна из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение, разделительный трансформатор, двойная изоляция, малое напряжение, выравнивание потенциалов.

*Защитное заземление* — это преднамеренное электрическое соединение какой-либо части электроустановки с заземляющим устройством для обеспечения электробезопасности (рис. 121).

*Защитным занулением* в электроустановках напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухо заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока или с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока (рис. 122). (Схема зануления элементов электрооборудования в установках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью. Корпус автоматического выключателя *2* и корпус электродвигателя *3* соединены с защитным нулевым проводом *1*, который электрически связан с глухозаземленной нейтралью источника.)

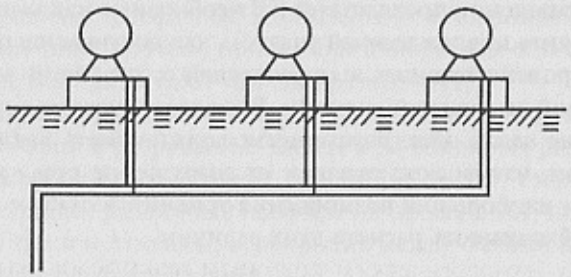


**Рис. 121.** Пример заземления трех электродвигателей с помощью одиночного заземлителя (трубы, уголки, полоса, стержни)



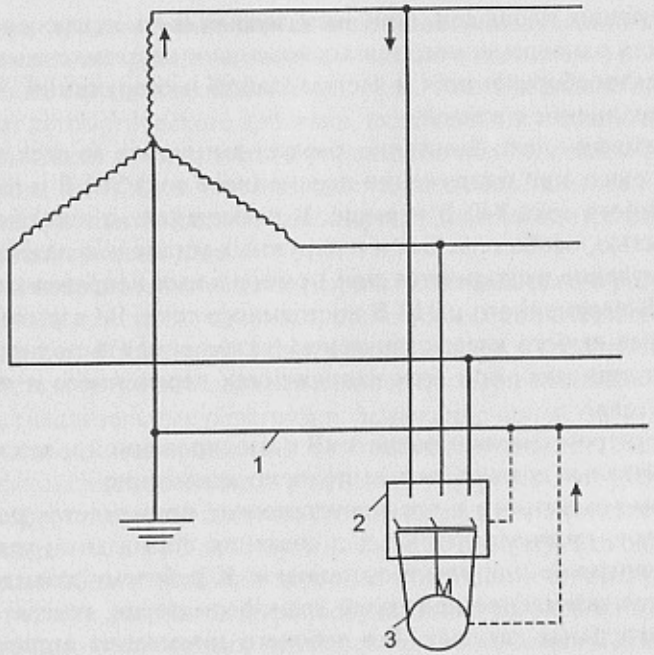



**Рис. 122.** Схема зануления элементов электрооборудования в установках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью:
*1 — защитный нулевой провод; 2 — корпус автоматического выключателя; 3 — корпус электродвигателя*

Ток КЗ, протекающий по петле «фаза — нулевой проводник», должен привести к немедленному отключению поврежденного участка. Задачей зануления является создание наименьшего сопротивления пути для тока однофазного КЗ, обеспечивающего надежное отключение автоматических выключателей, магнитных пускателей, предохранителей.

*Защитное отключение,* применяемое в установках до 1 кВ, обеспечивает автоматическое отключение всех фаз участка сети при замыканиях на корпус или снижение уровня изоляции ниже определенного значения.

Если по технологическим причинам невозможно выполнить защитное заземление или зануление и обеспечить защитное отключение, то допускается обслуживание электрооборудования с

изолирующих площадок. При этом должна быть исключена возможность одновременного прикосновения к незаземленным частям электрооборудования и частям зданий и сооружений, имеющим соединение с землей.

Заземление, или зануление, следует выполнять во всех электроустановках при напряжении переменного тока 380 В и выше и постоянного тока 440 В и выше. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках заземление или зануление выполняется при номинальных напряжениях более 42 В переменного и 110 В постоянного тока. Во взрывоопасных зонах любого класса зануление (заземление) выполняется в электроустановках при всех напряжениях переменного и постоянного тока.

В электроустановках выше 1 кВ с изолированной и заземленной нейтралью должно быть выполнено заземление.

Кроме защитного в электроустановках применяется *рабочее заземление*, предназначенное для создания нормальных условий работы аппарата или электроустановки. К рабочему заземлению относится заземление нейтралей трансформаторов, генераторов, дугогасительных катушек. Без рабочего заземления аппарат не может выполнять своих функций или нарушается режим работы электроустановки.

## 14.5. Релейная защита в системах электроснабжения городов и предприятий

В различных электрических сетях возможно возникновение повреждений, нарушающих нормальную работу ЭУ. Наиболее распространенными и опасными видами повреждений (аварийных режимов) являются короткие замыкания (КЗ); к аномальным режимам относятся *перегрузки* (скачки напряжения, тока). Все это может привести к аварии всей СЭС или ее части, сопровождающейся определенным недоотпуском электроэнергии или разрушением основного электрооборудования. Предотвратить возникновение аварий можно путем быстрого отключения поврежденного элемента или участка сети. Для этой цели ЭУ снабжают автоматически действующими устройствами — *релейной защитой (РЗ)*, являющейся одним из видов противоаварийной автоматики. РЗ может быть предназначена для сигнализации о нарушении в сетях. Само название «релейная защита» связано с наличием в ней электрических аппаратов, называемых реле. *Реле* представляет собой аппарат автоматического действия, включающий и отключающий электрические цепи защиты и управления под действием различного рода импульсов (электрических, тепловых, световых, механических) в зависимости от заданных параметров контролируемой величины, времени и др.



При повреждениях в цепи (коротких замыканиях, в результате ошибочных действий персонала, при глубоких понижениях напряжения и т. п.) РЗ выявляет поврежденный участок и отключает его, воздействуя на коммутационные аппараты. При анормальных режимах (недлительные перегрузки, замыкание одной фазы на землю в сетях с изолированной нейтралью, ухудшение состояния трансформаторного масла в результате внутренних повреждений в трансформаторе, понижения уровня масла в расширителе трансформатора и т. п.) РЗ действует на сигнал, предупреждающий постоянный обслуживающий персонал подстанции о неисправностях в режиме работы электрооборудования. На подстанциях без постоянного обслуживающего персонала те же *защиты* действуют на отключение, но обязательно с выдержкой времени.

Основными требованиями к РЗ являются: быстродействие, селективность, чувствительность и надежность.

*Быстродействие* — чем быстрее произойдут обнаружение и отключение поврежденного участка, тем меньше разрушительное действие аварийного тока на электрооборудование, тем легче сохранить нормальную работу потребителей неповрежденной части ЭУ. Поэтому электрические сети должны оснащаться быстродействующими РЗ. Современные устройства быстродействующей РЗ имеют время срабатывания 0,02—0,1 с. Самые распространенные выключатели высокого напряжения имеют время действия 0,15—0,06 с.

Быстродействие РЗ снижает ущерб при КЗ электрической сети, так как уменьшаются размеры разрушения поврежденного участка, повышается эффективность работы автоматики.

*Селективностью,* или *избирательностью,* называется способность автоматики отключать при КЗ только поврежденный участок или ближайший к нему, оставляя в работе потребителей, подключенных к неповрежденному участку. Селективное действие РЗ

аналогично селективному действию предохранителей, чем обеспечивается надежное электроснабжение потребителей. Иногда одновременное требование селективности быстродействия приводит к усложнению РЗ. В этом случае следует в первую очередь обеспечивать выполнение того требования, которое в данных условиях является определяющим.

*Чувствительностью* РЗ является ее способность реагировать на самые малые изменения контролируемого параметра (как правило, тока КЗ и перегрузки) и анормальные режимы работы ЭУ. Она характеризует устойчивое срабатывание РЗ при КЗ в защищаемой зоне.

*Надежность* работы РЗ заключается в ее правильном и безотказном действии во всех предусмотренных по ее назначению случаях. Надежность обеспечивается применением высококачественных реле, простых и совершенных схем РЗ, тщательным выполнением монтажных работ, должной культурной эксплуатации защитных устройств.

В устройствах РЗ применяют различные реле, отличающиеся по принципу действия: электрические, механические, тепловые, полупроводниковые.

*Электрические реле* реагируют на электрические величины: ток, напряжение, мощность, частоту, сопротивление, угол сдвига между током и напряжением, угол между двумя точками и двумя напряжениями.

*Механические реле* реагируют на неэлектрические величины: давление, уровень жидкости и т. п.

*Тепловые реле* реагируют на количество выделенного тепла или изменение температуры.

*Полупроводниковые реле* — современный тип конструкций реле, позволяющий повысить чувствительность и срок службы, улучшить характеристики реле, выполнить их без контактов и движущихся частей, снизить потребляемую мощность.

***Виды устройств автоматизации.***

Устройства автоматизации (АПВ, АВР, АЧР) осуществляют автоматическое управление схемой электроснабжения города, предприятия в нормальном и аварийном режимах. Применение автоматизации позволяет обеспечить длительное, нормальное функ-



ционирование СЭС, в кратчайший срок ликвидировать аварию, обеспечить высокую надежность электроснабжения промышленных и городских потребителей и простоту схем, сократить расходы на обслуживание, обнаружить поврежденные участки с наименьшим затратами труда, повысить качество электроэнергии и экономичность работы ЭУ. Благодаря устройствам автоматизации стало возможным применение подстанций с упрощенными схемами коммутации. На подстанциях нашли наибольшее распространение следующие устройства автоматизации:

АВР — автоматическое выключение резерва;

АПВ — автоматическое повторное включение;

АЧР — автоматическая частотная разгрузка;

АРТ — автоматическая разгрузка по току.

Подстанции предприятий работают, как правило, по схеме с односторонним электроснабжением потребителей, т. е. с различными ИП. Такой режим позволяет снизить токи КЗ сети, применять более дешевую коммутационную аппаратуру, сократить или полностью исключить обслуживающий персонал подстанций. Однако раздельная работа ИП по сравнению с их параллельной работой обеспечивает меньшую надежность электроснабжения, что и вызывает необходимость установки на предприятиях устройств автоматики (АУ).

## 14.6. Электроснабжение зданий

В сельской местности, как правило, электроснабжение зданий осуществляется от ВЛ, т. е. от воздушных линий изолированными вводами в здания на щиток учета электроэнергии и от него по внутренней электропроводке к местам потребления.

В городских условиях электроснабжение многоэтажных и других ответственных зданий осуществляется путем прокладки подземных кабельных линий КЛ от двух различных трансформаторных подстанций ТП для обеспечения большей надежности в электроснабжении. Эти питающие сети отходят от источников питания (ТП) к распределительным шкафам (РШ), от которых по стоякам (поподъездно) и поэтажно через щитки учета электроэнергии по внутренней электропроводке к местам потребления.

Внутренняя электропроводка выполняется алюминиевым (реже медным) изолированным проводом, как правило, скрытой (под штукатуркой, в трубах и т. д.) и открытой на роликах.

Для защиты внутренней электропроводки и сетей от токов КЗ служат плавкие предохранители. Это простейшие аппараты токовой защиты, действие которых основано на перегорании плавкой вставки. Предохранитель включают последовательно в фазу защищаемой цепи.

Электроснабжение зданий и сооружений осуществляется, как правило, по сетям напряжением до 1 кВ. Исключение составляют крупные уникальные сооружения со встроенным ТП, к которым подводятся линии 6—10 кВ.

Распределение электрической энергии осуществляется по сетям, имеющим различные схемы. Построение схемы зависит от ряда факторов, основными из которых являются: напряжение сети, уровня электрических нагрузок, требования к надежности электроснабжения, экономичность, простота и удобство обслуживания, конструктивные и планировочные особенности здания.

Кроме того, схема электроснабжения должна обеспечивать применение индустриальных методов монтажа. Необходимость рационального построения схемы распределения энергии помимо вышеуказанного определяется еще высоким удельным весом капитальных вложений на строительство внутренних сетей.

*Напряжение сети*, как правило, принимается равным 380/220 В при глухом заземлении нейтрали трансформаторов на питающей подстанции (ТП). Это напряжение является наиболее *экономичным* для жилых и общественных зданий.

*Простота и удобство обслуживания.* Помимо экономичности должно уделяться достаточное внимание удобствам эксплуатации, наглядности схемы и ее простоте. Иногда эти требования превалируют над требованиями экономичности. Отсюда вытекает необходимость удобного расположения вводно-распределительного устройства (ВРУ) здания, обеспечивающего наиболее простой ввод питающих линий и прокладку распределительной сети, а также безопасность обслуживания. Схема сети должна строиться таким образом, чтобы поврежденный участок сети легко обнаруживался и заменялся и чтобы при этом отключалось по возможности небольшое количество потребителей.



*Конструктивные особенности здания* оказывают известное влияние на построение схемы. В тех случаях, например, когда в жилое здание встраиваются различные предприятия или учреждения, схема сети усложняется в связи с необходимостью комплексного питания потребителей собственно здания и встроенных помещений. При этом схема должна отвечать требованиям надежности электроснабжения всех потребителей. При построении схемы внутренних сетей очень важно учитывать решения строительных конструкций зданий для экономичного и индустриального осуществления электромонтажных работ.

Таким образом, рационально построенная схема электрической сети является синтезом комплекса факторов, определяющих ее параметры. Оценка и выбор схемы могут производиться только по совокупности всех показателей применительно к конкретным условиям сооружаемой электроустановки.

## 14.7. Классификация сетей

По назначению электрические сети до 1 кВ жилых и общественных зданий делятся на питающие и распределительные (рис. 123).

*Питающей сетью* называют линии, идущие от трансформаторной подстанции до ВРУ и от ВРУ до силовых распределительных пунктов силовой сети и до групповых щитков в осветительной сети.

*Распределительная сеть* — это линии, идущие от распределительных пунктов в силовой сети до силовых электроприемников.

*Групповой сетью* называются линии, идущие от групповых щитков освещения до светильников в осветительной сети. Линии от

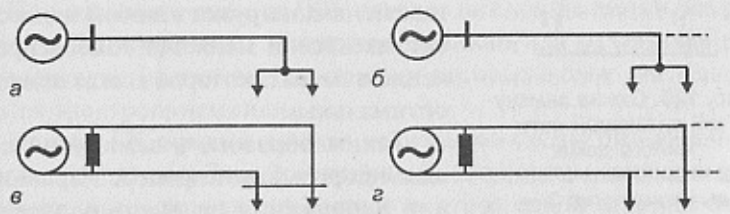



**Рис. 123.** Схемы внешнего электроснабжения:
*а — по одной «тупиковой» линии; б — с «отпайкой» от одной линии; в — двумя параллельными линиями; г — с «отпайкой» от двух линий*

этажных групповых щитков к электроприемникам квартир жилых домов тоже называют групповыми.




**Рис. 124.** Схема разомкнутой питающей сети секции здания: *1 — автоматический выключатель; 2 — стояк; 3 — ввод в квартиру*

*По принципу построения схем* сети разделяются на разомкнутые и замкнутые. *Разомкнутая сеть* состоит из разветвленных линий к электроприемникам или их группам и получает питание с одной стороны. Простейший пример схемы разомкнутой питающей сети квартир одной секции жилого дома представлен на рис. 124. Однако разомкнутая сеть обладает некоторыми недостатками, которые заключаются в том, что при аварии в любой точке сети питание всех потребителей за аварийным участком прекращается.

В разомкнутой сети поддержание необходимого уровня напряжения на зажимах электроприемников в различное время суток без специальных устройств затруднительно. По этим причинам, несмотря на свою простоту, разомкнутые сети не всегда являются оптимальными, что особенно сказывается при высоком уровне нагрузок и большом числе присоединенных электроприемников.

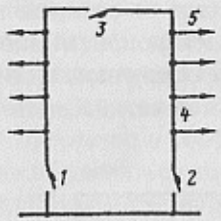



**Рис. 125.** Схема замкнутой питающей сети жилого дома: *1, 2 — автоматические выключатели; 3 — автоматический выключатель (слабая связь); 4 — стояк; 5 — ввод в квартиру*

*Замкнутая сеть* может иметь один, два и более источников питания, действующих одновременно. На рис. 125 приведен пример замкнутой сети одной секции жилого дома. Преимущество замкнутой сети состоит в том, что при изменениях нагрузки в любой точке сети автоматически меняется токораспределение в ветвях, которое всегда является оптимальным.

Таким образом, в замкнутой сети идет непрерывный процесс выравнивания напряжения на зажимах электроприемников, позволяющий улучшить качество электроэнергии в известных пределах без значительных затрат цветного металла. При разомкнутой сети обычно достигнуть оптимума при тех же затратах не удается. В замкнутой сети благодаря автоматическому перемещению точки токораздела достигается уменьшение влияния асимметрии нагрузок в различных фазах, что также имеет немаловажное значение при случайном сочетании нагрузок. Следует отметить, что в замкнутой сети происходит некоторое снижение суммарного максимума нагрузок по сравнению с разомкнутой сетью.



Представленная на рис. 125 схема является простой замкнутой сетью со слабой связью (автоматический выключатель *3*). При аварии в любой точке сети в первую очередь должен отключаться автоматический выключатель *3*, затем автоматический выключатель в той линии, где произошло КЗ. При этом половина сети остается в работе, установка тока трогания автоматического выключателя *3*, или номинальный ток плавкой вставки предохранителя, выбирается существенно ниже, чем у автоматических выключателей (предохранителей) *1* и *2*.

Несмотря на указанные преимущества, замкнутые сети пока не получили большого распространения, что в известной мере объясняется затруднениями в устройстве селективной защиты на базе выпускаемых аппаратов (автоматических выключателей и предохранителей) для сетей низкого напряжения. Кроме того, в подобных сетях возрастают токи КЗ, что может создать трудности при выборе аппаратуры за рубежом. Замкнутые сети используются в крупных жилых комплексах со встроенными предприятиями обслуживания, магазинами и зрелищными предприятиями.

Сети могут выполняться по радиальной, магистральной и смешанной схемам.

По *радиальной схеме* от ВРУ отходят питающие линии без разветвлений к отдельным электроприемникам или отдельным распределительным пунктам (щитам), от которых в свою очередь питаются электроприемники.

На рис. 126 показан пример радиальной схемы питающей силовой сети здания. Достоинство радиальной схемы заключается в ее надежности, так как при выходе из строя одной питающей линии отключается только один электроприемник или группа электроприемников, присоединенных к одному распределительному пункту. Однако эта схема имеет серьезные недостатки, заключаю-

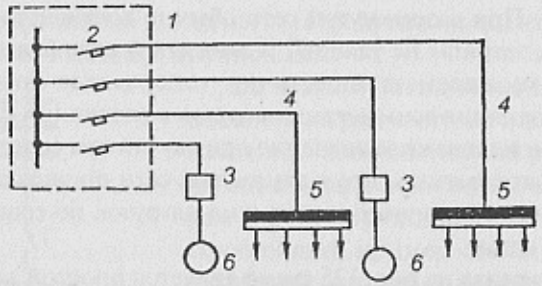



**Рис. 126.** Радиальная схема силовой сети:
*1 — распределительный щит; 2 — автоматический выключатель; 3 — пусковой аппарат; 4 — линия; 5 — распределительный пункт; 6 — электроприемник*

щиеся в большом числе питающих линий, увеличенной протяженности сети и, следовательно, значительном расходе цветного металла, увеличенном количестве коммутационных аппаратов. Радиальные схемы с подводкой питания в каждую квартиру жилого дома отдельной линии и от ввода в здание явно не экономичны и не применяются.

Для внутренних электрических сетей характерны *магистральные схемы* (рис. 127), при которых к одной питающей линии с учетом удобной трассировки присоединяются несколько распределительных пунктов (щитов).

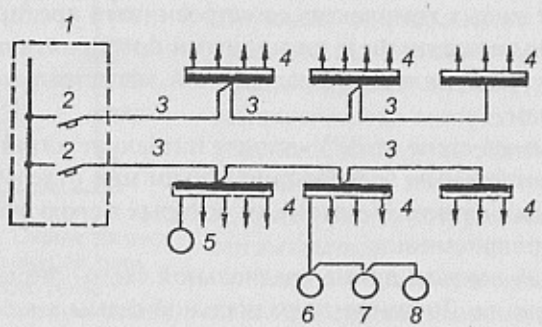



**Рис. 127.** Магистральная схема силовой сети:
*1 — распределительный щит; 2 — автоматический выключатель; 3 — питающая линия; 4 — силовой распределительный пункт; 5 — электроприемник; 6, 7, 8 — электроприемники, включенные в «цепочку»*



В жилых домах к одной питающей горизонтальной линии могут быть присоединены один или несколько стояков, от которых отходят ответвления к этажным щиткам. Однако надо иметь в виду, что при присоединении двух и более стояков к одной питающей линии в домах высотой 6 этажей и более в точке ответвления следует устанавливать аппарат управления для ремонтных целей. Для наружных кабельных сетей, питающих многоэтажные здания, радиальная схема применяется широко, однако с взаимным резервированием питающих линий от ТП до ВРУ здания для обеспечения работы электроприемников при выходе из строя одной из линий.

При питании зданий с относительно небольшими нагрузками, например жилых домов высотой до 5 этажей включительно, небольших бытовых мастерских и магазинов, большей частью применяются магистральные схемы с питанием нескольких зданий одной линией. Магистральные схемы широко используются в воздушных сетях при питании мелких зданий в небольших городах и поселках.

Магистральные схемы дешевле радиальных, но менее надежны.

## 14.8. Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий

Схемы внутриквартальных наружных сетей до 1 кВ имеют важное значение для правильного построения схем внутренних сетей жилых зданий, поскольку выбор схемы в значительной степени зависит от взаимосвязи между всеми элементами сети, включая местоположение трансформаторной подстанции, длину и сечение наружных питающих линий.

На рис. 128–129 приводятся характерные схемы электроснабжения жилых зданий различной этажности, которые обеспечивают необходимую надежность питания и, как показывают расчеты, являются экономически целесообразными.

***Питание жилых домов высотой до 5 этажей включительно.*** Для питания таких зданий при отсутствии в квартирах электроплит применяются магистральные петлевые схемы с резервной перемычкой или без нее. Такая простейшая схема кабельной сети показана на рис. 128. Резервная перемычка *8* подключается при выходе из строя любой из питающих линий *9* или *10*, которые долж-

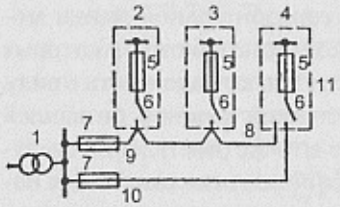



**Рис. 128.** Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с резервной перемычкой:
*1 — трансформаторная подстанция; 2, 3, 4 — жилые дома; 5, 7 — предохранители; 6 — рубильники; 8 — резервная перемычка; 9, 10 — питающие линии; 11 — ВРУ*

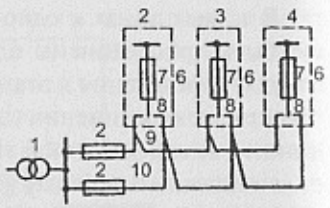



**Рис. 129.** Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с переключателями на вводах:
*1 — трансформаторная подстанция; 2, 7 — предохранители; 2, 3, 4 — жилые дома; 6 — ВРУ; 8 — переключатели; 9, 10 — питающие линии*

ны рассчитываться на прохождение по ним тока аварийного режима и по допустимым потерям напряжения.

При этом необходимо учитывать, что в аварийном режиме в течение не более 5 суток во время максимума, но не более 6 ч ежесуточно нормами разрешается перегрузка кабелей с бумажной изоляцией на 20%, с полиэтиленовой — на 10% и поливинилхлоридной — на 15% длительно допустимой по ПУЭ. Перегрузка допускается при условии, что в нормальном режиме загрузка кабелей не превышает номинальной для кабелей с пластмассовой изоляцией и 80% номинальной для кабелей с бумажной изоляцией (в земле).

В послеаварийном режиме допускаются также повышенные потери напряжения — до 10%. Если учесть, что указанные жилые дома относятся к III категории надежности, то устройство резервной перемычки не является обязательным. Однако в крупных городах со сложными условиями разрытия даже при хорошей постановке ремонтной службы устранение аварии в течение суток бывает затруднительным. Поэтому прокладку резервной перемычки длиной обычно не более 70—80 м в этих условиях следует считать целесообразной.

Приведенная схема (см. рис. 128) имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при отключении одной из питающих линий, например *9*, электроснабжение всех зданий осуществляется по кольцу, в результате чего даже при повышенных допустимых потерях напряжения иногда приходится увеличивать сечения кабелей. Другим недостатком является то, что резервная перемычка в нормальном режиме не используется.



На рис. 129 приведена модификация описанной схемы, при которой на вводах в здание вместо рубильников устанавливаются переключатели. При аварии с одной из питающих линий данная схема в ряде случаев оказывается более экономичной. Недостатком схемы является некоторое усложнение вводного устройства и удлинение питающих линий. Кроме того, в каждый дом (кроме тупикового) приходится заводить уже не два, а четыре кабеля. Схема удобна при застройке в линию и менее экономична при других планировочных решениях.

В небольших городах и поселках, где широко применяются воздушные линии, резервирования не требуется, так как неисправность может быть обнаружена и устранена достаточно быстро.

***Питание жилых домов высотой 9—16 этажей.*** Для питания электроприемников таких домов применяются как радиальная, так и магистральная схемы с переключателями на вводах (рис. 130).

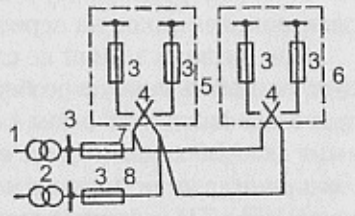



**Рис. 130.** Схема питания жилых домов высотой 9—16 этажей с двумя переключателями на вводах:
*1, 2 — трансформаторы; 3 — предохранители; 4 — переключатели; 5, 6 — ВРУ; 7, 8 — питающие линии*

При этом обычно одна из питающих линий используется для присоединения электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений (подвал, лестничные клетки, вестибюли, холлы, чердаки, наружное освещение и т. д.); другая питающая линия предназначена для подключения лифтов, противопожарных устройств эвакуационного и аварийного освещения, элементов диспетчеризации и кодовых замков на дверях подъездов.

При выходе из строя одной из питающих линий все электроприемники дома подключаются к линии, оставшейся в работе, которая рассчитана с учетом допустимых перегрузок при аварий-

ном режиме. Перебои в питании потребителей при указанной схеме продолжаются обычно не более 1 ч, т. е. времени, необходимого для вызова электромонтера ДЭЗ, который и осуществляет нужные переключения на ВРУ. Схема может быть использована и для домов высотой до 5 этажей, оборудованных квартирными электроплитами.

Для питания зданий высотой 9—16 этажей с электроплитами, а также многосекционных домов с большим числом квартир с газовыми плитами приходится применять три или более питающие линии (вводы).

На рис. 131 приведены схемы питания жилых домов с тремя вводами. Первый ввод резервирует второй, второй резервирует третий и третий — первый (рис. 131, *а*); модификация этой схемы приведена на рис. 131, *б*, где первый и второй вводы взаимно резервируют друг друга, а третий ввод резервируется от первого. Такая схема удобна при ремонте одной из сборок низкого напряжения на подстанции. Однако в этом случае на один кабель приходится вся нагрузка дома, и в этом исключительном случае часть электроприемников на период ремонта отключается.

При питании зданий по схемам, приведенным на рис. 131, следует учитывать важную особенность сетей, построенных по так называемой *двухлучевой схеме* с АВР на стороне 0,4 кВ ТП. Применяемые для АВР контакторные станции серии ПЭВ оборудованы контакторами, рассчитанными на ток 1000 А (имеется также большое количество ТП, оборудованных контакторами на ток 630 А). При аварийных переключениях питающих линий нельзя допускать перегрузки контакторов, что может привести к выходу из строя подстанции и лишить электроэнергии присоединенные здания.

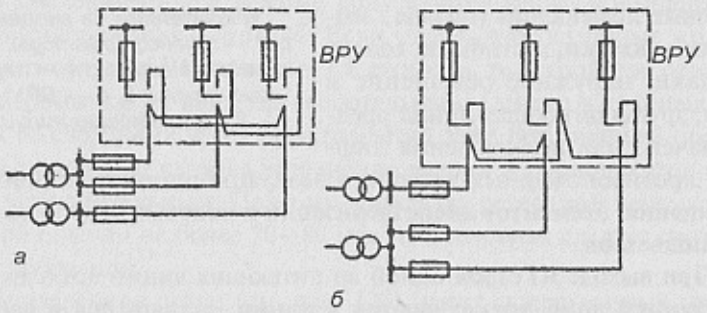



**Рис. 131.** Схема питания зданий высотой 9—16 этажей с тремя вводами



Возможна также установка АВР на стороне высшего напряжения, поскольку выход из строя трансформаторов — явление крайне редкое.

***Питание жилых домов высотой 17 этажей и более.*** При построении схемы питания жилых домов 17—25 этажей и более необходимо учитывать, что лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни светового ограждения, противопожарные установки являются электроприемниками I категории по надежности электроснабжения. Для таких зданий применяются радиальные схемы с АВР на вводах, к силовым вводам присоединяются и противопожарные устройства, огни светового ограждения, эвакуационное и аварийное освещение (рис. 132).

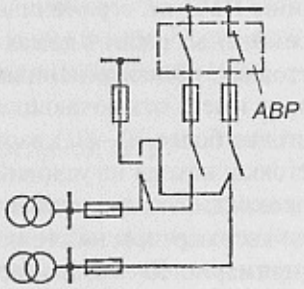



**Рис. 132.** Схема электроснабжения жилого дома высотой 17 этажей и выше

В этих зданиях, как правило, нагрузки на вводах неодинаковы. Это приводит к тому, что силовой ввод выбирается по аварийному режиму. Целесообразно часть нагрузок квартир присоединять к силовому вводу (если при этом размах напряжения от включения силовых электроприемников не превышает допустимый по ГОСТам). Для учета расхода электроэнергии при различных тарифах на силовое оборудование и освещение необходимо устанавливать отдельные счетчики на силовую нагрузку и аварийное и эвакуационное освещение.

## 14.9. Схемы питающих линий внутри зданий

Выбор количества питающих линий, отходящих от ВРУ, и числа стояков, присоединяемых к одной питающей линии, в многоэтажных зданиях является многовариантной задачей. При ее решении следует учитывать такие факторы, как расстояние до ТП, электрические нагрузки, количество и сечение линий, ограничения по допустимому нагреву и отключениям напряжения, конст-

руктивное выполнение сетей и т. д. Оптимальным является вариант, при котором получаются наименьшие расчетные затраты.

При числе квартир на этаже в секции дома не более четырех в зданиях до 16 этажей включительно целесообразно прокладывать один стояк. Число стояков, подключаемых к одной питающей линии, ПУЭ не ограничивается. Однако для удобства выполнения ремонтных работ в домах высотой более 5 этажей при двух и более стояках, присоединенных к одной питающей линии, стояки должны иметь отключающие аппараты. При подключении к одному стояку более 70—80 квартир, несмотря на экономичность одного стояка, исходя из условий повышения надежности рекомендуется прокладывать два стояка с подключением квартир через этаж, или по две квартиры на стояк на каждом этаже, или больше половины (примерно 60—70%) квартир, начиная с первого этажа к одному стояку и оставшуюся часть ко второму.

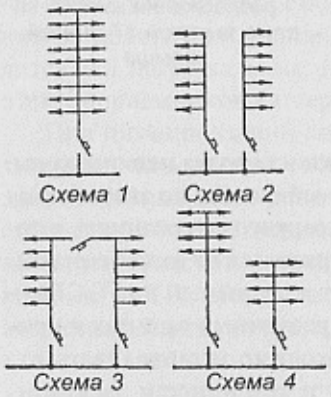


**Рис. 133.** Схемы стояков

Рекомендуемые по экономическим соображениям схемы стояков приведены на рис. 133.

Кроме питающих линий квартир, о которых говорилось выше, к внутридомовым питающим линиям относятся линии, питающие электродвигатели и прочее электрооборудование лифтов, различных насосов, вентиляторов и других электроприемников систем дымозащиты.

*Питающие линии лифтов* должны прокладываться непосредственно от ВРУ, причем к одной линии можно подключать не более четырех лифтов, установленных в разных секциях. При наличии в каждой секции двух лифтов их присоединяют к разным питающим линиям, но при этом число лифтов, присоединяемых к каждой питающей линии, не ограничивается.

*Рабочее эвакуационное и аварийное освещение* лестничных клеток и коридоров, как правило, автоматизируется, и управление осуществляется с ВРУ или объединенного диспетчерского пульта (ОДС). Поэтому групповые линии этих видов освещения целесообразно присоединять непосредственно к ВРУ, где сосредоточена вся аппаратура защиты и управления. К ВРУ также присоединяются групповые линии штепсельных розеток для подключения уборочных механизмов.



Встроенные в жилые дома предприятия и учреждения получают питание либо от ТП, либо от ВРУ дома. Проектирование электрооборудования для этих предприятий и учреждений осуществляется, как и для отдельных зданий аналогичного назначения.

## 14.10. Схемы групповой квартирной сети

Групповая квартирная сеть является завершающим звеном электрической сети жилого дома. Она предназначена для питания осветительных и бытовых электроприемников. Назначение групповых линий и их пропускная способность определяются по специальным таблицам, которые составлены с учетом электрических нагрузок, наличия переносных и стационарных электроприемников и удобства эксплуатации.

По соображениям безопасности групповые линии целесообразно выполнять однофазными. В перспективе при значительном росте нагрузок возможно устройство трехфазных четырехпроводных вводов в квартиры, но при этом необходимы дополнительные меры по обеспечению электробезопасности, такие как более надежная изоляция проводников и приборов, а также устройство автоматического защитного отключения. Однако и при трехфазных вводах целесообразно групповые линии общего освещения и штепсельной сети внутри квартир выполнять однофазными, а для питания электрических плит, электроводонагревателей и т. п. — трехфазными. Как правило, рекомендуется выделять общее освещение на отдельную групповую линию.

В целях экономии проводов нормы допускают смешанное питание общего освещения и штепсельных розеток. В квартирах с числом комнат более трех допускается устройство дополнительной групповой линии для питания штепсельных розеток на ток до 16 А.

Число штепсельных розеток, устанавливаемых в квартирах, регламентировано нормами и составляет:

- *в жилых комнатах квартир и общежитий* — одна розетка на каждые полные и неполные 6 м² площади комнаты;
- *в коридорах квартир* — одна розетка на каждые полные и неполные 10 м² площади. В общей комнате квартир, оборудованных кондиционерами, — дополнительная розетка на ток 10 А для подключения кондиционера;
- *в кухнях квартир* площадью до 8 м² — три штепсельные розетки на ток 6 А, а 8 м² и более — четыре для подключения холодильника, бытового прибора, надплитного фильтра, динамика трехпрограммного вещания, местного освещения;
- одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 40 А *для подключения электроплиты* мощностью от 5,9 до 8 кВт. Следует иметь в виду, что розетки 25 и 40 А не предназначены для отключения электроплит под нагрузкой.

Увеличение числа штепсельных розеток по сравнению с ранее действующими нормами имеет целью по возможности избежать применения жильцами различных удлинителей и разветвителей, создающих повышенную опасность поражения электрическим током.

На рис. 134 приведена схема групповой сети квартиры с электроплитой. Как видно из рисунка, для заземления корпуса стационарной электроплиты и бытовых приборов, требующих заземле-

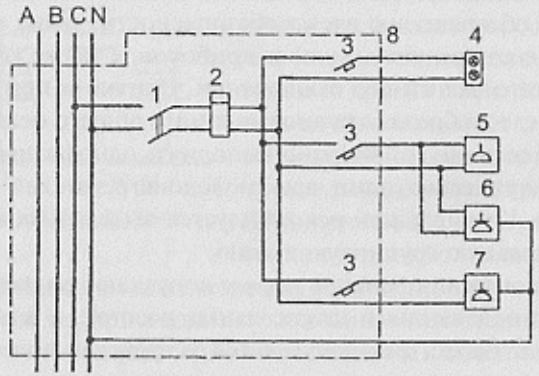



**Рис. 134.** Схема групповой квартирной сети:
*1 — выключатель; 2 — счетчик; 3 — автоматические выключатели; 4 — общее освещение; 5 — розетка 6 А; 6 — розетка 10 А; 7 — электроплита; 8 — этажный щиток*



ния, от этажного щитка прокладывается отдельный проводник. Сечение его принимается равным сечению фазного проводника. Ни в нулевом защитном, ни в нулевых рабочих проводах аппараты защиты не устанавливаются. Для безопасной смены счетчика перед ним устанавливается двухполюсный выключатель.

## 14.11. Типовые комплексные схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях

Рассмотрим одну из типовых комплексных схем распределения электроэнергии в жилом 16-этажном доме (рис. 135).

Здание имеет два кабельных взаиморезервируемых ввода *1* и *2* с переключателями *3* и предохранителями *4*. К каждому из вводов (*1* и *2*) подключены соответствующие секции ВРУ (I и II). От секции I отходят питающие линии квартир *5*, а также через отдельный автоматический выключатель *6* и счетчик *7*, включаемый через трансформаторы тока *8*, питается сборка ВРУ общедомовых помещений. От последней отходят групповые линии рабочего освещения холлов, лестниц и коридоров *9*, освещения технического подполья, чердака, машинных помещений и шахт лифтов и питающая линия к щитку иллюминации *10*.

От секции II ВРУ отходят питающие линии лифтов *11*, групповые линии эвакуационного и аварийного освещения *12*, штепсельных розеток для подключения уборочных машин *13*. Потребление электрической энергии электроприемниками секции II ВРУ учитывается трехфазным счетчиком *14*, который подключен через трансформаторы тока *15*. К питающим линиям квартир с автоматическими выключателями *16* присоединяются стояки секций.

На вводах устанавливаются помехозащитные конденсаторы *17* емкостью 0,5 мкФ. Освещение лестниц и коридоров автоматизировано, и все элементы автоматики установлены на ВРУ. Автоматика обеспечивает управление освещением в функции естественной освещенности с помощью фотовыключателя *18* и программного реле времени *19*, отключающего часть освещения в ночные часы. Кроме того, имеется возможность централизованного управления освещением с диспетчерского пульта. При выходе из строя автоматики возможно ручное управление.

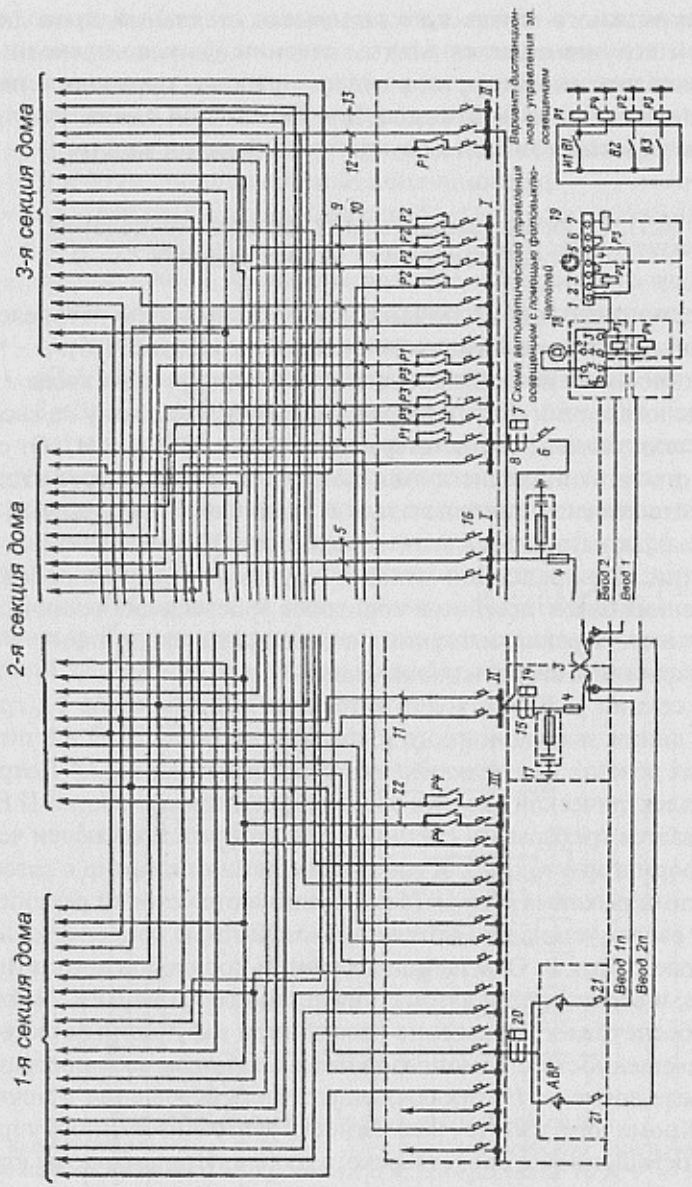



Рис. 135. Схема электрооборудования 16-этажного жилого дома



Устройства дымозащиты подключаются к специальной панели III ВРУ с устройством АВР, которая присоединяется к обоим вводам до переключателей (вводы *1* и *2*). Благодаря такому присоединению эти устройства остаются в рабочем состоянии даже при полном обесточивании дома. Для учета расхода электроэнергии устанавливается счетчик *20*. На каждой из линий, питающих секцию III ВРУ, установлены автоматические выключатели *21*.

От секции III ВРУ отходят линии, питающие вентиляторы системы дымозащиты и щитки управления, а также часть линий эвакуационного освещения *22*, расположенного на путях эвакуации при пожаре. Такое подключение эвакуационного освещения в 16-этажных домах нормами не предусмотрено, однако целесообразно в целях повышения безопасности людей, причем для этого дополнительных затрат не требуется.

На рис. 136 показана схема стояков одной секции дома, т. е. вертикальных участков питающих и групповых линий. К стояку *1*

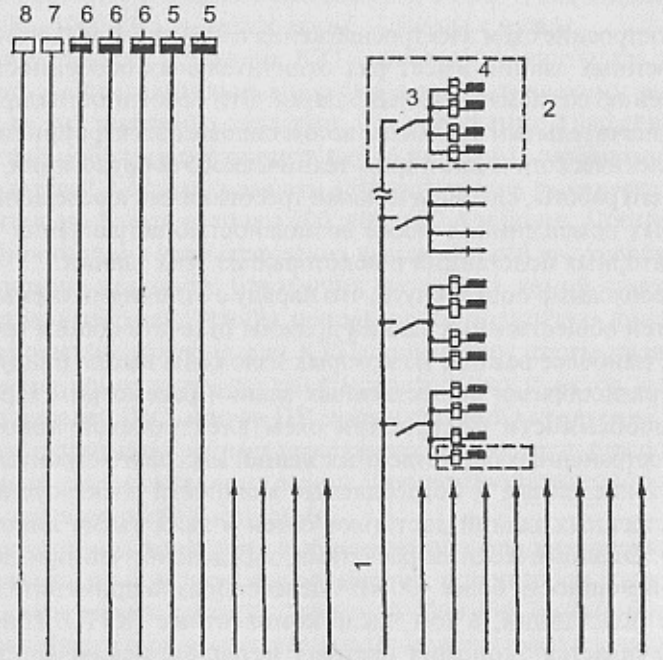



**Рис. 136.** Схема стояков одной секции 16-этажного жилого дома

подключены этажные щитки квартир *2*. Щитки установлены в железобетонном электроблоке на лестничной клетке. На каждом щитке имеются: трехполюсный пакетный выключатель *3* (один на все квартиры) с подключением к двум фазным и нулевому проводам стояка, однофазные счетчики *4* и аппаратуры защиты групповых линий квартир. Цифрами *5* обозначены лифты, *6* — вентиляторы дымозащиты, *7* — щиток автоматики, *8* — щиток иллюминации.

В 17-этажных домах и выше в отличие от рассмотренной схемы лифты и все эвакуационное и аварийное освещение, а также огни светового ограждения присоединяются к секции III ВРУ, поскольку эти электроприемники относятся к I категории по надежности электроснабжения. Однако панели секции ВРУ, к которым присоединены противопожарные устройства, должны быть обособлены и иметь отличительную красную окраску.

## 14.12. Особенности электроснабжения общественных зданий

Построение схем электроснабжения и электрооборудования общественных зданий имеет ряд отличительных особенностей по сравнению со схемами жилых зданий. Эти особенности определяются значительным удельным весом силовых электроприемников технологического и санитарно-технического оборудования, режимами его работы, специфическими требованиями к освещению некоторых помещений, а также возможностью встраивания трансформаторных подстанций в некоторые из этих зданий.

Необходимо подчеркнуть, что наряду с отличиями схемы электросетей общественных зданий должны отвечать общим требованиям, наиболее важные из которых изложены выше. Ввиду большого разнообразия общественных зданий рассмотрим характерные особенности построения схем электросетей некоторых распространенных общественных зданий массового строительства.

Установленные и потребляемые мощности электроустановок общественных зданий достигают сотен и даже тысяч киловольт-ампер. Экономическими расчетами определено, что при потребляемой мощности более 400 кВА целесообразно применять встроенные подстанции, в том числе комплектные (КТП). При этом обеспечивается экономия цветных металлов, исключается прокладка внешних кабельных линий до 1 кВ, нет необходимости в



устройстве отдельных ВРУ в здании, поскольку имеется возможность его совмещения с РУ 0,4 кВ подстанции и т. д. (В этом случае РУ называют абонентским, и оно обслуживается персоналом абонента.)

Выбор мощности и количества трансформаторов и трансформаторных подстанций определяется уровнями электрических нагрузок и технико-экономическими расчетами. Подстанции, как правило, бывают двухтрансформаторные, но в относительно небольших зданиях II и III категорий по надежности электроснабжения возможна установка однотрансформаторных подстанций.

Размеры трансформаторных помещений и помещений РУ, проходы, расстояния до токоведущих частей, конструкции полов, перекрытий, требования к отоплению и вентиляции должны соответствовать нормам, установленным разделом 4 ПУЭ. В целях обеспечения надежной работы аппаратов защиты рекомендуется принимать к установке силовые трансформаторы мощностью до 250 кВА со схемой соединения обмоток зигзаг — зигзаг, мощностью 400—1000 кВА — треугольник — звезда с нулем.

При установке в зданиях КТП необходимо учитывать дефицитность распределительных шкафов с автоматическими выключателями, поставляемых заводами. Для упрощения и удешевления КТП целесообразно ограничить число линейных автоматических выключателей, устанавливая эти автоматические выключатели на относительно большие точки 200, 400, 600 А и более. Пропускная способность таких автоматических выключателей часто превышает расчетную мощность отходящих питающих линий силовых и осветительных сетей. Чтобы использовать полностью линейные автоматические выключатели КТП, применяют схемы питания с установкой промежуточных распределительных пунктов, состоящих из панелей ЩО, щитов ПР, щитов станций управления ЩСУ и других с автоматическими выключателями на токе, близкими к расчетным токам питающих линий. Такие устройства принято называть щитами-размножителями.

Следует иметь в виду, что в общественных зданиях широко распространено люминесцентное освещение, при котором ток в нулевом проводе может достигать значений, близких к номинальному току трансформатора за счет высших гармонических составляющих. Поскольку для трансформаторов, имеющих схему соединения звез-

да — звезда с нулем допускается ток в нейтрали трансформатора не более 25% номинального, необходимо устанавливать силовые трансформаторы с соединением треугольник — звезда. В этом случае допускается ток в нейтрали до 75% номинального.

## 14.13. Размещение трансформаторных подстанций

Один из важных вопросов при проектировании внутриквартальных сетей является выбор места для размещения подстанции. Наиболее целесообразно размещать подстанции в центре нагрузки со смещением в сторону питания, однако архитектурно-планировочные решения застройки района не всегда допускают такое размещение.

При многоэтажной застройке и наличии встроенных в жилые дома предприятий общественного и бытового назначения, а также при установке электроплит в квартирах наиболее экономически целесообразно встраивать подстанции непосредственно в здания. Однако в настоящее время ПУЭ и СНиПы запрещают размещение подстанций в жилой части зданий ввиду проникновения в квартиры шума от работающих трансформаторов. Тем не менее представляется целесообразным допустить встраивание подстанций при условии применения специальных мер по звукоизоляции строительных конструкций, снижающих шум до уровня, установленного нормами. Весьма перспективно размещение подстанций в подземном пространстве в непосредственной близости от зданий или даже под зданиями.

## 14.14. Схемы вводно-распределительных устройств

В современных жилых зданиях вводы внешних сетей и коммутационно-защитная аппаратура внутренних распределительных сетей объединяются в единое комплексное ВРУ, которое является и главным распределительным щитом. Как уже упоминалось, схемы вводов зависят от принятых схем наружных сетей.

Следует иметь в виду, что в домах высотой до 16 этажей включительно, в которых применяются противопожарные устройства, в частности системы дымозащиты, питание этих устройств должно осуществляться от специальной панели ВРУ с АВР, причем питающие линии к этой панели должны подключаться к вводам в здания до переключателей, что повышает надежность их электроснабжения. На вводе питающей линии в здание устанавливаются аппараты защиты и управления. При вводе на ток более 25 А аппарат управления может не устанавливаться. При ответвлениях к зданиям от воздушных линий, защищенных в точке ответвления аппаратом защиты на ток не более 25 А, вводные устройства могут не применяться.



На вводах, как правило, после аппаратов управления устанавливают предохранители с токоограничивающим действием с целью ограничения токов КЗ.

При определенных условиях, особенно в крупных многоэтажных зданиях, экономически целесообразна установка не одного, а нескольких ВРУ. Их расположение наряду с архитектурно-планировочными и другими факторами определяется технико-экономическими расчетами. Как показывают исследования, ВРУ целесообразно размещать в секциях дома, ближайших к трансформаторной подстанции.

Однако максимальная нагрузка на каждом вводе в здание не должна превышать 400 А, а в исключительных случаях — 600 А во избежание необходимости прокладки пучка параллельных кабелей и установки на вводах громоздких аппаратов.

К *распределительной части ВРУ* присоединяются питающие линии квартир, силовых потребителей, питающие и групповые линии рабочего, эвакуационного и аварийного освещения общедомовых помещений, противопожарных устройств, огней светового ограждения, элементов диспетчеризации, кодовых замков и переговорных устройств, освещения и силовых потребителей, встроенных и пристроенных общественных помещений.

На каждой отходящей от ВРУ линии устанавливаются аппараты защиты (автоматические выключатели или предохранители). Аппарат управления может быть один на несколько линий одного назначения.

*Измерение и учет* электроэнергии, расходуемой общедомовыми потребителями, производятся трехфазными счетчиками прямого включения или с трансформаторами тока. Счетчики устанавливаются на ответвлениях и присоединяются к соответствующим секциям шин. Приборы для контроля токовых нагрузок, как пра-

вило, в жилых зданиях стационарно не устанавливаются. Однако в крупных зданиях, особенно оборудованных электроплитами, установку амперметров на каждом вводе следует считать целесообразной.

Для *подавления помех радиоприему* непосредственно на вводах устанавливаются помехозащитные конденсаторы типа КЗ-0,5 емкостью 0,5 мкФ на каждую фазу. Конденсаторы снабжены встроенными предохранителями, соединяются в звезду и заземляются.

## 14.15. Городские электрические сети

Система электроснабжения города представляет собой совокупность электрических сетей всех применяемых напряжений. Она включает электроснабжающие сети (линии напряжением 35 кВ и выше), понижающие подстанции (их часто называют центрами питания) напряжением 35—110/6—10 кВ, распределительные сети (линии напряжением 6—10кВ и 0,4/0,23 кВ) и трансформаторные подстанции напряжением 6—10/0,4 и 0,4/0,23 кВ.

Для питания той или иной системы необходимо учитывать мощность и число потребителей, их взаимное расположение, расстояние от питающего центра, требования по уровню и надежности электроснабжения. Кроме того, схема сети должна обеспечивать наиболее экономичное решение по капитальным вложениям и эксплуатационным расходам.

Во многих городах проектируются распределительные пункты (РП) напряжением 10 кВ, предназначенные для распределения энергии по подстанциям 10/0,4 кВ. Иногда РП совмещаются с одной из ТП 10/0,4 кВ. В этом случае они называются РТП. Целесообразность устройства РП определяется экономическими расчетами.

При разработке генерального плана города или поселка должны рассматриваться основные вопросы электроснабжения, включая баланс электрических нагрузок всех потребителей и источники их покрытия с учетом перспективы развития системы электроснабжения.

Построение системы электроснабжения должно быть таким, чтобы в нормальном режиме все элементы системы находились под нагрузкой с максимально возможным использованием их пропускной способности.



При реконструкции действующих сетей необходимо максимально использовать существующие сетевые сооружения.

*Электрической сетью* называется совокупность подстанций и линий различных напряжений для передачи и распределения электроэнергии.

К городским электрическим сетям относятся:

- электроснабжающие сети напряжением 110 (35) кВ и выше, включая кольцевые сети с понижающими подстанциями, линии и подстанции глубоких вводов;
- распределительные сети напряжением 10 (6)—20 кВ, включая трансформаторные подстанции (ТП) и линии, соединяющие центры питания (ЦП) и ТП и ТП между собой, и вводы к потребителям;
- распределительные сети напряжением до 1 кВ.

При наличии промежуточного элемента — распределительного пункта (РП) — в состав распределительной сети напряжением 10 (6)—20 кВ входят также РП и питающие линии, соединяющие РП с ЦП.

Электрические сети подразделяют по ряду признаков.

По *виду тока* различают электрические сети переменного и постоянного тока. В соответствии с ПУЭ электрические сети подразделяются по напряжению на сети до 1 и свыше 1 кВ. Электрические сети переменного тока в нашей стране имеют следующие стандартные номинальные напряжения: 127, 220, 380, 660 В; 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500 и 750 кВ. Сооружаются линии электропередачи переменного и постоянного токов напряжением свыше 1000 кВ.

Чтобы компенсировать потери напряжения в проводах линий и обмотках трансформаторов, номинальные напряжения генераторов и вторичных обмоток трансформаторов установлены на 5% выше соответствующих номинальных напряжений электроприемников.

В сетях местного освещения и в некоторых других случаях для обеспечения безопасности применяют напряжение 12—42 В.

По принципу построения сети подразделяют на разомкнутые (рис. 137) и замкнутые с одним (рис. 138), двумя (рис. 139) или несколькими источниками питания. По месту прокладки различают наружные и внутренние сети. Городские (коммунальные) электросети общего пользования, как правило, выполняют на напряже-

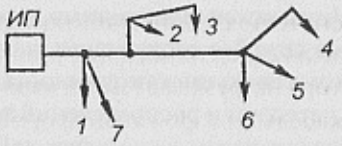



**Рис. 137.** Разомкнутая сеть:
*ИП — источник питания; 1—7 — потребители электроэнергии*

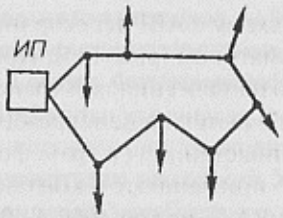



**Рис. 138.** Замкнутая сеть с одним источником питания

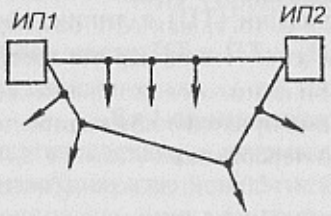



**Рис. 139.** Замкнутая сеть с двумя источниками питания

ние 6 или 10 кВ (в перспективе в крупных городах — 20 кВ) и 380/220 В. Наружные сети бывают воздушные и кабельные (подземные).

***Схемы электрических сетей.*** Распределение электроэнергии осуществляется по радиальным, магистральным и смешанным схемам. При *радиальных* каждая подстанция питается отдельными линиями, при *магистральных* к одной линии можно присоединить группу из нескольких городских трансформаторных подстанций. Радиальные схемы электроснабжения надежны, но они требуют большого расхода проводов и кабелей, а также высоковольтной аппаратуры; стоимость сетей значительно выше, чем при магистральной схеме. В крупных городах применяются радиальные и магистральные схемы в зависимости от требований к надежности электроснабжения присоединенных потребителей.

Городские электрические сети напряжением 6—10 кВ характерны тем, что в любом из микрорайонов могут оказаться потребители всех категорий по надежности электроснабжения. Естественно, это требует надлежащего построения схемы сети. Для подключения городских подстанций с двумя трансформаторами номинальной мощностью до 630 кВ·А часто применяют *двухлучевую* схему с АВР на стороне низшего напряжения с контакторной автоматикой (рис. 140). При выходе из строя одного из лучей высшего напряжения или трансформатора нагрузка автоматически переключается на неповрежденный кабель и второй трансформатор. (На подстанциях с трансформаторами мощностью до 400 кВА для АВР применяются контакторы на ток 630 А, а при мощности 630 кВА — на ток 1000 А. В некоторых схемах для устройства АВР используют автоматические выключатели.) Двухлучевая схема с АВР на стороне низшего напряжения имеет значительные преимущества, надежна в эксплуатации, обладает быстродействием (переключение производится за 0,2—0,3 с, тогда как АВР на стороне высшего напряжения выключается за 1—1,5 с). Кроме того, эта схема самовосстанавливающаяся: при возникновении напряжения на отключившейся линии (луче) схема приходит в исходное положение без участия обслуживающего персонала.



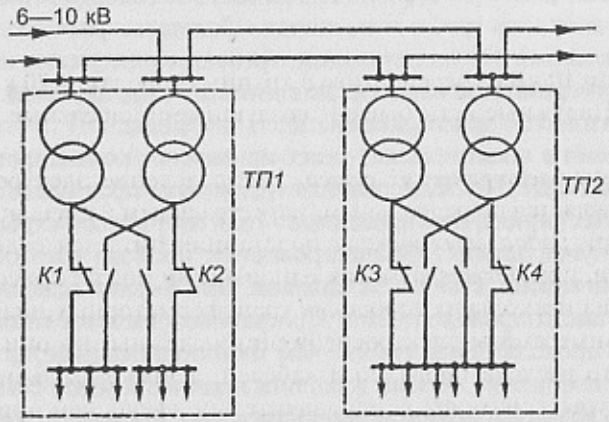



**Рис. 140.** Двухлучевая магистральная схема сети высокого напряжения с контакторной автоматикой (АВР) на стороне низкого напряжения

Двухлучевая схема обходится несколько дороже *петлевой* с резервными перемычками, применяемой в небольших и средних городах. При петлевой схеме (рис. 141) переключение производится вручную выездным персоналом, а ответственные объекты приходится выделять на отдельные линии.

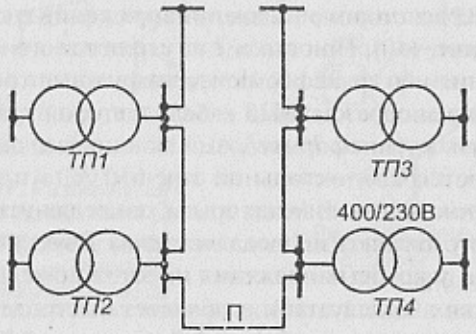



**Рис. 141.** Схема петлевой сети 6—10 кВ

В экспериментальном порядке в некоторых городах сооружаются и эксплуатируются участки сетей по *замкнутой схеме,* которые имеют высокую степень надежности и большую пропускную способность, но требуют несколько большего расхода цветного металла, сложны в эксплуатации, требуют применения специальных видов релейной защиты. Для питания потребителей I категории приходится принимать специальные меры.

*Провода* в электрических сетях применяют неизолированные и изолированные. Неизолированные используют преимущественно на воздушных линиях, изолированные — для открытых и скрытых проводок внутри здания. Неизолированные провода изготовляют из меди, алюминия, стали и их сплавов. Они бывают однопроволочными и многопроволочными. При равных сечениях многопроволочные провода более гибки, чем однопроволочные, и поэтому удобнее в монтаже. Кроме того, они прочнее и устойчивее к вибрациям, возникающим при сильном ветре. Медные провода имеют преимущества по сравнению с алюминиевыми. Они лучше противостоят атмосферным воздействиям, но из-за дефицита меди их применение строго лимитируется. Стальные провода обладают низкой проводимостью: $\gamma_c = 7{,}52$ м/(Ом·мм²), их сопротивление зависит от значения пропускаемого тока, что обусловлено сильным влиянием поверхностного эффекта и наличием потерь на перемагничивание и вихревые токи. Их применяют для передачи незначительной мощности, главным образом в небольших населенных пунктах и сельской местности. Сталеалюминиевые провода



со стальным сердечником и алюминиевой токоведущей оболочкой имеют высокую прочность и применяются при сооружении ЛЭП напряжением более 35 кВ. Неизолированные провода маркируются следующим образом: М25 — медный сечением 25 мм², А70 — алюминиевый сечением 70 мм², АС120 — сталеалюминиевый сечением 120 мм², 2 ПС50 — стальной сечением 50 мм².

*Изолированные провода* имеют жилы, заключенные в изоляционную оболочку. Бывают провода *незащищенные*, для неподвижной прокладки, у которых изоляция не защищена от механических и химических воздействий; *защищенные* — с дополнительной защитной оболочкой для неподвижных прокладок.

*Кабели* состоят из одной или нескольких скрученных изолированных жил, заключенных в герметическую металлическую, резиновую или пластмассовую оболочку. Защитные оболочки предохраняют изоляцию от вредных воздействий влаги, различных кислот и т. п. Кабели изготовляют одно-, двух-, трех- и четырехжильными. Для прокладки в грунте и других местах, где требуется защита от механических повреждений, применяют кабели с броней из стальной ленты, покрываемой для защиты от коррозии битумными компаундами. Поверх брони навиты один или два слоя джутовой пряжи, пропитанной смесью каменноугольного дегтя и смолы. Согласно ГОСТам кабели маркируются так: АСБ1 — $(3 \times 50 + 1 \times 25)$ — кабель бронированный (Б), со свинцовой оболочкой и алюминиевыми жилами (АС), четырехжильный сечением трех жил по 50 мм² и четвертной — 25 мм² на напряжение 1кВ. Кабели выпускают на номинальное напряжение 1, 3, 6, 10 кВ и выше, с диапазоном сечений при напряжении: 6 кВ (10—240 мм²), 10 кВ (16—240 мм²), 1 кВ (4—185 мм²). В четырехжильных кабелях на напряжение до 1 кВ сечение четвертой жилы равно примерно от 1/3 до 1/2 сечения основных токопроводящих жил. Существует ряд марок кабелей с пластмассовой изоляцией без брони, но с достаточно прочной оболочкой, которые разрешается прокладывать в грунтах. Для сетей напряжением 110 кВ и выше применяются специальные маслонаполненные кабели.

Изоляция проводов и кабелей, применяемых в электросетях, должна соответствовать номинальному напряжению, а защитные оболочки — способу прокладки.

## 14.16. Графики нагрузок

Потребление электроэнергии не остается постоянным, а изменяется в зависимости от характера производства, вида и типа электроприемников, времени года, часов суток. Следовательно, изменяется и режим работы электростанций и трансформаторных подстанций.

Изменение нагрузок характеризуется графиками, показывающими изменение потребляемой мощности в зависимости от времени суток. Форма суточного графика нагрузки и его характеристика (заполнение), а также максимум нагрузки потребителей городского типа изменяются в широких пределах. Поэтому для исследований строятся усредненные из ряда графиков по средним получасовым нагрузкам. С помощью этих графиков можно анализировать работу электростанций, подстанций, элементов сети или групп потребителей за определенное время, выбрать необходимый режим работы агрегатов, степень использования оборудования и возможность более целесообразного распределения нагрузок между источниками питания.

Для электрических сетей городов характерны летний и зимний *суточные графики* нагрузок.

Оба графика имеют два ярко выраженных максимума в утренние и вечерние часы, причем вечерний максимум нагрузки выше утреннего. Летний график нагрузки отличается от зимнего тем, что нагрузки летнего периода ниже зимних и вечерний максимум летом наступает позднее. Имея суточные графики для зимы и лета, можно построить годовой график нагрузки станции (энергосистемы). Такой график называется *графиком по продолжительности*.

На основании суточных графиков нагрузки определяют мощность электростанции или подстанции и необходимость включения отдельных агрегатов. Графики по продолжительности используют для составления балансов расхода электроэнергии, определения расхода топлива и т. п.

Графики нагрузок жилых зданий также имеют ярко выраженные максимумы в утренние и вечерние часы и различаются в зависимости от времени года. Однако в южных районах страны, где в перспективе будут широко применяться бытовые кондиционеры, нагрузки летнего периода могут оказаться значительно выше.



Это же относится и к некоторым магазинам, у которых в результате работы холодильного оборудования и кондиционеров летний максимум может превышать зимний.

На рис. 142 приведен усредненный зимний суточный график нагрузок жилого дома с газовыми плитами, а на рис. 143 — жилого дома с электрическими плитами в квартирах.

На осях ординат даны нагрузки в процентах максимальной, а на оси абсцисс указаны часы суток.

Для элементов сетей, питающих квартиры с газовыми плитами, усредненные графики строятся для всех дней недели, включая и выходные дни, так как большого различия в графиках нагрузки по дням недели в этих сетях нет. Для элементов сетей, питающих квартиры с электрическими плитами, строятся усредненные гра-

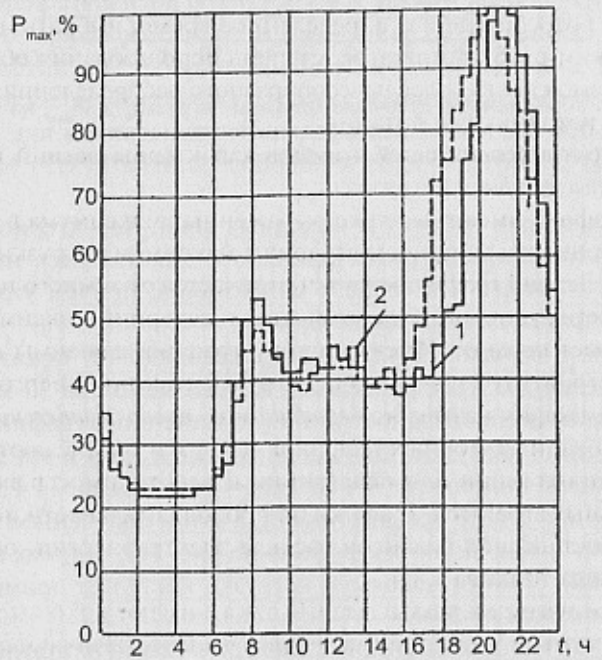



**Рис. 142.** Усредненные зимние суточные графики, % $P_{max}$ электрической нагрузки на вводе в жилые здания с газовыми плитами при многоэтажной застройке при числе присоединенных квартир 410 (*1*) и 505 (*2*)

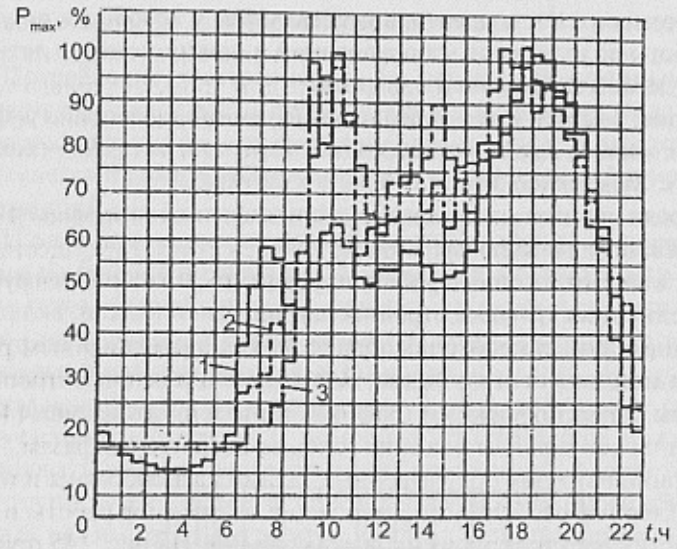



**Рис. 143.** Усредненные суточные графики нагрузки, % $P_{max}$, на ввод 108-квартирный дом с электрическими плитами:
*1 — рабочий день; 2 — суббота; 3 — воскресенье*

фики отдельно для рабочих и выходных дней. Характерной особенностью графиков нагрузки выходного дня является наличие утреннего, дневного и вечернего максимумов, причем утренний максимум практически равен вечернему.

Средние получасовые нагрузки определяют по показаниям счетчика делением электроэнергии, потребляемой за 30 мин на промежуток времени. Для построения усредненного графика суммируют средние нагрузки, зафиксированные в один и тот же интервал времени, например, 14 ч 00 мин — 14 ч 30 мин, 14 ч 30 мин — 15 ч 00 мин и т. д. за все дни недели, а затем полученное значение делят на 7. Как видно из графика на рис. 142, в домах с газовыми плитами зимний максимум нагрузки наступает примерно в 20 и продолжается до 21 ч.

В сетях, питающих квартиры с электрическими плитами, в рабочие дни недели вечерний максимум нагрузки совпадает по времени с максимумом нагрузки домов с газовыми плитами. Утренний максимум начинается с 6 и продолжается до 11 ч. Значение



утреннего максимума лежит в пределах 55—60% вечернего максимума, дневная нагрузка составляет примерно 50, а ночная не превышает 20%. В субботние и воскресные дни кроме вечернего максимума имеет место утренний максимум, примерно равный вечернему, и дневной максимум нагрузки с 13 до 17 ч — примерно 80% вечернего максимума.

Приведенные данные характерны для крупных городов. В небольших городах и поселках, а также в общежитиях, где существенную роль играет сменная работа трудящихся, графики нагрузки могут отличаться от рассмотренных выше.

В жилых домах необходимо считаться с неравномерным распределением нагрузки по фазам, особенно в домах с электроплитами. Это наглядно видно из графика, приведенного на рис. 144, в котором на оси ординат указаны токовые нагрузки по фазам.

Графики нагрузок общественных зданий разнообразны и имеют характерные особенности, зависящие от режимов работы и характеристик электроприемников этих зданий. На рис. 145 приведен усредненный суточный график нагрузки универсального магазина для летнего дня. На графике приведены изменения во времени осветительной, силовой и общей нагрузок. Из графика

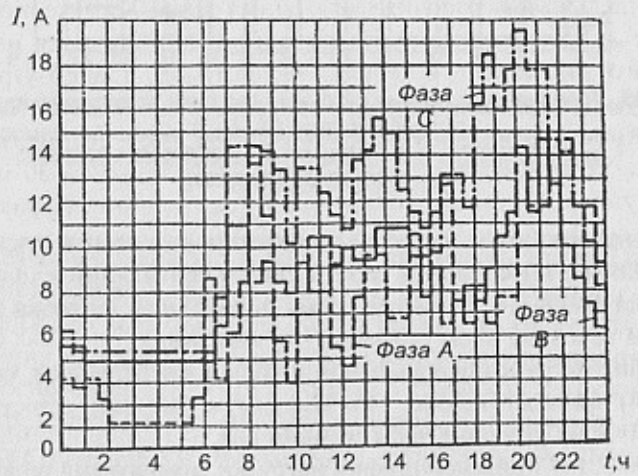



**Рис. 144.** Усредненные суточные графики нагрузки по фазам стояка в доме с электрическими плитами

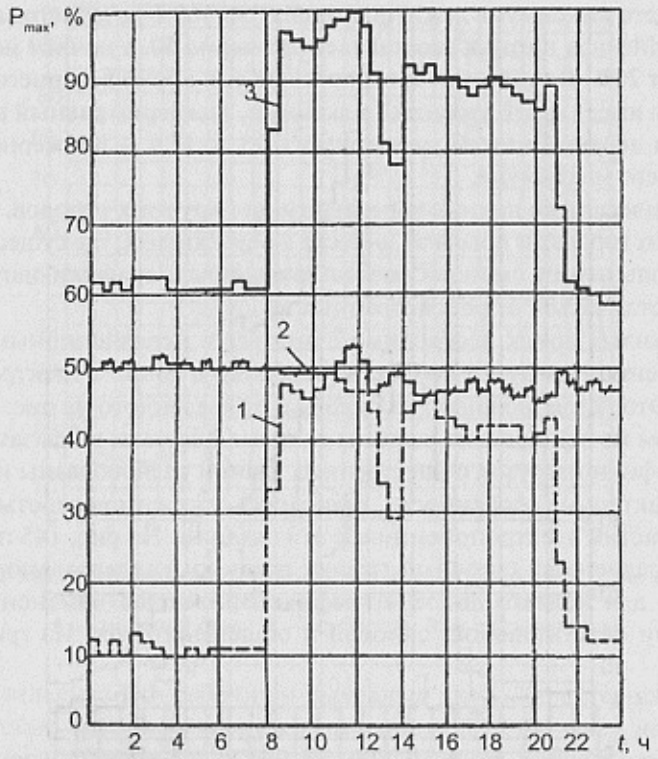



**Рис. 145.** Усредненные летние суточные графики электрических нагрузок универсама (%, $P_{max}$):
*1 — осветительные нагрузки; 2 — силовые нагрузки; 3 — суммарная нагрузка*

видно, что максимум нагрузки приходится на дневные часы в результате более интенсивной работы систем вентиляции и холодильного оборудования. В зимнее время наибольшая нагрузка приходится на вечерние часы (до закрытия магазина).

График нагрузки односменной школы (осветительная, силовая и общая) приведен на рис. 146. Максимум нагрузки, естественно, приходится на утренние часы зимнего дня.

На рис. 147 приведен график нагрузки зимнего дня терапевтического корпуса больницы. Из графика видно, что максимальная нагрузка приходится на утренние часы, когда проводится большая



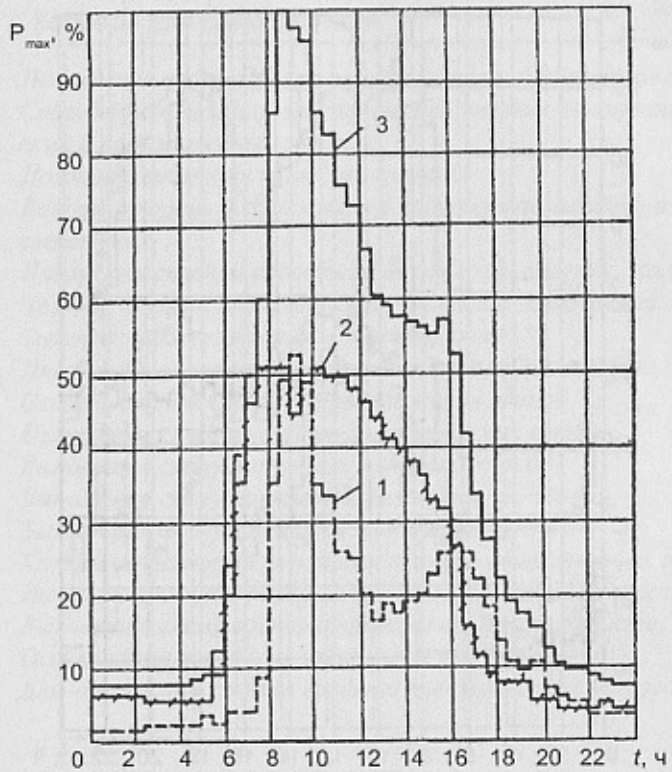



**Рис. 146.** Усредненные зимние суточные графики электрических нагрузок односменной школы с электрифицированным пищеблоком (%, $P_{max}$):
*1 — осветительные нагрузки; 2 — силовые нагрузки; 3 — суммарная нагрузка*

часть лечебных процедур и работает пищеблок. Второй пик нагрузки приходится на время с 18 до 21 ч из-за освещения.

Общим для всех графиков общественных зданий является несовпадение максимумов силовой и осветительной нагрузок.

На основании суточных и годового графиков нагрузок могут быть определены некоторые коэффициенты, которыми пользуются при проектировании и эксплуатации электрических установок:

1) средняя нагрузка, кВт,

$$\overline{P_{ср}} = W / T ,$$

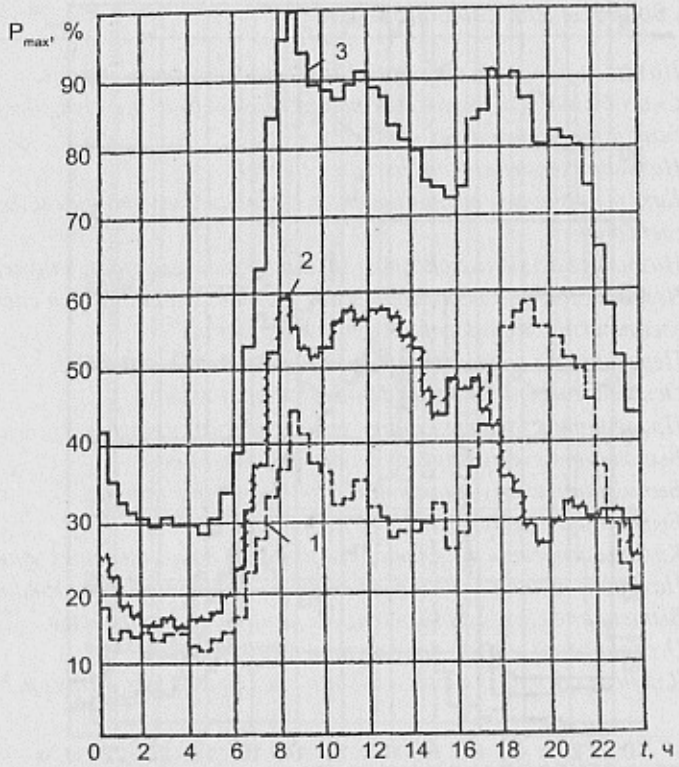



**Рис. 147.** Усредненные зимние суточные графики электрических нагрузок терапевтического корпуса больницы (%, $P_{max}$):
*1 — осветительные нагрузки; 2 — силовые нагрузки; 3 — суммарная нагрузка*

где $W$ — расход электроэнергии (площадь графика), кВт·ч, за $T$, ч;

2) число часов использования максимума нагрузки

$$T_{max} = W/P_{max},$$

где $P_{max}$ — наибольшая нагрузка за определенный период времени, кВт;

3) коэффициент заполнения графика нагрузки

$$K_{зап} = \overline{P} / P_{max}.$$



## ? Вопросы для самопроверки

1. *Назначение и конструкция силовых трансформаторов.*
2. *Способы канализации электрической энергии во внутригородских и промышленных сетях.*
3. *Назовите виды коротких замыканий.*
4. *Каковы причины возникновения коротких замыканий и их последствия?*
5. *Назовите основные способы защитного заземления, зануления.*
6. *Чем обусловлена необходимость релейной защиты для систем электроснабжения городов и предприятий?*
7. *Перечислите основные требования к релейной защите.*
8. *Основные принципы электроснабжения зданий.*
9. *Приведите классификацию электрических сетей.*
10. *Выполните схему наружных питающих линий.*
11. *Выполните схему питающих линий внутри зданий.*
12. *Выполните схему групповой квартирной сети.*
13. *Каковы особенности электроснабжения общественных зданий?*
14. *Назовите принципы размещения трансформаторных подстанций.*
15. *Выполните схему воднораспределительных устройств.*
16. *Особенности городских электрических сетей.*
17. *Для чего составляются графики электрических нагрузок?*

# *Глава 15.* ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

## 15.1. Условия поражения человека электрическим током

Эксплуатация всех видов электроустановок представляет определенную опасность для людей. Это вызывает необходимость строгого соблюдения требований правил техники безопасности и соответствующей квалификации персонала, обслуживающего такие устройства.

Поражение электрическим током возможно в случае прикосновения к токоведущим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением при нарушении изоляции. Электрические установки могут создать и пожарную опасность при КЗ, перегрузке проводов, кабелей и электроприемников, искрении и повышенном нагреве контактных соединений.

Тело человека обладает определенным электрическим сопротивлением, которое изменяется в широких пределах (от 500 до 1 000 000 Ом) и зависит от многих причин: общего состояния здоровья, толщины и состояния кожного покрова и его влажности, условий окружающей среды, длительности прохождения тока и некоторых других факторов. В расчетах по технике безопасности сопротивление человеческого тела обычно принимается равным 1000 Ом.

Различают следующие виды воздействия электрического тока на человеческий организм: тепловое — ожоги; механическое — разрыв тканей, электролиз крови; биологическое — поражение нервной системы. Особенно опасно прохождение тока через сердце, вызывающее парализацию сердечной мышцы.

Тяжесть электротравмы зависит от значения тока и длительности его прохождения. Считается, что в большинстве случаев ток 0,1 А представляет собой смертельную опасность для человека. При этом токе, проходящем от руки к руке или от руки к ногам в течение 3 с, может наступить паралич сердца.

Для человека опасен как переменный, так и постоянный, однако наибольшую опасность представляет переменный ток промышленной частоты (50 Гц). С повышением частоты переменного тока опасность поражения уменьшается.

В зависимости от опасности поражения человека электрическим током в действующих ПУЭ принята следующая классификация помещений, в которых размещается электрооборудование:

1. Помещение без повышенной опасности — сухие нежаркие с нетокопроводящими полами, без металлоконструкций, токопроводящей пыли, например, жилые, административные и другие общественные здания с деревянными, линолеумными полами.
2. Помещения с повышенной опасностью — влажные (при относительной влажности выше 75%), жаркие (при температуре свыше 30°С), с токопроводящими полами (железобетонными, металлическими, земляными), помещения, в которых имеется опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциями зданий, трубопроводам, станкам и металлическим корпусам электрооборудования.



3. Помещения особо опасные — особо сырые помещения, в которых полы, стены и потолок покрыты влагой (бани, прачечные и т. д.), в которых относительная влажность воздуха близка к 100%, помещения с химически активной средой, воздействующей на изоляцию. К особо опасным относятся и такие помещения, в которых одновременно существуют два или больше признаков повышенной опасности.

Применительно к указанной классификации нормами и правилами установлены требования, которым должны удовлетворять электрооборудование, проводники и все другие элементы электроустройства.

Возможны два случая прикосновения человека к токоведущим частям: двухполюсное, когда человек коснулся двух неизолированных проводов электрической сети, и однополюсное, когда человек касается одного из проводов.

Более опасно двухполюсное прикосновение, особенно, если к разным проводам человек прикоснулся двумя руками (рис. 148). При этом ток $I_ч$ проходящий через тело человека, в трехфазной четырехпроводной сети может достигнуть значения:

при прикосновении к двум фазам

$$I_ч = V_л / R_ч;$$

при прикосновении к фазному и нулевому проводам

$$I_ч = V_ф / R_ч,$$

где $V_л$ и $V_ф$ — соответственно линейное и фазное напряжения сети, В; $R_ч$ — сопротивление человеческого тела, 10 м.

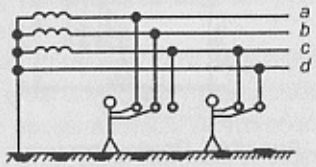



**Рис. 148.** Прикосновение человека к проводам трехфазной четырехпроводной сети:
*1 — к двум фазным проводам и 2 — к фазному и нулевому проводам*

При однополюсном прикосновении человек касается либо одного из неизолированных проводов электрической цепи, либо нетоковедущей металлической части электрооборудования, оказавшейся под напряжением в результате повреждения изоляции. В этом случае значение тока, проходящего через человека, зависит не только от приложенного напряжения, но и от режима нейтрали источников питания, активного сопротивления изоляции и емкости проводов по отношению к земле.

Электрические установки могут выполняться с глухозаземленной или изолированной нейтралью генераторов или трансформаторов. *Глухозаземленной* называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление. Согласно ПУЭ в нашей стране электроустановки и электросети до 1 кВ переменного тока допускаются как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью. В четырехпроводных сетях переменного тока глухое заземление нейтрали обязательно. Сети напряжением 110, 220, 500 кВ выполняются с глухозаземленной нейтралью, а 6, 10, 35 кВ — с изолированной нейтралью. В сетях 35 кВ для компенсации емкостных токов в случае однофазного замыкания на землю часто применяют заземление нейтрали через катушку с индуктивным сопротивлением. Рассмотрим случай однополюсного прикосновения к фазному проводу в трехфазной четырехпроводной сети 380/220 В, питаемой от вторичной обмотки понижающего трансформатора, с глухозаземленной нейтралью. Как видно из рис. 149, ток проходит через тело человека, его обувь, основание, на котором он стоит, и через заземляющее устройство нейтрали трансформатора. Таким образом, ток

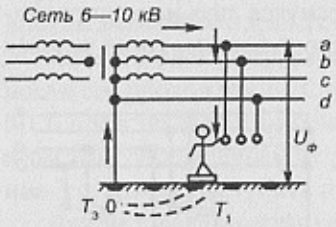



**Рис. 149.** Прикосновение к одному из фазных проводов четырехпроводной трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью

$$I_ч = \frac{V_ф}{R_ч + R_{об} + R_з},$$

где $R_{об}$ — сопротивление обуви человека и основания, на котором он стоит, Ом; $R_з$ — сопротивление заземляющего устройства нейтрали, Ом.

В приведенной формуле пренебрегли сопротивлениями фазного провода и грунта ввиду относительно малого их значения. Из этой формулы следует, что если сопротивление обуви и основания достаточно велико, то опасность поражения током снижается. Естественно, такое положение имеет место, если человек находится в сухом помещении с непроводящими полами. Что касается $R_з$, то эта величина мала по сравнению с $R_ч$ и $R_{об}$.



Значительно опаснее однополюсное прикосновение в сыром помещении или на открытом воздухе, где $R_{об}$ весьма мало и им можно пренебречь.

В этом случае ток $I_ч$ значительно выше

$$I_ч = \frac{V_{ср}}{R_ч + R_з}.$$

При напряжении 220 В и $R_ч$ = 1000 Ом $I_ч$ будет достигать 0,2 А, что чрезвычайно опасно для жизни человека.

Однако при однофазном замыкании на землю или повреждении изоляции одной из фаз в сети с глухозаземленной нейтралью и малом сопротивлении заземляющего устройства нейтрали возникает достаточно большой ток КЗ, и поврежденный участок сети должен быстро отключаться аппаратами защиты. Поэтому вероятность прикосновения в этот момент человека к корпусу поврежденного электроприемника весьма мала, что является важным преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью.

Кроме того, при замыкании одного из проводов сети 380/220 В на землю потенциал неповрежденных проводов (при правильном расчете рабочего заземления нейтрали) не превышает 250 В, что обеспечивает возможность присоединения к такой сети силовых и осветительных электроприемников. Вышеуказанные и некоторые другие преимущества обусловливают обязательность повсеместного применения в четырехпроводных электрических сетях переменного тока глухого заземления нейтрали, за исключением некоторых случаев, оговоренных ПУЭ и указанных далее.

В трехфазной сети с изолированной нейтралью ток $I_ч$ при прикосновении человека к фазному проводу (рис. 150) определяется по формуле (без учета емкости сети)

$$I_ч = \frac{3V_ф}{3R_ч + R_{аз}},$$

где $R_{аз}$ — сопротивление изоляции одной фазы относительно земли, Ом (при условии одинакового значения для всех трех фаз).

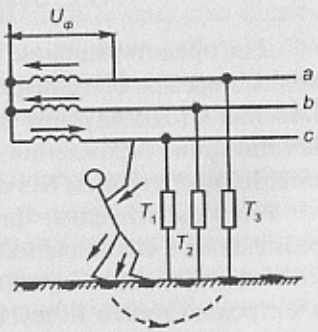



**Рис. 150.** Прикосновение к одному из фазных проводов трехфазной сети изолированной нейтралью

Из приведенного выражения следует, что при исправной сети до 1 кВ с высоким уровнем изоляции ток $I_ч$ будет незначительным и сети с изолированной нейтралью оказываются менее опасными при однополюсном прикосновении, чем сети с глухозаземленной нейтралью. Поэтому ПУЭ рекомендуют применение электрических сетей и устройств с изолированной нейтралью в установках с повышенной опасностью (торфоразработки, шахты).

Однако в такой сети повреждение изоляции и замыкание на землю одной из фаз может быть длительное время не обнаружено, а прикосновение к неповрежденной фазе приведет к тому, что человек окажется под полным линейным напряжением сети. Поэтому ПУЭ требуют в электрических сетях с изолированной нейтралью применять специальные устройства для контроля за состоянием изоляции, немедленно сигнализирующие о повреждении изоляции либо отключающие участки, в которых произошло замыкание на землю.

Отметим в заключение, что в сильно разветвленных и протяженных сетях трудно обеспечить достаточно высокий уровень сопротивления изоляции и, кроме того, уже сказывается влияние емкости проводов по отношению к земле, что повышает опасность однополюсного прикосновения и ограничивает применение системы с изолированной нейтралью.

## 15.2. Общие меры безопасности

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо прежде всего исключить возможность случайного прикосновения к токоведущим частям. В этих целях устанавливают соответствующие ограждения или токоведущие части располагают на высоте, недоступной без специальных приспособлений.

Распределительные щиты, щитки, распределительные пункты размещают в специальных помещениях или запираемых шкафах, не имеющих токоведущих частей на лицевой стороне. Зажимы электродвигателей и других электроприемников, а также пусковых аппаратов должны быть закрыты кожухом и недоступны для прикосновения.



Ремонт электродвигателей и пусковых аппаратов во время их работы недопустим. Нельзя выполнять ремонт электропроводки без полного отключения выключателем на групповом щитке и т. д.

Для наружных установок и воздушных электрических сетей определены необходимые высоты и габариты приближения к различным зданиям и сооружениям, обеспечивающие невозможность прикосновения к проводам. Эти размеры зависят от напряжения сети и указаны в ПУЭ и строительных нормах.

Правилами техники безопасности, которые должны соблюдаться обслуживающим электротехническим персоналом в процессе эксплуатации электроустановок обусловлены следующие требования. Для защиты обслуживающего персонала от поражения током и действия электрической дуги применяют различные защитные средства и приспособления. К ним относятся инструменты с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки, галоши и боты, резиновые коврики, защитные очки, специальные лестницы и стремянки, переносные заземления и ограждения, а также сигнальные переносные указатели напряжения и тока.

При производстве работ в установках до 1 кВ при полном снятии напряжения необходимо, чтобы все неотключенные токоведущие части другого соседнего оборудования имели наглухо закрытые ограждения либо находились на расстоянии или высоте, при которых случайное прикосновение к ним работающих невозможно. Правила разрешают в определенных условиях работу без снятия напряжения, для чего применяют защитные средства и специальные приспособления. В этом случае должны работать два электромонтера, у старшего должна быть квалификация по технике безопасности не ниже IV группы, у младшего — не ниже III группы.

Как уже отмечалось, чрезвычайно важное значение имеет уровень изоляции. Необходимо обеспечивать неуклонное выполнение требований ПУЭ к устройству электроустановок в зависимости от категории помещений. При дистанционном управлении в электроустановках следует применять световую или звуковую сигнализацию, предупреждающую работающих о пуске механизмов, а в некоторых случаях (ТП, РП и т. д.) — блокировочные устройства, исключающие возможность прикосновения к токоведущим

частям, находящимся под напряжением. Нужно строго выполнять профилактические осмотры и измерения, характеризующие состояние электрооборудования, в сроки, регламентированные правилами технической эксплуатации.

Для предупреждения населения об опасности, которую представляют собой все виды электрооборудования, широко применяются различные виды информации, в том числе популярные брошюры, плакаты, лекции, беседы, практикуемые энергоснабжающими организациями.

Наряду с общими мерами безопасности для защиты людей от поражения током в сетях и электроустановках необходимо применять по крайней мере одну из следующих мер предосторожности: защитное заземление, зануление, защитное отключение, малые напряжения (до 42 В), разделяющие трансформаторы, изолирующие площадки. Важное значение имеет выравнивание потенциалов в пределах установки или ее частей. В некоторых случаях без выравнивания потенциалов обеспечить безопасность невозможно. Эта защитная мера применяется совместно с защитным заземлением, занулением и другими защитными мерами.

## 15.3. Заземление, зануление и защитное отключение. Общие положения

*Заземлением* какой-либо части электроустановки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством. Заземляющее устройство состоит из заземлителей и заземляющих проводников.

*Заземлитель* представляет собой один или несколько металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в непосредственном соприкосновении с землей. *Заземляющие проводники* — металлические проводники, соединяющие заземлитель с заземленными частями электроустановки.

*Защитное заземление* служит для предохранения от поражения током при прикосновении к металлическим конструктивным частям электроустановок, в норме не находящихся под напряжением, но способным оказаться под ним вследствие повреждения изоляции. Оно применяется в сетях, работающих с изолированной нейтралью (6, 10 кВ). Если корпус (кожух) электрооборудования не заземлен, то при нарушении изоляции одной из токоведущих частей между незаземленным корпусом и землей появится напряжение. Следовательно, прикосновение человека к такому корпусу будет так же опасно, как и к неизолированному проводнику одной фазы.



Если корпус заземлен, то при повреждении изоляции одной из фаз через него будет проходить ток $I_з$, обусловленный малым сопротивлением заземляющего устройства $R_з$ и значительным сопротивлением изоляции двух неповрежденных фаз. Значение напряжения прикосновения нормируется ГОСТами.

В электроустановках до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали источников питания (генераторов, трансформаторов) защитное заземление выполняется путем присоединения нетоковедущих частей электрооборудования к заземленному нулевому проводу сети. Такая система называется *занулением* (рис. 151).

В этих установках (сетях) при замыкании одной фазы на корпус в результате повреждения изоляции возникает однофазное КЗ (путь тока показан на рис. 151), в результате которого поврежденная часть установки (или участок сети) отключается токовой защитой, чем и обеспечивается безопасность прикосновения.

Главой 1,7 ПУЭ установлено, что в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках

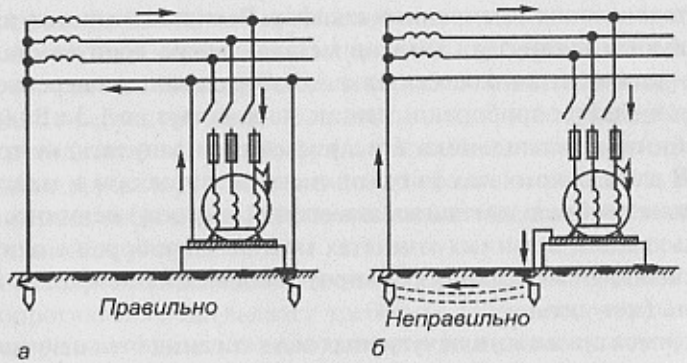



**Рис. 151.** Заземление в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью:
*а — присоединение к нулевому проводу сети и зануление (правильно); б — применение заземляющего устройства (неправильно)*

защитное заземление или зануление обязательно во всех случаях при напряжении переменного тока выше 42 и постоянного тока выше 110 В. В помещениях без повышенной опасности заземление требуется при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока.

Заземлению (занулению) подлежат все металлические корпуса электродвигателей, пусковой аппаратуры, электроинструменты, металлические трубы электропроводок, короба, лотки, металлические оболочки, броня и муфты кабелей, кабельные конструкции, кронштейны и другие металлические элементы крепления электропроводок и т. д. Несмотря на то, что жилые дома не относятся к помещениям повышенной опасности, заземлению (занулению) подлежат корпуса кухонных стационарных электроприборов мощностью 1,3 кВт и выше, таких, как посудомоечные, автоматические стиральные машины, а также корпуса щитов, щитков, светильников и стальные трубы, короба, лотки электропроводок на лестничных клетках, в технических подпольях и на чердаках. Металлические оболочки и броня кабелей, как правило, должны быть заземлены в начале и конце трассы.

Не подлежат заземлению арматура изоляторов, оттяжки, кронштейны и осветительная арматура при установке их на деревянных опорах, корпуса электроприемников с двойной изоляцией (из рабочей и дополнительной), съемные или открывающиеся двери на металлических заземленных шкафах. В жилых комнатах, а также в кухнях и санузлах квартир металлические корпуса стационарно установленного осветительного оборудования и переносных бытовых электроприборов и машин мощностью до 1,3 кВт (утюги, чайники, холодильники и т. д.) заземлять (занулять) не требуется. В ванных комнатах могут применяться приборы и машины, имеющие двойную изоляцию, заземлять (занулять) ненужно. При использовании в ванных комнатах машин и приборов с одинарной изоляцией металлические корпуса последних необходимо заземлять (занулять).

Корпуса стальных или чугунных ванн соединяются с помощью стальной полосы с трубами водопровода для выравнивания потенциалов, которые могут появиться на корпусе ванны при повреждении скрытых электропроводок, находящихся в конструкциях зданий.



В четырехпроводных сетях переменного тока с глухо заземленной нейтралью присоединение корпуса электроприемников и других частей электроустановок, подлежащих заземлению, к заземлителям без подключения к нулевому защитному проводу не разрешается, ибо при этом не обеспечивается безопасность людей, поскольку при замыкании на корпус через два последовательных заземления ток однофазного КЗ может оказаться недостаточным для срабатывания защиты.

Сопротивление заземляющего устройства нейтралей генераторов и трансформаторов должно быть в сетях 380/220 В не более 4 Ом. Поскольку заземление на подстанциях является общим и для установок высокого напряжения, то в некоторых случаях, определенных ПУЭ, это сопротивление приходится принимать на основании специального расчета в зависимости от возможного значения тока замыкания на землю в сети высшего напряжения.

## 15.4. Заземление и зануление

Необходимо отметить, что заземление в зданиях и сооружениях является общим как для всех электротехнических установок, так и для устройств автоматики. В качестве заземлителей следует в первую очередь использовать так называемые *естественные заземлители*. К ним относятся водопроводные и другие металлические трубопроводы без антикоррозийного покрытия, за исключением трубопроводов с горючими жидкостями или горючими и взрывчатыми газами, свинцовые оболочки кабелей, металлические конструкции и арматура железобетонных зданий и сооружений, имеющих соединение с землей, фундаменты, металлические шпунты, обсадные трубы и т. д. Алюминиевые оболочки кабелей и неизолированные алюминиевые проводники использовать в качестве заземлителей не разрешается.

В тех случаях, когда естественные заземлители отсутствуют или их сопротивление превышает требуемое значение, устраиваются искусственные заземлители, состоящие из отрезков угловой стали ($50 \times 50 \times 4$ мм) длиной 2,5—3 м, некондиционированных стальных труб диаметром 50 мм той же длины с толщиной стенки не менее 3,5 мм, отрезков круглой стали диаметром 12—14 мм, длиной 5 м и более.

Указанные отрезки (электроды) погружаются в грунт на расстоянии друг от друга примерно 3 м и соединяются между собой стальной полосой 40 × 4 мм. Верхние концы электродов должны быть на глубине 0,6—0,7 м от поверхности. Соединительная полоса прокладывается в траншее глубиной 0,6—0,7 м. Все соединения осуществляются сваркой. Количество электродов зависит от размеров, удельного сопротивления грунта, глубины промерзания и некоторых других факторов и определяется на основании специального расчета.

В воздушных сетях переменного тока зануление осуществляется при помощи нулевого провода, проложенного на тех же опорах линии, что и фазные провода. На концах воздушных линий (или ответвлений) длиной более 200 м, а также на вводах в здания, электроустановки которых подлежат занулению, должны выполняться повторные заземления нулевого провода общим сопротивлением в сетях 380/220 В не более 10 Ом, при этом сопротивление каждого из повторных заземлений должно быть не более 30 Ом.

Для повторного заземления следует в первую очередь использовать естественные заземлители. Повторные заземления повышают условия безопасности, особенно при обрывах нулевого провода. В воздушных линиях длиной до 200 м и кабельных сетях любой длины повторные заземления не требуются, так как в них обрыв нулевой жилы маловероятен. В жилых домах в квартирах с электроплитами повторные заземления выполняются и при кабельных вводах.

***Расчеты заземляющих устройств.*** Сопротивление, которое оказывает току в земле участок почвы от заземлителя до точек с нулевым потенциалом, называют *сопротивлением растеканию тока.*

Сопротивление растеканию заземлителя определяется как отношение напряжения между заземлителем и точками земли с нулевым потенциалом $V_з$, В, к току замыкания $I_з$, А:

$$R_з = V_з / I_з.$$

Поскольку человек практически не может одновременно касаться заземленного корпуса оборудования или заземляющих проводников (их сопротивлением, как незначительным, пренебрегают) и точки на почве с нулевым потенциалом, которое находится на расстоянии около 20 м, то напряжение прикосновения $V_{пр}$ всегда меньше $V_з$. Если бы даже такое прикосновение оказалось возможным, то и в этом случае благодаря сопротивлению обуви и одежды напряжение, под которым оказался человек, всегда было бы меньше $V_з$:

$$V_{пр} = K_{пр} \cdot I_з,$$

где $K_{пр}$ — коэффициент прикосновения, имеющий значение меньше единицы.



Между двумя точками поверхности земли на участке растекания тока также имеет место разность потенциалов. Человек, проходя по участку растекания, сделав шаг, условно принятый 0,8 м, попадает под некоторую разность потенциалов, называемую *шаговым напряжением* ($V_ш$). При этом через тело человека (в основном через ноги) протекает ток поражения, который может достигать значений, опасных для человека.

Кривые на рис. 152 иллюстрируют растекание тока в земле и показывают значения напряжений прикосновения и шага. Из дан-

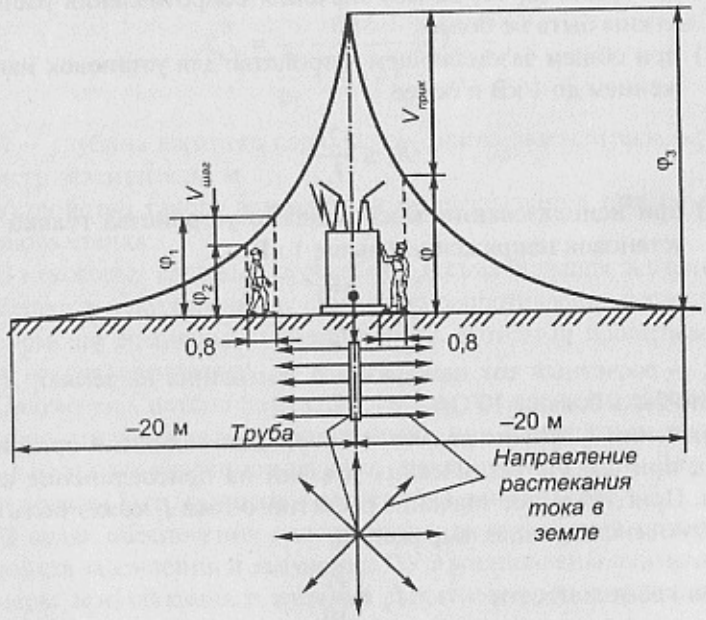



**Рис. 152.** Кривые распределения потенциала в зависимости от расстояния до заземлителя

ного рисунка видно, что по мере удаления от заземлителя шаговое напряжение уменьшается. Снижение напряжения прикосновения и шагового напряжения достигается уменьшением сопротивления заземлителя, а следовательно, и тока, протекающего через тело человека. В установках напряжением выше 1 кВ применяются замкнутые контуры заземлителей, состоящие из одного или нескольких рядов стальных стержней, забитых в землю, соединенных на сварке стальной полосой и расположенных в пределах защищаемого объекта. Таким образом выравниваются потенциалы смежных точек поверхности. Выше были указаны сопротивления растеканию в электроустановках напряжением до 1 кВ. Здесь отметим требуемые сопротивления растеканию в электроустановках напряжением выше 1 кВ.

Так, в установках с большими токами замыкания на землю (выше 500 А) сопротивление растеканию заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом. В сетях с малыми токами замыкания на землю (6, 10, 20 кВ) значения сопротивления растеканию должны быть не более:

а) при общем заземляющем устройстве для установок напряжением до 1 кВ и более

$$R_з \le \frac{125}{I_з};$$

б) при использовании заземляющего устройства только для установок напряжением выше 1 кВ

$$R_з < \frac{250}{I_з},$$

где $I_з$ — расчетный ток однофазного замыкания на землю; $R_з$ не должно быть больше 10 Ом.

Значения $I_з$ обычно задаются энергоснабжающими организациями при выдаче технических условий на присоединение к их сетям. Приближенное значение расчетного тока $I_з$ может быть определено из следующих выражений:

для кабельной сети $$I_з = \frac{Vl}{10};$$



для воздушной сети $$I_з = \frac{Vl}{350},$$

где $V$ — напряжение сети, кВ; $l$ — общая длина сети, км.

Как уже было сказано, для заземления используются естественные и искусственные заземлители.

Сопротивление растеканию тока заземлителя в первую очередь зависит от удельного сопротивления грунта r, которое дается в специальных таблицах.

***Глубинные заземлители.*** В реальных условиях земля имеет многослойное строение, однако для практических расчетов достаточно представить грунт в виде двухслойной структуры. Во многих случаях удельное сопротивление ниже слоя $\rho_2$ меньше $\rho_1$ верхнего слоя, поэтому целесообразно использовать заглубленные (5—10 м) и глубинные (свыше 10 м) заземлители, что обеспечивает существенную экономию средств. Сопротивление растеканию $R_{ч.з}$ такого вертикального заземлителя, Ом, можно определить по формуле

$$R_{ч.з} = \frac{0{,}16}{\frac{h}{\rho_1} + (l-h)\frac{1}{\rho_2}} I_n \frac{4l}{d},$$

где $h$ — глубина верхнего слоя, м; $l$ — длина заземлителя, м; $d$ — диаметр заземлителя, м.

Устройство такого заземлителя осуществляется при помощи бурового станка.

В некоторых сложных случаях при весьма больших значениях $c$ прибегают к искусственному снижению сопротивления растеканию при помощи специальных электролитов, которыми пропитывается грунт вокруг заземлителя.

***Зануление.*** Система зануления должна прежде всего обеспечить быстрое отключение электроустановки при однофазном замыкании в наиболее удаленном участке электрической цепи. Для этой цели должен быть выполнен расчет тока однофазного КЗ.

В целях обеспечения надежности и механической прочности устройств заземления и зануления ПУЭ установлены наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников, определяемых по специальным таблицам.

## 15.5. Защитное отключение и разделительные трансформаторы

Защитное заземление и зануление не всегда обеспечивают необходимые условия безопасности людей, соприкасающихся с электроустановками, так как даже при токе однофазного КЗ, повышающем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя, срабатывание защиты происходит с некоторой выдержкой времени (иногда в несколько минут). В этих случаях целесообразно, особенно в помещениях с повышенной опасностью, дополнительно к занулению применять защитное отключение.

*Аппараты защитного отключения* представляют собой автоматические выключатели, снабженные устройствами, реагирующими на ток утечки. Основной частью устройства защитного отключения является дифференциальный трансформатор тока, первичной обмоткой которого служат провода защищаемой сети. К вторичной обмотке присоединяется схема, непосредственно воздействующая на механизм отключения выключателя.

Существует большое разнообразие видов устройств защитного отключения. Наиболее совершенны устройства высокой чувствительности, реагирующие не только на глухое, но и на неполное замыкание на землю. Такие устройства при правильно выбранных уставках токов утечки (около 30 мА) обладают большим быстродействием и защищают человека даже при однополюсном прикосновении к токоведущим частям.

Функции устройств защитного отключения сводятся к следующему: а) защита от глухого замыкания на землю; б) защита от неполного замыкания на землю; в) автоматический постоянный контроль состояния изоляции сети и цепей заземления (зануления); г) самоконтроль.

Наиболее простые аппараты защитного отключения срабатывают при замыкании на землю со временем отключения 0,1—0,2 с и обеспечивают безопасность только при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением.

Действие устройств защитного отключения основано на том, что через дифференциальный трансформатор тока пропускают все провода защищаемой линии, включая нулевой провод, благодаря чему геометрическая сумма токов равна нулю даже при несимметричной нагрузке фаз. При таком равновесии токов устройство не срабатывает. При замыкании одной фазы на корпус возникает ток утечки, не проходящий через дифференциальный трансформатор тока. Возникший при этом в дифференциальном трансформаторе ток небаланса вызывает срабатывание устройства защитного отключения.



Уставка на ток утечки должна быть больше естественных токов утечки электроприемников, присоединяемых к защищаемой сети, в противном случае могут возникать ложные отключения. Вместе с тем загрубление уставок токов утечки снижает надежность защиты от поражения электрическим током.

*Применение разделительных трансформаторов.* Понижающие трансформаторы с вторичным напряжением не более 42 В и заземленной вторичной обмоткой не обеспечивают требуемой безопасности в случае нарушения изоляции между обмотками. В этом случае во вторичную цепь переходит напряжение первичной цепи и человек может оказаться под потенциалом, опасным для жизни.

Этого недостатка можно избежать, применяя так называемые разделительные трансформаторы. Эти трансформаторы имеют повышенную изоляцию, благодаря чему в значительной степени снижается возможность перехода напряжения первичной обмотки во вторичную. Разделительные трансформаторы не обязательно должны быть понижающими, однако вторичное напряжение не должно быть больше 380 В.

Стремление к созданию наибольших удобств привело к установке в ванных комнатах квартир, гостиниц и общежитий штепсельных розеток для включения в них некоторых бытовых электроприемников, потребляющих небольшую мощность. К таким электроприемникам относятся электробритвы, вибрационные приборы для массажа и т. п. Однако установка штепсельной розетки в ванной комнате с присоединением ее непосредственно к сети квартиры представляет безусловную опасность для людей, и ПУЭ запрещена. Дело в том, что в условиях ванной комнаты (обычно крайне тесное помещение, в котором имеются заземленные металлические части — краны, трубы, ванна и т. п.), неисправность изоляции электроприемника или штепсельной розетки может привести к тяжелым травмам. Штепсельная розетка в ванной комнате должна включаться только через разделительный трансформатор,

благодаря чему бытовой электроприемник изолируется от общей сети квартиры, т. е. исключаются условия, вызывающие повышенную опасность.

Вторичную обмотку разделительного трансформатора и электроприемник, подключенный к нему, заземлять запрещено.

При отсутствии заземления прикосновение к частям, находящимся под напряжением, или корпусу с поврежденной изоляцией не создает опасности, так как вторичная сеть разделительного трансформатора коротка и токи утечки в ней при исправной изоляции невелики. Если при этом возникает повреждение изоляции и на другой фазе вторичной цепи (двойное замыкание), то на корпусе электроприемника появится напряжение по отношению к земле, что в неблагоприятных случаях (например, проводящий пол в ванной комнате) может оказаться опасным. Чтобы уменьшить вероятность появления двойных замыканий, к разделительному трансформатору не следует присоединять более одной розетки. Кроме того, сами разделительные трансформаторы должны иметь высокий уровень изоляции, что достигается специальным исполнением.

## 15.6. Молниезащита зданий и сооружений. Основные положения

Защита зданий и сооружений от поражения молнией предназначена для полного или частичного исключения последствий попадания молнии в защищаемый объект.

При разряде молнии в здание или сооружение импульсный ток достигает 50 кА и более и вызывает огромные выделения теплоты. При этом строительные конструкции, по которым протекает ток разряда, нагреваются до очень высоких температур, вплоть до их разрушения или загорания.

Кроме теплового ток разряда, несмотря на его кратковременность (микросекунды), оказывает электростатическое и электромагнитное воздействие на различные металлические элементы зданий и сооружений, прежде всего на инженерные коммуникации. Таким образом, молния очень опасна не только для самого здания, но и для людей, находящихся в здании или поблизости.



Здания и сооружения или их части в зависимости от назначения, интенсивности грозовой деятельности в районе их местонахождения, а также от ожидаемого количества поражений молнией в год должны быть защищены в соответствии с категориями устройства и типом зоны защиты, указанным в таблице «Типы зон защиты от поражения зданий и сооружений молнией».

Среднегодовая грозовая деятельность определяется по специальной карте, приложенной к «Инструкции по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений» (СН 305-77). Ожидаемое количество поражений молнией в год $N$ определяется по формуле

$$N = (S + 6h)(L + 6h)n10^{-6},$$

где $S$ и $L$ — соответственно ширина и длина защищаемого здания, имеющего прямоугольную форму в плане, м; $h$ — наибольшая высота здания (сооружения), м; $n$ — среднегодовое число ударов молнии в 1 км$^2$ земной поверхности в месте расположения здания.

Значения $n$ при разной интенсивности грозовой деятельности:

| Интенсивность грозовой деятельности, ч/год | 10—20 | 20—40 | 40—60 | 60—80 | 80 и более |
|---|---|---|---|---|---|
| Среднегодовое количество ударов молнии в 1 км$^2$ земной поверхности, $n$ | 1 | 3 | 6 | 9 | 12 |

Для зданий сложной конфигурации при расчете $N$ в качестве $S$ и $L$ рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание в плане.

В зависимости от степени взрывоопасности, характера воздействия молнии, значимости и технологических особенностей объекта все здания и сооружения разделяются на три категории:

- к I категории относятся здания и сооружения, относимые ПУЭ к классам В-I и В-II. Взрыв в таких помещениях под действием молнии, как правило, приводит к значительным разрушениям и человеческим жертвам;
- ко II категории относятся здания и сооружения класса В-Iа, В-Iб, В-IIа. Взрыв в таких помещениях сопровождается, как правило, лишь незначительными разрушениями без человеческих жертв;

- остальные здания и сооружения, которые оборудуются средствами молниезащиты, указанными в строительных нормах, относятся к III категории.

## 15.7. Способы молниезащиты

Здания и сооружения, отнесенные к I и II категориям, должны быть защищены от прямых ударов молнии, а также от электростатической и электромагнитной индукции и от заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации.

Здания и сооружения, отнесенные к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации.

В процессе строительства зданий важное значение имеет устройство временной системы молниезащиты, если здание сооружается в грозовой период. Такое устройство выполняется с высоты 20 м и более. При этом в качестве токоотвода используются любые металлические конструкции (лестницы, водосточные трубы и т. д.) при условии надежности их соединений, в том числе болтовых при сопротивлении переходного контакта не более 0,05 Ом.




**Рис. 153.** Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м

*Зона защиты молниеотвода* — это часть пространства, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Зона защиты типа А обладает степенью надежности 99,5% и выше, а типа Б — 95% и выше. На рис. 153 показана зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м. Для определения габаритов молниеотвода можно пользоваться следующими выражениями:



*Зона А:*

$$h_0 = 0{,}85h;$$
$$r_0 = (1{,}1 - 0{,}002h)h;$$
$$r_x = (1{,}1 - 0{,}002h)(h - \frac{h_x}{0{,}85}).$$

*Зона Б:*

$$h_0 = 0{,}92h;$$
$$r_0 = 1{,}5h;$$
$$r_x = 1{,}5(h - \frac{h_x}{0{,}92}).$$

Для зоны Б высота одиночного стержневого молниеотвода, если известны $h_x$ и $r_x$, может быть определена по формуле

$$h = \frac{r_x + 1{,}63h_x}{1{,}5}.$$

В табл. 18 приведены данные для наиболее распространенных типов молниеотводов, применяемых в сельской местности. Для других типов молниеотводов расчет может выполняться по специальной инструкции.

Для городских зданий, обычно высотных, применяются молниеприемные сетки, налагаемые на кровлю, которые выполняются из стальной проволоки диаметром 6—8 мм с ячейкой для зданий II категории 6 × 8 м, а для здания III категории — 12 × 12 м. Узлы сетки соединяются сваркой. Металлические элементы здания или сооружения, расположенные на крыше, должны быть соединены с сеткой. Спуски к заземлителю выполняются через каждые 25 м по периметру здания. Если кровля здания металлическая, то она может служить молниеприемником и сетка уже не нужна. Части здания, возвышающиеся над кровлей, оборудуются дополнительными молниеприемниками, присоединяемыми к сетке.

## 15.8. Заземлители и защита от заноса высоких потенциалов

Импульсивное сопротивление растеканию тока каждого из заземлителей, к которым присоединяются спуски сетки, должно быть более 20 Ом. В большинстве случаев для заземлителей молниезащиты вполне достаточно использовать фундаменты зданий и другие естественные заземлители.

Таблица 18

**Типы зон защиты от поражения зданий и сооружений молнией**

| № п/п | Здания и сооружения | Местонахождение | Тип зоны защиты | Категория устройства молниезащиты |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Здания и сооружения или их части с производствами, помещения в которых по ПУЭ относятся к классам В-I и В-II (взрывоопасные) | По всей терррритории России | Зона А | I |
| 2 | То же при В-Ia, В-Iб, В-IIa | В местностях со средней грозовой деятельностью 10 ч/год и более | При ожидаемом количестве поражений молнией в год зданий или сооружений: N < 1 зона Б, при N > 1 — зона А | II |
| 3 | Здания и сооружения с производствами, помещения в которых по ПУЭ относятся к классам П-I, П-II и П-IIa (пожароопасные) | В местностях со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более | Для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости 0,1<N<2 и для степени огнестойкости III, IV, V при 0,02<N<2 — зона Б, при N > 2 — зона А | III |
| 4 | Животноводческие и птицеводческие здания и сооружения III, IV и V степеней огнестойкости: для крупного рогатого скота и свиней на 100 голов и более, для лошадей на 40 голов и более, для овец на 500 голов и более, для птицы на 1000 голов и более | В местности со средней грозовой деятельностью 40 ч/год и более | Зона Б | III |



Окончание табл. 18

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 5 | Здания и сооружения III, IV и V степеней огнестойкости; в которых отсутствуют производства с помещениями, относимыми по ПУЭ к классам взрыво- и пожароопасным | В местности со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более | При ожидаемом количестве поражений молнией в год: 0,1<N<2 — зона Б, при N > 2 — зона А | III |
| 6 | Жилые и общественные здания, возвышающиеся более чем на 25 м над средней высотой окружающих зданий в радиусе 400 м, а также отдельно стоящие здания высотой более 30 м, удаленные от других зданий более чем на 400 м | В местностях со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более | Зона Б | III |
| 7 | Отдельно стоящие жилые и общественные здания в сельской местности высотой более 30 м | То же | То же | III |
| 8 | Общественные здания III, IV и V степеней огнестойкости следующего назначения: детские сады и ясли, школы и школы-интернаты, спальные корпуса и столовые санаториев, домов отдыха и пионерских лагерей, лечебные корпуса больниц, клубы, кинотеатры | То же | То же | III |
| 9 | Здания и сооружения, являющиеся памятниками истории и культуры | В местностях со средней грозовой деятельностью 10 ч/год и более | То же | III |

Для зданий III категории защиты от вторичных воздействий молнии (индукция) не требуется. Однако такие здания следует защищать от заноса высоких потенциалов по надземным и подземным коммуникациям.

Так, для защиты одно-, двухэтажных зданий, расположенных в населенной местности, от грозовых перенапряжений необходимо выполнить следующие требования (ПУЭ 2.4.26):

1) на опорах с ответвлениями к вводам в помещения, в которых может быть сосредоточено большое количество людей (школы, детские сады и ясли, больницы и т. п.), или в здания, представляющие большую хозяйственную ценность (животноводческие помещения, склады, мастерские и пр.), должны быть выполнены заземляющие устройства с сопротивлением не более 30 Ом;
2) на конечных опорах линий, имеющих ответвления к вводам, при этом наибольшее расстояние от соседнего защитного заземления этих же линий должно быть не более 100 м — для районов с числом грозовых часов в год более 40 и 50 м — для районов с числом грозовых часов в год более 40 также должно быть выполнено заземление сопротивлением не более 30 Ом.

К указанным заземляющим устройствам должны быть присоединены на деревянных опорах крюки и штыри изоляторов, а на железобетонных, кроме того, арматура.

В сетях с заземленной нейтралью целесообразно использовать для защиты от атмосферных перенапряжений повторные заземления нулевого провода, а также установку вентильных разрядников. Для защиты зданий и сооружений III категории от заноса высоких потенциалов по подземным коммуникациям металлические трубопроводы присоединяют к любому из заземляющих устройств. В качестве заземлителей устройств молниезащиты следует по возможности использовать заземления электрических установок.

### ? *Вопросы для самопроверки*

1. *Каковы условия поражения человека электрическим током?*
2. *Перечислите общие меры безопасности.*



3. *Объясните необходимость заземления, зануления и защитного отключения.*
4. *Основные схемы и принципы заземления и зануления.*
5. *Объясните необходимость защитного отключения в разделительных трансформаторах.*
6. *Почему необходима молниезащита зданий?*
7. *Основные способы молниезащиты.*
8. *Обоснуйте необходимость установки заземлителей и необходимости защиты от заноса высоких потенциалов.*

# *Глава 16.* ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

## 16.1. Определение потребной электрической мощности

Расчетная электрическая нагрузка (мощность) строительной площадки определяется по установленной активной мощности $P_у$ электроприемников и коэффициенту спроса $K_c$. Установленная (или номинальная) мощность приемников электроэнергии, приведенная к длительному режиму работы, является достаточно достоверной исходной величиной для расчета электрических нагрузок. При проектировании схем временного электроснабжения на основании изучения стройгенплана и технической части проекта составляется перечень принятых в них строительных машин, оборудования и инструмента с указанием технических характеристик электрооборудования и номинальной (паспортной) мощности.

Затем с учетом числа приемников, их установленной активной мощности и длительности режимов работы определяется расчетная мощность всех электропотребителей строительной площадки (для активной нагрузки, для реактивной нагрузки).

## 16.2. Схемы электроснабжения строительства

Схему электроснабжения строительной площадки или предприятия строительной индустрии выбирают в соответствии с классификацией приемников электроэнергии по требуемой ПУЭ

степени бесперебойности электроснабжения, учитывая потребляемую мощность, размещение потребителей на территории строительной площадки или предприятия, расположение источников электрической энергии и срок обеспечения.

Объекты — электроприемники I категории — характеризуются по ПУЭ как электроприемники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение особо важных элементов городского хозяйства. К ним относятся: артезианские скважины, водозаборы, насосные станции водоснабжения, замораживающие, иглофильтровальные установки; насосные станции водоотлива и водопонижения (польдерная система осушения), цементационные работы, шахтные пассажирские подъемники, электропрогрев бетона, тепловые пункты в сетях теплоснабжения, котельные водозабора, вентиляция и водоотлив в тоннелях; подземные и тоннельные работы; перекачка фекальных стоков и т. д. Они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, и перерыв их электроснабжения может быть допущен лишь на время автоматического ввода резервного питания. При небольшой мощности электроприемников I категории в качестве второго источника питания могут использоваться передвижные электростанции, аккумуляторные батареи, двигатели внутреннего сгорания, а также перемычки на низшем напряжении от ближайшего пункта, имеющего независимое питание с автоматическим включением резерва (АВР).

Объекты — электроприемники II категории — характеризуются по ПУЭ как электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества городских жителей. К ним относятся объекты промышленности строительных материалов: заводы железобетонных изделий — главные корпуса железобетонных изделий, шлакоблоков, ячеистого бетона, транспортные галереи, приемные устройства, бетоносмесительный цех, известегасильное отделение; кирпично-черепичные заводы — сушильный цех, прессовый цех, отделение подтопков, котельная; заводы гипса и сухой штукатурки, гипсоблоков; заводы металлоконструкций, а также строительные площадки — компрессорные воздушные установки; канатные дороги, бетонное хозяйство, нефтебазы, ремонтно-механические заводы, тракторные хозяйства, земснаряды, гидромеханизация и станции перекачки к ним; гидромониторы; охлаждение бетона, котельные для бетонных хозяйств, крупные автобазы. Для приемников II категории допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады.



Допускается питание электроприемников II категории по одной воздушной линии 6 кВ или 10 кВ и выше. При питании электроприемников по кабелям допускается питание одной линией, но расщепленной не менее чем на два кабеля, присоединенных через самостоятельные линии. При наличии централизованного резерва допускается питание одним трансформатором.

К объектам — электроприемникам III категории — относятся все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категории, а именно: общезаводские подсобные цехи, вспомогательные объекты и установки промышленности строительных материалов, базы электромонтажа, арматурные мастерские, бетоно- и растворосмесители, плотничные и опалубочные мастерские, лесоцехи, участковые механические мастерские с холодной обработкой металла и т. д. Для них допускаются перерывы электроснабжения на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента схемы электроснабжения, но не более одних суток (см. рис. 123 — схема внешнего электроснабжения). Схема питания по одной «тупиковой» линии (*а*) применяется, если на объекте отсутствуют потребители I категории.

Схема питания «отпайкой» от одной линии (*б*) является разновидностью схемы (*а*) и применяется, если недалеко от объекта проходит ЛЭП и сечение ее проводов достаточно для присоединения к ней дополнительной нагрузки.

Схема питания двумя параллельными линиями (*в*), присоединенными к разным секциям питающего распределительного устройства, поменяется при наличии на объекте большого количества ответственных потребителей.

Схема с «отпайкой» от двух линий (*г*) аналогична на схеме (*в*), применяется, если недалеко от объекта проходит ЛЭП и сечение

ее проводов достаточно для присоединения к ней дополнительной нагрузки.

Выбор варианта определяется технико-экономическими расчетами и условиями надежности электроснабжения.

Связующим звеном между питающей и внутренней сетью строительной площадки является главная понизительная подстанция (ГПП) или главная распределительная подстанция (ГРП). Распределение электроэнергии от ГПП, ГРП до подстанций на строительстве или до цеховых подстанций выполняется по радиальным, магистральным или комбинированным схемам (указанным ранее) в зависимости от расположения потребителей и требуемого уровня надежности.

## 16.3. Условия выбора электрооборудования, кабелей и проводов

*Выключатели* — высоковольтные выбирают по ряду параметров, которые сравниваются с данными каталогов:

а) по предельно отключаемому току $I_{н.о.}$;

б) по допустимому ударному току КЗ $I_{у.доп.}$;

в) по допустимому наибольшему действующему току КЗ $I_{д.доп.}$

*Разъединители* выбирают по тем же условиям, что и выключатели, за исключением предельных значений отключаемых тока и мощности.

*Предохранители* выбирают по номинальному отключаемому току и номинальной отключаемой мощности.

*Трансформаторы тока* проверяют на динамическую и термическую устойчивость.

*Автоматические воздушные выключатели (автоматы)* распределительной сети до 1000 В проверяют по наибольшему допустимому току отключения и по ударному току КЗ.

Экономически целесообразные сечения проводов и кабелей выбирают по нормированным значениям экономической плотности тока по таблицам.



## 16.4. Электрическое освещение на строительных площадках

Осветительные установки должны обеспечивать: фактическую освещенность не ниже нормативной; бесперебойность действия освещения; длительную работу установки в заданных условиях среды; пожарную безопасность; удобство обслуживания и управления; электробезопасность при обслуживании; экономичность сооружения и эксплуатации; возможность рационального потребления электроэнергии.

*Для стройплощадок и участков,* а также мест производства СМР, расположенных внутри зданий, должна применяться система общего освещения (равномерного или локализованного). При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света.

*Для освещения помещения*, как правило, следует предусматривать газоразрядные лампы низкого и высокого давления (люминесцентные, ДРЛ, металлогалогенные, натриевые, ксеноновые), лампы накаливания.

*Для аварийного и эвакуационного освещения* следует применять лампы накаливания, люминесцентные лампы.

*Охранное освещение* должно предусматриваться вдоль границ территории, охраняемой в ночное время. Освещенность должна быть 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости.

Электротехническая часть осветительных приборов должна соответствовать напряжению сети и условиям окружающей среды. Применение открытых газоразрядных ламп, а также открытых ламп накаливания с прозрачной колбой для освещения стройплощадок и участков недопустимо. Для питания осветительных приборов применяют напряжение:

- для светильников общего освещения — не более 220 В;
- для светильников стационарного местного освещения, а также светильников общего освещения, установленных на доступной для прикосновения высоте и во влажных помещениях с мокрыми технологическими процессами, — 36 В;
- для ручных переносных светильников — 12 В.

Осветительная установка наружного освещения должна иметь централизованное дистанционное включение. Целесообразно ис-

пользовать фоторелейные установки (устройства), включающие освещение в зависимости от естественной освещенности.

Для электрического освещения стройплощадок следует применять типовые стационарные и передвижные инвентарные осветительные установки. Передвижные инвентарные осветительные установки должны размещаться на стройплощадке в местах производства работ и в зоне транспортных путей. Строительные машины должны быть оборудованы осветительными установками наружного действия.

Прожекторы, установленные на мачте, должны иметь возможность отключения: все — дистанционно и с нижнего щита мачты.

## 16.5. Электропривод в строительстве

В строительстве применяются электроприводы, подразделяемые на следующие виды:

- *по назначению* — главный и вспомогательный;
- *по направлению вращения* — реверсивный и нереверсивный;
- *по числу двигателей* — однодвигательный (один электродвигатель приводит в движение механизм);
- *групповой* — один электродвигатель приводит в движение несколько механизмов;
- *многодвигательный* — каждый из нескольких электродвигателей приводит в движение один механизм рабочей машины.

*По характеру нагрузки* — силовой (электродвигатель приводит в движение механизм с произвольной нагрузочной диаграммой) и тяговый (электродвигатель приводит в движение ходовой механизм движущейся машины).

*По роду тока* — переменного тока промышленной и повышенной частоты; постоянного и переменно-постоянного тока.

*По характеру изменения параметров* — регулируемый и нерегулируемый.

Для привода ряда строительных машин и оборудования служат электродвигатели переменного или постоянного тока. Обычно в этих приводах используют асинхронные электродвигатели трехфазного тока частотой 60 Гц с короткозамкнутым ротором, которые получили наибольшее распространение из-за простоты



устройства. Их применяют в машинах и механизмах с длительно-непрерывным режимом работы (конвейерах, питателях, сортировках). Эти двигатели просты в управлении (кнопочное управление с магнитным пускателем), но имеют ряд недостатков: большой пусковой ток (в 5 раз превышающий номинальный); малый пусковой момент (1,4—2 номинальных); малую перегрузочную способность; для регулировки скорости необходимы дополнительные сложные устройства.

Для привода машин с поворотно-кратковременным режимом работы (строительных кранов, карьерных экскаваторов) применяют крановые асинхронные электродвигатели с большой способностью короткозамкнутые и с контактными кольцами. Крановые двигатели с контактными кольцами допускают в известных пределах регулирование скорости включением в цепь ротора элементов сопротивления. Последовательное включение сопротивления в цепь ротора уменьшает скорость его вращения, выключение сопротивления увеличивает скорость до номинальной.

Регулирование числа оборотов однофазного электродвигателя переменного тока небольшой мощности может осуществляться электронным регулятором, плавно изменяющим подачу напряжения на обмотку возбуждения электродвигателя, тем самым осуществляющим бесступенчатое регулирование частоты вращения якоря электродвигателя.

Перегрузочная способность крановых электродвигателей с контактными кольцами при продолжительности включения ПВ 25% равна 2,5—3,4.

На башенных, козловых и мостовых кранах, как правило, применяют многомоторный электропривод переменного тока с использованием асинхронных крановых двигателей с контактными кольцами.

При необходимости регулировать число оборотов в широком диапазоне применяют электродвигатели постоянного тока. Обычно их используют в комбинированных дизель-электрических приводах экскаваторов и кранов большой мощности. В таком случае питание каждого из двигателей осуществляется от генератора постоянного тока, смонтированного на самой машине и приводимого во вращение двигателем внутреннего сгорания (дизелем) или сетевым электродвигателем переменного тока.

Для привода ручных электрических машин мощностью до 0,6 кВт применяют встроенные асинхронные коллекторные электродвигатели однофазного или трехфазного тока. Для более мощных ручных машин применяют асинхронные двигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором на токе нормальной (50 Гц) или повышенной частоты (200 Гц) напряжением 220 и 36 В. Для питания электродвигателей повышенной частоты необходимы преобразователи частоты тока, а для электродвигателей напряжением 36 В — понижающие трансформаторы.

Ручные машины с электродвигателем, работающим на токе повышенной частоты при одинаковой мощности, имеют меньшие габариты и массу двигателей по сравнению с машинами, работающими на токе нормальной частоты.

Для управления электроприводом строительных машин применяют различную пускорегулирующую и защитную аппаратуру, в том числе пакетные выключатели с переключателями, автоматические выключатели, контроллеры и командоконтроллеры; в числе аппаратуры автоматического управления — контакторы, магнитные пускатели, конечные выключатели и защитную аппаратуру, плавкие предохранители, максимальное токовое реле, тепловое реле и др.

## 16.6. Электрифицированные средства малой механизации

***Общие сведения о ручных машинах.*** У ручных машин движение рабочего органа осуществляется от встроенного двигателя, а удерживание машины, установка ее в положение относительно обрабатываемого изделия или места работы, вспомогательные движения и управление выполняют вручную. Ручные машины используют там, где применение стационарного оборудования невозможно или нецелесообразно. С их помощью выполняют всевозможные виды строительных, монтажных, сборочных, сантехнических, электротехнических, ремонтных, отделочных и прочих работ.

Применение ручных машин значительно облегчает условия труда, увеличивает производительность и повышает качество работы. В качестве примера можно указать, что применение механизированного гайковерта при сборке и разборке болтовых соединений дает увеличение производительности в 10—15 раз по



сравнению с применением для этих работ ручных инструментов (ключей).

Применяемые в строительстве машины классифицируют по виду используемой энергии, по характеру движения рабочего органа, по назначению и роду выполняемых работ.

*По виду используемой энергии* ручные машины разделяют на электрические, пневматические, моторизованные, гидравлические и пороховые.

*По характеру движения рабочего органа* ручные машины разделяют на машины с вращательным движением рабочего органа — круговым (сверлильная машина) и по замкнутому контуру (долбежник); машины с возвратно-поступательным движением рабочего органа (ножницы, молотки); со сложным движением рабочего органа, например ударно-поворотное движение (перфоратор).

За последнее время появились универсальные (многорежимные) машины, работающие во вращательном режиме (сверление), ударном (молотка), ударно-вращательном (режим перфоратора) и в винтовом режиме.

*По назначению* ручные машины разделяются на машины для работы по металлу, по дереву, бетону и камню, для санитарно-технических, электротехнических, земляных работ и т. д. Некоторые виды машин, например сверлильные, могут использоваться для работы по металлу, дереву и другим материалам.

*По роду выполняемой работы* ручные машины разделяются на:

- сверлильные, развертывающие, развальцовочные;
- шлифовальные, зачистные, полировальные;
- гайковерты, шуруповерты, резьбонарезные;
- клепальные, рубильные и отбойные молотки, перфораторы, бетоноломы;
- ножницы, пилы, рубанки:
- другие ручные машины специального назначения.

Количество видов и типоразмеров машин очень большое, поэтому для их отличия разработана определенная индексация. Индексы, присваиваемые ручным машинам, состоят из двух букв и четырех цифр. Буквами определяется вид привода машин: ИЭ — электрический, ИП — пневматический, ИГ — гидравлический, ИД — двигатель внутреннего сгорания. Буквами ИК независимо от вида привода обозначают инструментальные головки и насадки.

В соответствии с ГОСТ 10084—73 выпускают ручные машины трех классов:

I — на номинальное напряжение свыше 42 В, у которых хотя бы одна металлическая деталь, доступная для прикосновения, отделена от частей, находящихся под напряжением, только рабочей изоляцией.

II — на номинальное напряжение свыше 42 В, у которых все металлические детали, доступные для прикосновения, отделены от частей, находящихся под напряжением, двойной или усиленной изоляцией.

III — на номинальное напряжение до 42 В, полученное либо от автономных источников тока, либо от трансформаторов (преобразователей) с отдельными обмотками.

Машины класса I в строительных условиях эксплуатировать не разрешается.

Машины класса II (с двойной изоляцией) наиболее прогрессивны, так как они могут питаться от осветительной сети, их не нужно заземлять и при этом обеспечивается полная электробезопасность работы и при соблюдении правил эксплуатации. Двойная изоляция машин осуществляется следующим способом: статор (индуктор с катушками) двигателя, щеточный механизм, выключатель и все токопроводящие (соединительные) провода размещены в корпусе и рукоятке из изоляционного материала (высокопрочная пластмасса), а вал ротора (якоря) имеет электроизоляционную втулку, изолирующую его от ротора (якоря) и коллектора. Машины класса II (с двойной изоляцией) на корпусе или на заводском щитке имеют специальный знак.

Машины класса III выпускаются на номинальное напряжение не выше 42 В, они питаются от автономного источника тока или от общей сети через трансформатор или преобразователь, напряжение холостого хода которых не должно быть более 50 В, а вторичная электрическая цепь не должна соединяться с землей.

Типы электродвигателей, применяемые в электрифицированных средствах малой механизации:

- *асинхронные* трехфазные с короткозамкнутым ротором, нормальной и повышенной частоты тока;
- *однофазные коллекторные*;
- *возвратно-поступательного движения* (электромагнитные).



Дополнительные требования предъявляют к ручным электрическим машинам, в особенности к машинам с двойной изоляцией класса II.

При определении мощности источника питания и сечения токопроводящих проводов в случае одновременной эксплуатации нескольких ручных машин необходимо учитывать возможность увеличения потребляемой мощности, так как в процессе работы машины почти всегда бывают перегружены.

Ручные машины (вне рабочего времени) должны храниться в сухих отапливаемых помещениях;

- должен быть организован учет времени работы машин;
- при выдаче машины в работу ее необходимо осмотреть, проверить на холостом ходу четкость работы выключателя, а также исправность изоляции.

Запрещается выдавать в работу машину, а также необходимо прекратить работу в случае обнаружения трещин на корпусных деталях и рукоятке и др.

Запрещается работать в помещениях взрывоопасных или с химически активной средой, разрушающей изоляцию, а также на открытых площадках во время выпадения осадков.

Оператор должен соблюдать предельно допустимую продолжительность работы и не допускать перегрузок.

Необходимо следить за температурой корпуса двигателя, которая не должна превышать 60°С.

Ежедневно по окончании работы машины нужно очищать от загрязнений, а при необходимости подтягивать крепежные детали.

### ? Вопросы для самопроверки

1. *Как определить потребную электрическую мощность для строительной площадки?*
2. *По каким критериям выбирают схему электроснабжения строительных площадок?*
3. *Каковы условия выбора электрооборудования, кабелей и проводов?*
4. *Мотивируйте необходимость электрического освещения на строительных площадках.*
5. *Каково назначение электропривода в строительстве?*

6. *Для чего необходимы электрифицированные средства малой механизации в строительстве?*
7. *Техника безопасности при работе с ручным электроинструментом.*
8. *Принцип действия и работы основных средств малой механизации.*

# *Глава 17.* ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

## 17.1. Производство работ в зимнее время и при низких положительных температурах

Бетонные работы на любых строящихся реконструируемых объектах могут производиться как в цехах, где в зимнее время поддерживается положительная температура, так и в холодных помещениях или на открытом воздухе. Но следует не упускать из виду фактор времени при выдерживании бетона, поэтому форсировать набор прочности бетонными конструкциями следует даже при низких положительных температурах.

Если бетонируемые конструкции не сдерживают производство последующих работ, то могут применяться экстенсивные методы зимнего бетонирования — термос, химические добавки или комбинация указанных методов. Термосное выдерживание конструкций предусматривает использование утепленной опалубки и укрытие горизонтальных поверхностей матами. В зависимости от температуры наружного воздуха, массивности конструкций и расхода цемента можно определить продолжительность остывания τ, ч:

$$\tau = \left[ C_б V_б (t_{б.н.} - t_{б.к.}) + Ц Э \right] / \left[ K M_п (t_{б.ср} - t_{н.в}) \right],$$

где $C_б$ — удельная теплоемкость бетона, кДж/кг · °С; $V_б$ — плотность бетона, кг/м$^3$; $t_{б.н}$, $t_{б.к.}$, $t_{б.ср.}$ — температура бетона начальная, в конце выдерживания, средняя за время выдерживания, °С; $t_{н.в.}$ — температура наружного воздуха, °С; $Ц$ — расход цемента, кг/м$^3$; $Э$ — тепловыделение 1 кг цемента, кДж/кг; $K$ — коэффициент теплопередачи опалубки, Вт/м$^2$ · °С; $M_п$ — модуль поверхности конструкции, м$^{-1}$.



Реакции гидратации цемента по характеру являются экзотермическими, и это обстоятельство позволяет при утепленной опалубке успешно бетонировать конструкции при температурах до −10°С. Для расчета режимов выдерживания необходимо знать показатели тепловыделения цементов и коэффициенты теплопередачи опалубки (по специальным таблицам).

Химические противоморозные добавки (нитрит-нитрат кальция + мочевина, хлористый кальций + хлористый натрий, хлористый кальций + нитрит натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция + мочевина, поташ) целесообразно использовать в бетонах на портландцементе. Нитрат натрия (НН), хлорид кальция (ХК) с нитратом натрия не влияют на сроки схватывания бетонных смесей, в то время как другие добавки резко сокращают продолжительность работы по укладке смеси в опалубку. Есть противопоказания к применению противоморозных добавок для конструкций нулевого цикла любых зданий, особенно при агрессивных подземных водах и в зонах, где появляются блуждающие токи. Подобранный по концентрации раствор добавки (определяется по спецтаблицам) вводят в воду затворения.

Наиболее технологичный метод производства бетонных работ в зимнее время — укладка смесей в термоактивной опалубке, поскольку обогрев через разделительную стенку (палубу щитов) обеспечивает благоприятные термовлажностные условия для набора прочности бетоном. Термоактивная опалубка — универсальная оснастка, пригодная для отогрева грунтовых оснований и старого бетона. Высокая степень электробезопасности позволяет применять метод при непрерывном бетонировании конструкций и сооружении большого единичного объема, а также конструкций с высокой степенью армирования, что весьма характерно для многих строящихся и реконструируемых объектов. Термоактивная опалубочная форма позволяет удалять наледи с арматуры и обеспечивать практически любой расчетный температурный режим.

Питание термоактивных опалубок осуществляется от понижающих трансформаторов или трансформаторных подстанций, оборудованных приборами автоматического контроля и регулирования температурного режима. Поскольку нагреватели щитов имеют постоянное омическое сопротивление, то их мощность может изменяться путем изменения рабочего напряжения. Выбор удель-

ной мощности нагревателей оплубки зависит от расчетной температуры воздуха, массивности бетонируемых конструкций и теплозащитных свойств опалубки.

В качестве утеплителя рекомендуется использовать минераловойлочные маты и плиты ПП на синтетическом связующем, холстопрошивной стекломатериал ХПС, а также заливную теплоизоляцию на основе пенополиуретана и пенопластов с устройством воздушной прослойки толщиной до 20 мм, если температура теплостойкости материала утеплителя превышена. При устройстве теплоизоляции следует закрывать утеплителем все промежуточные ребра каркаса щита, являющиеся «мостиками холода». Коэффициент теплопередачи утепленных щитов не должен превышать 3,5 Вт/(м$^2$ · °С). Коэффициент теплопередачи стальных опалубочных щитов, утепленных минераловатными матами различной толщины, может быть определен по специальной номограмме.

Наиболее экономична и технологична в изготовлении термоактивная опалубка с кабельными нагревателями. Долговечность кабельных электронагревателей во многом зависит от качества их укладки и способа крепления в термоактивной опалубке. Ухудшение теплового контакта, например при попадании утеплителя между опалубкой и нагревательным кабелем, приводит к местному перегреву, повреждению или выходу из строя нагревательного кабеля раньше, чем погонная нагрузка на него станет максимально допустимой.

Шаг кабельных электронагревателей наружным диаметром до 6 мм в стальных термоактивных щитах при допустимых температурных градиентах на поверхности обогреваемых конструкций до 0,4—0,5°С/ см может быть определен по номограммам в справочной литературе.

Если объем бетонных работ невелик, в термоактивной опалубке, используемой для замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций, местных заделок, в качестве электронагревателя может быть применен провод ПОСХВ, ПОСХП, ПВЖ, ППЖ, ПРСП. Для повышения теплостойкости электроизоляции провод помещают между слоями стеклоткани, пропитанной эпоксидным компаундом. Последовательность операций по изготовлению термоактивной опалубки такой конструкции: очистка и обезжиривание внутренней полости стальных щитов; наклейка



внутри на палубу размером с ячейку щита слоя стеклоткани, пропитанной эпоксидным компаундом состава: эпоксидная смола ЭД-20 (7 частей), полиэтиленполиамин (отвердитель) — 2 части, дибутилфталат (пластификатор) — 1 часть; укладка в ячейки щитов шаблонов с проволочными нагревателями; наклейка на эпоксидном компаунде второго слоя стеклоткани поверх нагревателей.

Мощность нагревателей щитов определяют исходя из предполагаемого режима обогрева и способа контроля за температурой. При отсутствии приборов, обеспечивающих автоматический контроль, расчет ориентирован на получение баланса между полезной мощностью, расходуемой на обогрев конструкций, и тепловыми потерями при достижении определенного температурного показателя (по номограммам в справочной литературе).

Отогретые участки бетонных конструкций или бетонных, каменных и грунтовых оснований, выступающие за опалубку, утепляют опилками, минераловойлочными матами слоем, толщина которого обеспечивает коэффициент сопротивления теплопередаче около 0,4. При температуре воздуха ниже –20°С для компенсации тепловых потерь на отдельные участки оснований укладывают термоактивные щиты с нагревателями мощностью 600—800 Вт/м$^2$.

Для контроля температурного режима в местах, характерных с точки зрения тепло- и массообмена, устанавливают температурные датчики из расчета по одному на каждые 50—70 м$^2$. Контрольные замеры проводят в местах, существенно отличающихся по условиям эксплуатации, — в углах, у основания, в выступающих пилонах, консолях и т. п.

Если во время термообработки отказывает нагреватель, его заменяют только через штатные разъемы. При аварийном прекращении подачи электроэнергии устанавливают контроль за режимом температуры в характерных точках; при теплотехническом перерасчете время выдержки бетона, пока устраняется авария, учитывается.

## 17.2. Способы электротермообработки

***Методы электротермообработки железобетонных изделий и бетона и рациональные области их применения приведены в табл. 19.***

Таблица 19

**Методы электротермообработки железобетонных изделий и бетона и рациональные области их применения**

| Метод электротермообработки | Краткая характеристика и рациональная область применения | Ориентировочный расход электроэнергии 1 м³, кВт·ч | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Электродный (сквозной) | *Электропрогрев*<br>Прогрев сборных и монолитных бетонных и малоармированных железобетонных изделий и конструкций путем пропускания тока через всю толщину бетона. Применение наиболее эффективно для ленточных фундаментов, а таюже колонн, стен и перегородок толщиной до 50 см, блоков стен подвалов | 80—120 | Режимы прогрева мягкие. Скорость подъема температуры не должна превышать 20°С/ч. В качестве электродов используют стержни и струны диаметром не менее 6 мм или полосы шириной не менее 15 мм, выполненные из листовой стали и нашиваемые на внутреннюю поверхность опалубки |
| Периферийный | *Прогрев периферийных зон бетона массивных и средней массивности бетонных и железобетонных сборных изделий и монолитных конструкций.* Применяется в качестве одностороннего прогрева изделий и конструкций, имеющих толщину не более 20 см, и двустороннего прогрева при толщине изделий и конструкций более 20 см (ленточные фундаменты), бетонные подготовки и полы, плоские перекрытия и доборные элементы, стены и перегородки и т. д. | 80—120 | При прогреве массивных конструкций необходимо поддерживать температуру в периферийных слоях на 5—10°С ниже или на уровне температуры в ядре. Режимы прогрева мягкие. Скорость подъема температуры не выше 10°С/ч. В качестве электродов применяются стержни, полосы, ленты из сплошного или напыленного металла, закрепленные (напыленные) на опалубку |



Продолжение табл. 19

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| | | | или на специальные щиты, устанавливаемые на неопалубленную поверхность конструкции |
| С использованием в качестве электродов арматуры | Прогрев сборных изделий и монолитных конструкций, армированных отдельными несвязанными между собой стержнями, плоскими каркасами и пр. | 80—120 | Режимы прогрева мягкие. Скорость подъема температуры не выше 10°С/ч |
| Нагрев в электромагнитном поле (индукционный) | *Электронагрев*<br>Нагрев железобетонных конструкций линейного типа с равномерно распределенной по сечению арматурой путем устройства индуктора вокруг элемента. Применяют при прогреве практически всех видов сборных и монолитных конструкций, таких, как колонны, ригели, балки, прогоны, элементы равных конструкций, стволы труб и силосов, коллекторы и опускные колодцы, сваи и перемычки, а также при замоноличивании стыков каркасных конструкций | 120—150 | Режимы прогрева мягкие. Скорость подъема температуры не выше 20°С/ч. Нагрев бетона происходит от нагреваемой в электромагнитном поле арматуры или от металлической формы. Нагрев бетона через арматуру или обогрев его формой производить по мягким режимам. Температура на контакте арматуры или формы с бетоном не должна превышать 80°С |
| Обогрев в камерах с излучающими поверхностями | Обогрев сборных железобетонных изделий в камерах, оборудованных индукторами.Применяется преимущественно при изготовлении плит, перекрытий и покрытий, панелей стен | 100—180 | То же |

Окончание табл. 19

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Предварительный | *Электроразогрев*<br>Бетонная смесь быстро разогревается вне формы, укладывается и уплотняется в горячем состоянии. Применяется при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций с $M_n$ = 12 и при изготовлении изделий в заводских условиях | 50—90 | Для конструкций с $M_n$ = 6 требуемая прочность достигается путем термосного выдерживания. Для конструкций с $M_n$ 6—12 необходим дополнительный прогрев или обогрев бетона, что увеличит расход электроэнергии |
| В форме с повторным уплотнением | Бетонная смесь в холодном состоянии укладывается и уплотняется в форме, а затем быстро разогревается и повторно уплотняется. При изготовлении сборных и возведении монолитных бетонных малоармированных железобетонных конструкций | 50—70 | То же |
| В процессе виброформования | При изготовлении тонкостенных слабоармированных конструкций и линейных элементов с одиночной арматурой | 50—60 | Отформованные изделия целесообразно сразу же помещать в среду с повышенной температурой |



## 17.3. Электрооборудование для нагрева бетонной смеси и грунта

Выбор, монтаж и эксплуатация электрооборудования и электроснабжение при электротермообработке бетона и грунта должны производиться согласно «Правилам устройства электроустановок».

Если стенд (секция) или захватка, на которой укладка всего бетона или формовка всех изделий продолжается не свыше 1—1,5 ч, имеет большую протяженность, то в целях экономии проводов и удобства производства работ рекомендуется разбить его (ее) на отдельные участки. Электропитание этих участков должно осуществляться от специальных распределительных щитов путем разводки проводов непосредственно к прогреваемому бетону.

Для разводки в пределах захватки или стенда необходимо применять провода с водонепроницаемой гибкой изоляцией или софиты с проводами или шинами. Разводящие изолированные провода должны подвешиваться на крюках к опалубке прогреваемых конструкций или укладываться на инвентарные козлы или изолирующие прокладки.

## 17.4. Оборудование и инструмент для сварки

*Источники питания сварочной дуги* должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого зажигания и устойчивого горения дуги, но не превышать значений ГОСТов и ТУ на соответствующее оборудование;
- должны быть рассчитаны на работу при периодических коротких замыканиях сварочной цепи. Ток короткого замыкания должен быть в пределах 1,25—2 значений рабочего тока;
- должны обеспечивать легкое зажигание во всем диапазоне регулирования сварочного тока начиная с 40—50 А;
- внешние характеристики источников питания должны быть крутопадающими (для сварки штучным, неплавящимся и плавящимся электродами с зависимой от напряжения дуги скоростью подачи), пологопадающими и жесткими или

возрастающими (для сварки плавящимся электродом с независимой скоростью подачи), продолжительность включения при ручной сварке должна быть 60% (допускается 20% при сварке короткомерных швов и прихватке).

На монтажных площадках целесообразно применение дистанционных регуляторов. При отсутствии постоянных рабочих мест сварщиков необходимы малогабаритные источники тока или передвижные сварочные посты (на автомобилях, автоприцепах, в контейнерах). В условиях, опасных для исполнителей, в перерывах между сваркой напряжение холостого хода источников тока должно понижаться до безопасной величины.

Источники питания подразделяются по следующим признакам:

- *по роду тока* — на постоянный (сварочные выпрямители и электромашинные генераторы постоянного тока — преобразователи и агрегаты) и переменный (сварочные трансформаторы и однофазные электромашинные генераторы повышенной частоты);
- *по способу установки* — на стационарные и передвижные;
- *по количеству обслуживания постов* — на одно- и многопостовые;
- *по конструктивному исполнению* — на однокорпусные и раздельные;
- *по мощности* — на малую, среднюю, большую;
- *по схеме подключения к сети* — на много- и однофазные;
- *по назначению* — на универсальные и специализированные.

***Электрооборудование сварочных установок.***

Свойства потребителя, которым при сварке является дуга, характеризуются зависимостью изменения напряжения на дуге от потребляемого тока. Устойчивость горения дуги зависит от соответствия формы внешней характеристики источника заданной форме статической характеристики дуги. Внешняя характеристика источника питания, как и характеристика дуги, может быть подающей, жесткой или возрастающей.

Для ручной дуговой сварки и автоматической сварки под слоем флюса с автоматическим регулированием напряжения на дуге, когда статическая характеристика дуги жесткая (рис. 154, *а* кривая *1*), внешняя характеристика источника питания должна быть крутопадающая (рис. 154, *а*, кривая *2*). Чем больше крутизна падения внешней характеристики в рабочей части (см. рис. 154, *а*, точка *К*), тем меньше колебания тока при изменении длины дуги. При таких характеристиках напряжение холостого хода источника питания всегда больше напряжения на дуге ($V_0 > V_д$), что облегчает первоначальное и повторное зажигание дуги, особенно при сварке на переменном токе. Кроме того, при крутопадающей внешней характеристике ограничивается сила тока короткого замыкания, которая по отношению к рабочей силе тока находится в пределах $1{,}25 < I_к/I_д < 2$.



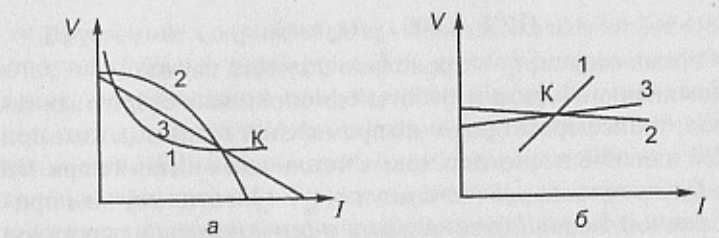



**Рис. 154.** Статические характеристики дуги:
*а — при автоматической сварке под флюсом; б — при сварке в среде защитных газов*

При автоматической сварке под флюсом с саморегулированием дуги, когда статическая характеристика дуги жесткая, внешняя характеристика источника питания для повышения интенсивности саморегулирования должна быть пологопадающей (см. рис. 154, *а*, кривая *3*).

При сварке в среде защитных газов на постоянном токе при большой плотности тока в электроде статическая характеристика дуги возрастающая (рис. 154, *б*, кривая *1*). В этом случае внешняя характеристика источника для еще большей интенсивности саморегулирования может быть жесткой или возрастающей (см. рис. 154, *б*, кривые *2* и *3*).

Номинальная сила сварочного тока различна при различных режимах работы источника питания дуги. Режим работы характеризуется отношением длительности сварки к сумме длительности сварки и холостого хода, выраженной в процентах. Обычно режим работы источника питания при дуговой сварке обозначают знаком *ПР%* или *ПВ%*.

$$ПВ\% = 100\, t_{св}/(t_{св} + t_{п}),$$

где $t_{св}$ — время сварки; $t_{п}$ — продолжительность паузы.

За номинальный режим работы однопостовых сварочных генераторов, трансформаторов и выпрямителей принят режим при $ПВ = 65\%$ или 60% и многопостовых источников питания при $ПВ = 100\%$. Длительность рабочего цикла $(t_{св} + t_{п})$ в этих случаях принимают равной 5 мин. Номинальный режим работы источников питания для автоматической сварки с номинальной силой тока 500 и 1000 А принят $ПВ = 60\%$, установок с номинальной силой тока 2000 А — $ПВ = 50\%$. В этих случаях продолжительность цикла 10 мин.

Время восстановления напряжения от нуля до напряжения горения дуги и сварочных генераторов не должно превышать 0,03 с.

Эксплуатация сварочной машины при номинальных значениях силы сварочного тока и $ПВ$ исключает перегрев частей машины, главным образом первичной обмотки трансформатора, выше допустимых температур. Если один из этих параметров необходимо увеличить, второй соответственно снижают. Расчет производят по формуле

$$I_{экв} = I_{ном}\sqrt{ПВ_{ном} / ПВ_{экв}},$$

где $I_{ном}$, $ПВ_{ном}$ — номинальные значения силы тока и продолжительности включения; $I_{экв}$, $ПВ_{экв}$ — эквивалентные значения силы тока и продолжительности включения, при которых части машин нагреваются до тех же температур, что и при работе в номинальном режиме.

Длительную силу тока определяют по формуле

$$I_{дл} = I_{ном}\sqrt{ПВ_{ном}/100}.$$

Продолжительность включения ($ПВ\%$) определяется отношением суммарного времени включения тока в течение одного сварочного цикла к полному времени цикла, т. е. $ПВ\% = 100 t_{св}/t_{ц}$.

Сопротивление контактной машины при сварке $Z_{св}$ равно геометрической сумме ее внутренних активного $R_{м}$ и индуктивного $X_{м}$ и сопротивлений, а также сопротивления свариваемых заготовок $R_{св}$, $X_{св}$:

$$Z_{св} = \sqrt{(R_{м} + R_{св})^2 + (X_{м} + X_{св})^2}.$$



Внутренние сопротивления машины оказывают большое влияние на другие ее параметры. Так, с ростом активного сопротивления, происходящим при увеличении длины элементов вторичного контура и ухудшении состояния переходных контактов в нем, снижается КПД машины, уменьшается сила сварочного тока. Увеличение индуктивного сопротивления, происходящее при увеличении площади вторичного контура ферромагнитных масс свариваемых заготовок, вызывает снижение коэффициента мощности машины и силы сварочного тока.

В справочных таблицах специальной литературы приводятся технические характеристики сварочного оборудования, используемого в строительстве.

*Модулятор переменного сварочного тока ОИ-101* разработан Институтом электросварки им. Е.О. Патона и предназначен для создания пульсирующего режима сварки применительно к ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Модулятор выполнен однокорпусным и присоединяется последовательно со вторичной обмоткой любого сварочного трансформатора. В нем предусмотрена возможность ступенчатого регулирования тока паузы в зависимости от типа и диаметра применяемых электродов. Величина тока импульса устанавливается непосредственно на трансформаторе. Схема модулятора обеспечивает раздельное регулирование длительности импульса и паузы в широких пределах.

Модулятор позволяет значительно расширить технологические возможности дуговой сварки на переменном токе: увеличить глубину проплавления при меньшей, чем обычно, зоне термического влияния, улучшить качество шва, его формирование, увеличить производительность процесса при сварке в различных пространственных положениях, упростить технику сварки и снизить требования к квалификации сварщика.

С использованием модулятора можно сваривать тонколистовые конструкции ($\delta \geqslant 0{,}6$—$0{,}8$ мм) широко распространенными электродами 3 и 4 мм. Модулятор рекомендуется для ручной сварки в условиях монтажа и ремонтных мастерских (ОИ-101).

***Электроснабжение сварочных постов.***

Сварочное оборудование должно быть максимально приближено к сварочным постам. Если это трудноосуществимо, то на

площадках прокладываются временные разводки от сварочного оборудования к рабочим местам.

Схемы электроснабжения сварочных постов представлены на рис. 155.

Экономия времени при подключении источников тока к электросети может быть достигнута за счет использования инвентарных распределительных шкафов с присоединением питающих кабелей через штепсельные разъемы.

В сварочном производстве используются главным образом кабели марок КРПТ, АКРПТ, КРПТН и АКРПТН по ГОСТ 13497-

| Канализация и регулирование тока | Схема |
|---|---|
| Питание от однопостового источника. Тонкое регулирование дистанционным регулятором | |
| Питание от однопостового источника, регулирование выносным балластным реостатом | |
| Автономное питание постов от многопостового (или параллельно работающих однопостовых) источника с общим обратным проводом | |
| Питание постов от многопостового источника (или параллельно работающих однопостовых) общим проводом с индивидуальным подключением и общим обратным проводом | |
| Автономная прокладка кабелей от однопостовых агрегатов (или от балластных реостатов), находящихся в машинном зале А, к передвижному щиту Б, установленному у объекта Г, с общим обратным проводом В | |

**Рис. 155.** Схемы электроснабжения сварочных постов



77Е и марок ПРГД, ПРГДО и АПРГДО по ГОСТ 6731-77Е. Это гибкие кабели с медным или алюминиевыми жилами, заключенными в резиновую изоляцию и оболочку, рассчитанную для подключения к источникам сварочного тока на номинальное напряжение до 660 В или 127 В переменного тока, или 220 В постоянного тока при частоте 50 Гц. Длительно допускаемая температура жил не должна превышать 65°С.

Провода соединяются между собой и с электродвигателем механическим путем, сваркой или пайкой. При токах более 600 А токопроводящий провод должен присоединяться к электродвигателю, минуя рукоятку. Места соединения тщательно изолируются. Для соединения проводов применяют соединительные муфты МС-2, МСБ-2, М 315, М 500, для подключения обратного провода к свариваемым деталям — клеммы заземления КЗ-2, для неразъемных соединений сварочных кабелей — соединитель ССП-2.

Сварочный кабель к источнику питания сварочной дуги может присоединяться с помощью присоединительной муфты МС-3, одна из полумуфт которой аналогична полумуфтам МС-2 и МСБ-2, а другая вместо конца провода имеет выходную деталь с отверстием, надеваемую на контактный болт источника питания.

***Оснащение рабочего места и инструмент для ручной электродуговой сварки.***

Основной инструмент сварщика — электродвигатель. Сварщик также должен иметь широкую и узкую (торцовую) металлические щетки для зачистки кромок основного металла и шва; молоток (кирочку) для обивки шлака и обрызг и проковки шва (при наличии на площадке сжатого воздуха вместо кирочек для обивки шлаки могут использоваться облегченные пневматические молотки); измерители для замера швов; личное клеймо сварщика. Выпускают специальные наборы инструментов для электросварщика.

Инструмент и электроды хранятся в деревянном ящике с высокими бортами, в сумке, в пеналах из жести или полиэтилена. Для сушки электродов на рабочем месте электросварщика, поддержания их в горячем состоянии, обеспечения защиты от попадания влаги на обмазку электродов применяется специальный пенал. Его подключают к тому же источнику питания, что и сварочную дугу напряжением 65—70 В постоянного или переменного

тока. Температура в пенале обеспечивается прикосновением электродвигателя к выводной клемме на 40—60 с, которое замыкает электрическую спираль для подогрева внутренней части пенала. Пенал утеплен, поэтому в нем сохраняется температура 100—110°С в течение 1—1,5 ч в зависимости от температуры окружающей среды. По истечении этого времени пенал включается.

Для сокращения потерь рабочего времени, связанных с перемещением оборудования, сварочные посты в условиях монтажа можно размещать в металлических контейнерах, на шасси одноосных или двухосных автоприцепов, на шасси автомобилей.

В большинстве случаев сварщик работает на лесах, лестницах, подмостях или подвесных устройствах. Могут быть рекомендованы металлические инвентарные подмости с телескопическими опорами, позволяющие изменять высоту, или телескопические вышки. При сварке неповоротных стыков труб в траншеях вырывают специальные приямки. В случае необходимости рабочее место сварщика ограждается ширмами, накрывается брезентовым тентом, палаткой, навесом. В холодное время года в месте производства открытых работ оборудуются помещения для обогрева рабочих и сушки спецодежды.

## 17.5. Техника безопасности и охрана труда

***Общие положения.***

При выполнении сварочных работ и термической резки следует руководствоваться положениями СНиП III-4-80, а также «Правилами техники безопасности и гигиены труда при производстве сварочных работ и термической резки металлов в строительстве» и другими нормативными документами.

К сварке допускают рабочих не моложе 18 лет, прошедших специальное обучение с проверкой знаний по правилам техники безопасности и оформлением в специальном журнале. Повторные инструктажи проводятся администрацией ежеквартально и перед началом каждой новой работы, а проверка знаний — ежегодно — специальной комиссией (в том числе квалификационной комиссией по допуску к сварке ответственных конструкций). К сварке и резке с применением пропано-бутановой смеси рабочих допускают после специального обучения и сдачи экзамена комиссии. Допуск к самостоятельному обслуживанию сварочных машин разрешается после сдачи экзамена по правилам их эксплуатации (квалификационная группа не ниже II).



Лица, поступающие на работу, проходят предварительный медицинский осмотр. Работающие в замкнутых пространствах и занятые сваркой цветных металлов ежегодно проходят медицинский осмотр с обязательной рентгенографией грудной клетки и лабораторными исследованиями крови и мочи. Сварщиков, у которых выявлен пневмокониоз, не допускают к сварке в закрытых помещениях, а при интоксикации марганцем переводят на работы, не связанные с вредными условиями труда.

Рабочие места сварщиков ограждают переносными ширмами или щитами из несгораемых материалов (листовая сталь, асбестовое полотно, брезент). Постоянные рабочие места, а также защитные ограждения окрашивают в светлые тона (серый, голубой, желтый) с добавлением в краску окиси цинка.

При выполнении работ на высоте более 1,1 м от уровня земли перекрытия или ярусы должны быть оборудованы исправными лесами, люльками, подмостями с перилами высотой не менее 1 м и бортовой доской высотой 150 мм. Деревянные поручни перил должны быть отстроганы, а металлические не должны иметь заусенцев, острых кромок, незачищенных сварных швов и т. п. Бортовые доски устанавливаются на настил, а элементы перил крепятся к стойкам с внутренней стороны.

Для выполнения незначительного объема работ по установке небольших консолей и кронштейнов на высоте до 3 м при невозможности устройства подмостей можно пользоваться переносными монтажными лестницами или стремянками.

Лестницы должны быть оборудованы крючьями или другими надежными устройствами для их закрепления; нижние концы тетив должны иметь упоры в виде острых металлических шипов или других тормозящих устройств в зависимости от материала опорной поверхности. Длина приставленной лестницы не должна превышать 5 м, а шаг между ступеньками — 340 мм. Деревянные лестницы должны изготовляться из односортного прочного дерева. Ступеньки лестниц должны быть врезаны в тетивы, которые не реже чем через 2 м скрепляются металлическими стяжками. Запрещается крепление ступенек гвоздями внакладку. Раздвижные

лестницы-стремянки должны быть обеспечены устройствами, исключающими их самопроизвольное раздвигание. Все приставные (переносные) лестницы должны находиться на учете, иметь порядковые номера, таблички с указанием принадлежности и даты очередной проверки. Окрашивать лестницы не разрешается. При невозможности использования лесов и т. п. сварщиков снабжают исправными предохранительными поясами (ГОСТ 5718—77). Женщин к работе на высоте, на плазморежущих установках и в замкнутых пространствах не допускают.

При одновременной работе сварщиков (резчиков) и других рабочих на различных высотах по одной вертикали необходимы надежные средства защиты от падающих брызг, огарков и др.

Сварка на открытом воздухе во время дождя и грозы не допускается.

Применение и хранение в местах производства сварочных работ огнеопасных материалов запрещается. Баллоны и ацетиленовые генераторы допускается располагать не ближе 10 м от открытого огня.

Производство работ на открытом воздухе разрешается при температуре до −30°С. При температуре от −20 до − 25°С рабочим должна предоставляться возможность обогрева в непосредственной близости от рабочих мест в течение 10 мин через каждый час. При температуре от −25 до −30°С рабочий день сокращают на 1 ч. Не допускается производство работ на высоте при силе ветра более 6, а при монтаже глухих панелей — 5 баллов, а также при гололеде.

Рабочие места должны быть оборудованы общим и местным освещением. Напряжение стационарных светильников местного освещения не должно быть более 36, а переносных — 12 В.

Для выполнения работ в колодцах, емкостях и других замкнутых помещениях с неудобными для рабочего условиями у входа должен находиться рабочий, наблюдающий за сварщиком. Сварщику необходимо иметь переносную лампу и предохранительный пояс со страхующим канатом, второй конец которого должен находиться у подсобного рабочего.

Запрещается одновременная работа в закрытых листовых конструкциях электро- и газосварщиков (газорезчиков).



В местах, где возможно образование и скопление вредных газов, устанавливают вентиляцию, а рабочих снабжают респираторами, противогазами, кислородными изолирующими приборами (КИП) или шланговыми противогазами с подачей воздуха в зону дыхания.

Выполнение особо опасных и сложных работ оформляют допуском, прилагаемым к наряду, с указанием необходимых мероприятий по технике безопасности.

Запрещается выполнять сварочные работы на сосудах, находящихся под давлением.

*Правила безопасности при эксплуатации электросварочного оборудования.* Напряжение холостого хода сварочных генераторов не должно превышать 80–90, а трансформаторов — 70–75 В.

Длина проводов между питающей сетью и передвижным сварочным агрегатом не должна превышать 10 м.

При работе в стесненных условиях или в замкнутых помещениях сварочная установка должна иметь блокировку, обеспечивающую автоматическое отключение сварочной цепи, или понижение напряжения при обрыве дуги до 12 В с выдержкой не более 0,5 с. Для снижения напряжения на держателе при сварке на переменном токе можно применять устройства УСНТ-4, УОНТ-2У и т. п.

Корпуса сварочных агрегатов, каркасы распределительных щитов и шкафов подлежат заземлению медным проводом сечением не менее 6 мм$^2$ или железным сечением не менее 12 мм$^2$. В качестве заземлителя можно использовать трубу диаметром 37—50 мм (или полосу металла толщиной более 4 мм и сечением 48—50 мм$^2$), длиной 1—2 м, закопав ее в землю и присоединив к ней и заземляемому корпусу заземляющий проводник. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 10 Ом при суммарной мощности источников сварочного тока 100 кВ·А. Заземление выполняют до включения установки в электросеть. Запрещается использовать контур заземления в качестве обратного провода.

Маховички, кнопки, рукоятки, в том числе ручки электродержателей, выполняют из токонепроводящего материала или надежно изолируют от частей, находящихся под напряжением. Необходимо заземление зажима вторичной обмотки трансформатора, к которому присоединяют обратный провод.

Температура нагрева отдельных частей сварочного агрегата не должна превышать 75°С.

Запрещается производить какой-либо ремонт сварочных установок, находящихся под напряжением.

*Правила производства огневых работ на сосудах, бывших в употреблении.* Перед работой на сосудах, бывших в употреблении, необходимо установить, чем они были заполнены. Если в сосуде находилась горючая жидкость, то его следует очистить, промыть 10—12%-ным раствором каустической соды или тринатрийфосфата и продуть сухим острым паром. Продолжительность пропаривания зависит от вместимости сосуда:

| Вместимость сосуда, л | до 20 | 20—200 | 200—300 | 300—500 |
|---|---|---|---|---|
| Продолжительность пропаривания, ч, не менее | 0,5 | 2—3 | 15—20 | 24 |

При невозможности применить пропаривание сосуд вместимостью до 200 л можно заполнить водой на 80—90% объема и кипятить в течение 2—3 ч. Последующим лабораторным анализом воздушной среды в сосуде определяют ее негорючесть.

Если в сосуде было минеральное масло, то в моющий раствор добавляется 2—3 г/л жидкого стекла или мыла.

Во всех возможных случаях сосуд перед сваркой следует заполнить водой до максимально допустимого уровня и оставить открытыми все люки и вентили в верхней части сосуда и особенно в месте сварки (сосуд вместимостью свыше 1000 л вместо заполнения водой можно промывать изнутри в течение 2—3 ч). Допускается создание в сосуде взрывобезопасной газовой среды путем заполнения его углекислым газом, азотом или аргоном под давлением не более 0,01 МПа (0,1 кгс/см$^2$).

*Указания по технике безопасности при эксплуатации агрегатов с приводом от двигателя внутреннего сгорания (ДВС).* Для исключения аварийного повышения скорости вращения ДВС перед пуском агрегата в работу необходимо проверить:

- натяжение ремней вентилятора и регулятора оборотов. При нажатии на ремни между шкивами генератора и вентилятора прогиб должен быть не более 12—15, а между шкивами вентилятора и регулятора оборотов — 10—12 мм;



- исправность ремней;
- соединение тяги регулятора оборотов с рычагом и дроссельной заслонкой;
- исправность кронштейна регулятора оборотов;
- крепление ступицы вентилятора на валике водяного насоса.

Категорически запрещается работать с агрегатом: при ослаблении ремней, наличии ненадежных соединений тяги регулятора оборотов с рычагом и дроссельной заслонкой, трещины или поломки кронштейна регулятора, ослаблении крепления ступицы вентилятора к валику водяного насоса, а также без защитного кожуха на щите генератора со стороны коллектора.

Во избежание попадания бензина на щетки сварочного генератора и его воспламенения необходимо:

- заливать бензин только при неработающем двигателе, а после заливки вытереть места, куда он попал;
- следить за тем, чтобы не было течи топлива из бака и бензопровода. Для проверки уровня топлива следует пользоваться мерной линейкой. Ни в коем случае нельзя подносить огонь к баку; в случае воспламенения бензина пламя тушат землей, песком или накрывают брезентом.

*Правила техники безопасности при механизированной сварке.* Флюс, применяемый при механизированной сварке, должен быть чистым и сухим. Целесообразно, где это возможно, вместо флюса марки ОСЦ-45 применять флюс марок ФЦ-9, АН-348А. Для уборки флюса нужно пользоваться флюсоотсосами или совками со стальными щетками. Убирать или загружать в бункеры флюс следует осторожно во избежание выделения пыли в окружающую среду.

Подвижные контакты, рубильники и переключатели необходимо систематически осматривать при снятом напряжении и подчищать.

Ток к автоматам должен поступать по подвижным проводам, помещенным в резиновые рукава, обшитые брезентом или обмотанные киперной лентой. Неподвижные провода должны быть в металлических трубах. Электропроводка, трубки для газа и охлаждающей воды, соединяющие передвижные пульты управления со сварочными головками и горелками, заключают в общий резиновый шланг.

Горелки для сварки и резки в среде защитных газов не должны иметь открытых токоведущих частей, а рукоятки должны быть покрыты диэлектрическими и теплоизоляционными материалами и снабжены щитками для защиты рук сварщика от ожогов.

При электрошлаковой сварке и электродуговой с принудительным формированием шва нужно следить за уровнем жидкой ванны и состоянием подачи охлаждающей воды. Запрещается во время сварки находиться под ползуном, подкладкой или формой, откуда возможен выброс металла.

*Правила безопасной эксплуатации баллонов со сжатыми газами.* Транспортировка баллонов разрешается на рессорных транспортных средствах, на специальных ручных тележках и носилках, в специальных контейнерах (баллоны закреплены вертикально). Переноска на руках или на плечах не допускается (в пределах рабочего места баллон можно кантовать в слегка наклонном положении).

Бесконтейнерная транспортировка предполагает до отказа навернутые колпаки, горизонтальную укладку в деревянные гнезда, обитые войлоком или другим мягким материалом. При погрузке более одного ряда баллонов применяют прокладки из пенькового каната или резиновые кольца толщиной не менее 25 мм. Баллоны укладывают в пределах высоты бортов только поперек кузова.

Не менее чем двое рабочих должны заниматься погрузкой и разгрузкой. Не допускаются сбрасывание баллонов, удары их друг о друга, а также разгрузка вентилями вниз. Запрещено грузить баллоны в грязные кузова автомашин. В летнее время при перевозке их необходимо накрывать брезентом от солнечных лучей.

Совместная транспортировка кислородных и ацетиленовых баллонов запрещена, за исключением доставки двух баллонов к рабочему месту.

Автомашины, перевозящие баллоны, должны иметь на кузове опознавательный красный флажок. Не допускается проезд людей в кузове. Сопровождающее лицо должно находиться в кабине шофера.

Баллоны хранят на одноэтажных складах с покрытиями легкого типа, со стенами и перегородками из материала не ниже II степени огнестойкости. Окна и двери должны открываться наружу. Стекла — матовые или закрашенные белой краской, полы (на складах с



горючими газами или карбидом кальция) — из материалов, исключающих искрообразование при ударах (деревянные торцы, неискрящий асфальт и т. п.). Температура в помещениях не должна превышать + 35°С. Освещение — наружное, отопление — центральное. Необходима естественная или искусственная вентиляция.

Совместное хранение полных и пустых баллонов с горючим газом и кислородом не допускается.

Обязательна герметичность вентилей, баллонов. В случае обнаружения пропуска газа баллон должен быть удален в безопасное место.

Эксплуатация грязных, с вмятинами и царапинами, неравномерно покрашенных, несвоевременно испытанных баллонов запрещена. Особенно следует обращать внимание на отсутствие масла или грязи на штуцере вентиля кислородного баллона. Не разрешается открывать колпак ударами, ремонтировать вентили (на закрытом вентиле ацетиленового баллона, в случае пропуска газа, можно подтянуть сальниковую гайку). При замерзании вентилей их отогревают только с помощью чистой горячей воды или пара.

На рабочем месте баллоны устанавливают вертикально в специальных стойках и прочно крепят хомутами или цепями. Они не должны касаться металлических конструкций, электропроводки. Навесы на стойках предохраняют баллоны от попадания масла, грязи. На открытых местах в летнее время баллоны необходимо укрывать от солнечных лучей брезентовыми чехлами.

*Правила безопасности при использовании барабанов с карбидом кальция и эксплуатации передвижных ацетиленовых генераторов.* Карбид хранят в сухих, хорошо проветриваемых несгораемых складах с легкой кровлей, за состоянием которой устанавливают наблюдение для предупреждения проникновения атмосферных осадков. Склады обеспечивают огнетушителями и ящиками с сухим песком. Барабаны разрешено хранить как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. Из вскрытых или поврежденных барабанов карбид следует пересыпать в специальные герметически закрывающиеся бидоны и расходовать в первую очередь. Хранение тары из-под карбида разрешается на специально отведенных площадках вне производственных помещений. При погрузке и разгрузке барабанов не допускается курение.

Для раскупорки барабанов запрещается использовать инструменты из стали и сплавов, содержащих более 70% меди (можно рекомендовать латунные молоток и зубила). Перед раскупоркой крышку необходимо смазать слоем тавота толщиной 2—3 мм.

Запрещается пользоваться самодельными ацетиленовыми генераторами. К каждому генератору должны быть приложены паспорт и инструкция по правилам эксплуатации и техники безопасности, составленная на основании технической характеристики генератора (паспорта) с учетом особенностей его эксплуатации в местных условиях и утвержденная главным инженером организации.

Передвижные генераторы устанавливают преимущественно на открытом воздухе или под навесом. Допускается установка для производства временных работ: в рабочих и жилых вентилируемых помещениях, имеющих объем не менее 300 м$^3$ на один аппарат или 100 м$^3$, если газопламенные работы проводятся в другом помещении; в горячих цехах на расстоянии не менее 10 м от открытого огня и нагретых предметов, где нет опасности попадания на генератор горячих частиц металла или искр и засасывания ацетилена в печи, вентиляторы и т. д.; выше уровня земли — при письменном разрешении главного инженера организации и пожарного надзора.

Запрещается устанавливать генератор наклонно и рядом с кислородным баллоном; во время работы его следует охранять от толчков и падения. Не допускается зарядка генератора карбидом кальция меньшей грануляции, что предусмотрено инструкцией.

Не допускается работа генератора без водяного затвора и с неисправным затвором. Уровень жидкости в водяном затворе следует проверять не реже двух раз в смену и обязательно перед началом работ, а также после каждого обратного удара. Не допускается работа от однопостового генератора несколькими горелками.

Температура воды и газа в генераторе не должна превышать 50°С (при большей температуре ил принимает бурую окраску). Ил складывают в специальный ящик с вентиляционной трубой, а после работы загружают в специальные ямы.

В зимнее время генератор укрывают ватным чехлом от замерзания, шланг и корпус вентиля на водяном затворе покрывают теплоизоляционным материалом (например, шнуровым асбестом), в водяной затвор заливают незамерзающую жидкость (раствор в воде):



| Температура, °С, до | Состав жидкости, % |
|---|---|
| –40 | 60 этиленгликоля (по объему) |
| –40 | 30 хлористого кальция (по массе) |
| –30 | 35 глицерина (по объему) |
| –15 | 20 хлористого натрия (по массе) |

Необходимо принять меры против коррозии внутренней части затвора при использовании хлористого кальция и хлористого натрия; после работы раствор надо слить, а затвор промыть водой.

При замерзании воды в затворе, генераторе или шлангах их отогревают только чистой горячей водой на расстоянии не менее 10 м от открытого огня и при наличии вентиляции.

При воспламенении генератора тушить огонь можно только песком или сухим огнетушителем.

*Правила эксплуатации аппаратуры для газопламенной обработки металлов.* Находящиеся в эксплуатации ручные резаки, горелки, редукторы, шланги и газорезательные машины закрепляют за отдельными рабочими. Перед началом работы необходимо проверить:

- плотность и прочность присоединения газовых шлангов к горелке (резаку) и редуктору;
- наличие воды в водяном затворе до уровня контрольного крана и плотность всех соединений;
- исправность аппаратуры, наличие достаточного подсоса в инжекторной горелке (резаке);
- правильность и исправность подводки тока, заземления (зануления) выключающих устройств газорезательной машины.

**Запрещается:**

- эксплуатация аппаратуры, имеющей неплотности;
- сплющивание и перегибание шлангов, переплетение их с тросами, электрокабелями, использование замасленных шлангов, подматывание дефектных мест изоляцией.

Аппаратура должна периодически проходить испытание. Пользование неисправной аппаратурой запрещается.

*Указания по технике безопасности при сварке трубопроводов из полимерных материалов.* При контактной сварке необходимо следить за тем, чтобы торцы свариваемых труб были равными и их можно было одновременно и равномерно прижать к нагревательной

ному инструменту, а после оплавления — друг к другу. Для этого, соблюдая меры предосторожности, непосредственно перед сваркой торцы труб следует зачистить напильником и циклей.

Не разрешается сварка поверхностей, загрязненных маслами, смазками, нефтью и другими материалами, которые не только ухудшают качество сварки, но при контакте с раскаленной поверхностью могут загореться и стать причиной загрязнения воздушной среды вредными газами.

Каждый полимерный материал имеет свою оптимальную температуру для сварки, превышение которой может привести к разложению материала с выделением в воздух вредных и ядовитых газов. Так, для трубопроводов из полиэтилена максимальная температура для сварки колеблется от 180—220°С, для трубопроводов и вентиляционных коробов из винипласта эта температура не должна превышать 250°С и т. д. С этой целью в процессе сварки температура на поверхности нагревательного инструмента должна быть постоянной (с точностью ±10°С). Ее контролируют с помощью термопар, расположенных максимально близко к рабочей поверхности.

Продолжительность оплавления торцов труб, которая не должна превышать необходимых пределов, зависит от вида полимерного материала, температуры рабочей поверхности нагревательного элемента и окружающей среды, а также от качества подготовки торцов труб под сварку и величины давления, прижимающего их к нагревателю.

Контроль продолжительности контакта с нагревательным инструментом в производственных условиях осуществляется с помощью секундомера или реле времени.

Промежуток времени между снятием нагревательного инструмента с оплавленных труб и их сжатием должен быть минимальным (1–2 с). С увеличением этого промежутка времени прочность шва резко снижается вследствие быстрого охлаждения свариваемых поверхностей. Каждое движение рабочих при этом должно быть хорошо продумано, так как спешка может привести к тяжелым ожогам из-за большой температуры расплавленного материала и его высокой вязкости. После выполнения каждой сварочной операции нагревательный инструмент необходимо тщательно очищать от прилипшего к его поверхности материала, а также от окалины, пыли, чтобы загрязнения не попали в дальнейшем в сварной шов. Очищать инструмент можно только после того, как он остынет.



Для предотвращения налипания полимерного материала трубы к рабочим поверхностям нагревательного инструмента можно применять фторопластовую пленку, надеваемую на нагревательный инструмент в виде чехла. При ее использовании необходимо следить за тем, чтобы температура инструмента не превышала 250°С, так как при более высокой температуре фторопласт начинает разлагаться с выделением токсичных газов. Применять для этих целей различные смазки не разрешается.

Прутковую сварку во избежание несчастного случая выполняют следующим образом. Струю горячего газа направляют попеременно круговыми или колебательными движениями горелки на сварочный пруток и скошенные кромки. При сварке пруток держат в левой руке между большим и указательным пальцами, горелку — в правой. До начала сварки конец прутка срезают под углом 30°, затем пруток нагревают и укладывают в основание шва под небольшим усилием прижима. Степень размягчения поверхности прутка и кромок свариваемого материала определяют визуально. Для удобства в работе и во избежание ожогов пруток рекомендуется брать длиной несколько большей длины сварочного шва (на 10—12 см).

Следует отрегулировать газовую горелку таким образом, чтобы газ сгорал полностью, так как загрязнение воздуха окисью углерода, углекислым газом или другими продуктами неполного сгорания может привести к отравлению работающих.

*Противопожарные мероприятия.* Места, где производятся огневые работы, оборудуют огнетушителями, гидрантами, ящиками с песком, лопатами и совками, бочками или ведрами с водой. Деревянные конструкции, расположенные ближе 5 м от сварочных постов, оштукатуривают или обивают листовым асбестом или листовой сталью по войлоку, смоченному в глинистом растворе. В сфере попадания брызг металла и искр не должно быть других легковоспламеняющихся предметов. При работе на лесах следует уложить на настиле листы асбеста, держать поблизости сосуды с водой или огнетушителем.

В тех случаях, когда проведение работы не требует дополнительных мер, предусмотренных общими правилами, на производство огневой работы выдают разрешения, регистрация которых ведется пожарной охраной. Лицо, получившее разрешение, расписывается на корешке, дублирующем текст. При огневых работах в опасных зонах предусматривают специальные пожарные посты.

Для тушения горящего титана могут применяться сухой порошковый флюс и огнетушители, используемые для тушения горящего магния. Локализованные очаги горения тушат аргоном и гелием. Нельзя применять для гашения горящего титана воду, углекислоту, песок и четыреххлористый углерод.

***Индивидуальные средства защиты.***

Для сварочных работ используются костюмы из парусины брезентовой с комбинированной пропиткой.

Работать можно только в целой, сухой, непромасленной, застегнутой спецодежде. Ботинки должны быть с боковыми застежками, подошва — клееная. Брюки — гладкие, без отворотов внизу — носят только навыпуск. Рукавицы должны быть в виде «краг». Карманы куртки закрывают клапанами, концы рукавов завязывают тесемками. Голову укрывают обычным головным убором или фибролитовой каской с брезентовыми наплечниками. При работе на металлических поверхностях, производя резку проникающей дугой или плазменной струей, следует пользоваться резиновым ковриком, наколенниками и налокотниками, подшитыми войлоком, а также резиновыми галошами.

После работы спецодежду развешивают для просушки. Пришедшую в негодность раньше срока спецодежду и спецобувь ремонтируют за счет средств организации или актируют и заменяют новой.

Для защиты глаз и лица электросварщика от брызг расплавленного металла и световой радиации электрической дуги применяются щитки и маски (шлемы), выпускаемые по ГОСТам, в смотровые отверстия которых вставляют защитные стекла-светофильтры, поглощающие ультрафиолетовые лучи и значительную часть световых и инфракрасных лучей. От брызг и капель расплавленного металла светофильтр защищают обычным прозрачным стеклом.

Широко распространены щитки ЩС, универсальные, «Носорог», каска с маской. При газовой и электрошлаковой сварке и резке следует применять очки с соответствующими светофильтрами.



При контактной сварке следует применять светофильтры, предназначенные для вспомогательных рабочих.

## 17.6. Оказание первой помощи при несчастных случаях

Основные принципы оказания первой помощи: быстрота и точное выполнение всех приемов. В местах, удаленных от санитарных пунктов, должны быть организованы постоянные и передвижные посты из числа работающих. Помощь, оказываемая неспециалистами в области медицины, ограничивается остановкой кровотечения, перевязкой раны или ожога, проведением искусственного дыхания, наложением неподвижной повязки при переломе, переноской и перевозкой пострадавшего.

В аптечке первой помощи на каждом участке или в бригаде должны быть йодная настойка, бинты, вата, раствор борной кислоты, цинковые капли, глазная капельница, нашатырный спирт, сода, марганцовокислый калий, эфирно-валериановые капли, складные фанерные шины, подушка с кислородом или карбогеном (кислород с примесью 5—7% углекислого газа).

При *электроофтальмии* (воспаление слизистой оболочки глаз) на глаза следует наложить вату, смоченную в холодной воде, лучше — в слабом растворе питьевой соды или 2%-ном растворе борной кислоты. Пострадавшего желательно перевести в темное помещение. Наиболее часто этой болезнью страдают работающие рядом со сварщиком.

При *загорании на человеке одежды* нужно набросить на него любую находящуюся под рукой тряпку или брезент, мешок и прижать к телу. При потере пострадавшим сознания следует немедленно вынести его на свежий воздух. Ожоги, вызванные воздействием химических веществ, обильно смачивают водой в течение 10—15 мин. При ожоге кислотой делают примочку из содового раствора, при ожоге щелочью — из раствора борной кислоты или слабого раствора уксуса.

При *отравлении газами* (окисью углерода, углекислым газом, сероводородом, аммиаком, окислами азота, фтористым водородом и др.) первая помощь заключается в удалении пострадавшего из загазованного помещения. Затем пострадавшего следует уложить, расстегнуть одежду, дать понюхать нашатырный спирт, согреть,

если холодно, при необходимости сделать искусственное дыхание, дать подышать кислородом (особенно при отравлении окисью углерода). Кислород поступает из резиновой подушки с трубкой; для предотвращения ожогов слизистой оболочки на раструб подушки накладывают увлажненную марлю.

У работающих в условиях *воздействия высоких температур* или на открытом воздухе в душный и жаркий день может наступить перегревание тела. Если не принять мер, может наступить тепловой удар. Пострадавший теряет сознание, сердечная и дыхательная деятельность падает, потоотделение прекращается. Иногда наблюдается судорожное подергивание мышц. Пострадавшего необходимо срочно перенести в прохладное место, освободить тело от стесняющей одежды, смочить голову и область сердца холодной водой, дать понюхать нашатырный спирт. При остановке дыхания сделать искусственное дыхание. Когда пострадавший придет в себя, дать ему выпить воды, желательно с поваренной солью.

Спасение пострадавшего от *электрического тока* в большинстве случаев зависит от быстроты освобождения его от действия тока и быстроты и правильности оказания первой помощи. Промедление может привести к смертельному исходу. Прикасаться к человеку, находящемуся под током, без соблюдения надлежащих мер предосторожности опасно для жизни оказывающего помощь. Поэтому следует немедленно отключить ту часть установки, которой касается пострадавший.

Если пострадавший находится на высоте, то отключение установки и освобождение пострадавшего может привести к падению его с высоты. В этом случае должны быть приняты меры, обеспечивающие безопасность падения. При отключении установки может одновременно отключиться и электрическое освещение, поэтому следует обеспечить освещение от другого источника (фонарь, факел, аварийное освещение и т. д.). Если нельзя отключить установку достаточно быстро, необходимо принять меры к отделению пострадавшего от токоведущих частей, к которым он прикасается. Для этого можно воспользоваться сухой одеждой, канатом, палкой, доской или каким-либо другим сухим предметом, не проводящим электрический ток. Для отделения пострадавшего от токоведущих частей можно также взяться за его одежду (если она сухая и отстает от тела), например за полы пиджака или пальто.



Для изоляции рук, особенно в случае, если необходимо коснуться тела пострадавшего, не покрытого одеждой, нужно надеть диэлектрические перчатки или обмотать себе руки прорезиненной тканью или другой сухой материей. Можно также изолировать себя, став на сухую доску или на какую-либо не проводящую ток подстилку. Если отделение пострадавшего от токоведущих частей затруднено, следует перерубить или перерезать провода топором с сухой деревянной ручкой или другим соответствующим изолирующим инструментом. Можно также прибегнуть к короткому замыканию всех проводов или к их заземлению. Провод, применяемый для заземления и закорачивания, следует соединить с землей, а затем набросить на провода, подлежащие заземлению.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но пульс прощупывается и дыхание устойчивое, его надо удобно уложить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха, дать понюхать нашатырный спирт, обрызгать лицо водой и обеспечить полный покой. Если пострадавший дышит очень редко и судорожно, ему следует делать искусственное дыхание и массаж сердца.

Даже при отсутствии у пострадавшего признаков жизни (дыхания и пульса) пострадавшему следует делать искусственное дыхание и наружный (непрямой) массаж сердца. Самым эффективным является способ «рот в рот», который делают одновременно с непрерывным массажем сердца. Он заключается в том, что оказывающий помощь производит «выдох» из своих легких в легкие пострадавшего. Для этого пострадавшего следует уложить на спину, раскрыть ему рот, удалить изо рта пострадавшего предметы из слизи и сделать так, чтобы язык пострадавшего не запал назад и не закрыл дыхательные пути. Для обеспечения свободного выхода воздуха из легких оказывающий помощь после каждого вдувания должен освобождать рот и нос пострадавшего. Во время проведения искусственно дыхания необходимо внимательно наблюдать за лицом пострадавшего. Если он пошевелит губами, веками или сделает глотательные движения гортанью, следует проверить, не дышит ли он самостоятельно. После того как пострадавший начнет дышать самостоятельно и равномерно, делать искусственное дыхание не следует, поскольку оно может принести ему лишь вред.

Искусственное дыхание следует делать непрерывно как до, так и после прибытия врача. Вопрос о целесообразности применения искусственного дыхания решает врач.

## ? Вопросы для самопроверки

1. *Охарактеризуйте производство работ в зимнее время и при низких положительных температурах.*
2. *Назовите основные способы электротермообработки бетона.*
3. *Какое оборудование применяется для нагрева бетонной смеси и грунта?*
4. *Какое оборудование и инструмент применяются при сварке?*
5. *Электроснабжение сварочных постов, его схемы.*
6. *Для чего необходим модулятор переменного сварочного тока?*
7. *Какими должны быть оснащение рабочего места и инструмент для ручной электродуговой сварки?*
8. *Каковы требования по эксплуатации сварочного оборудования?*
9. *Дайте определение сварочной дуги и технологии сварки и резки.*
10. *Назовите особенности сварки различных сортов и толщины стали, алюминия, латуни и меди.*
11. *Каковы основные требования техники безопасности и охраны труда при выполнении сварочных, огневых работ, резке металла?*
12. *Правила оказания первой помощи при несчастных случаях.*

## ЛИТЕРАТУРА

*Алексеев М. И.* и др. Городские инженерные сети и коллекторы. Л.: Стройиздат, 1990.

*Барсов П. И.* Строительные машины и оборудование. М.: Стройиздат, 1986.

*Бартонь Н. Э., Чернов И. Е.* Архитектурные конструкции. М.: Высшая школа, 1986.

*Белецкий Б.Ф.* Технология строительного производства. Учебник для вузов. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов (Издательство АСВ), 2001.

*Белецкий Б.Ф.* Санитарно-техническое оборудование зданий (монтаж, эксплуатация и ремонт): Учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2002.

*Белецкий Б.Ф., Гордеев-Гавриков В.К., Персидский Б.П.* Справочник по прокладке трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения / Под общ. ред. Б.Ф. Белецкого. Ростов н/Д: Сигма, 2001.

*Бондарь В. Х , Шкуратовский* Г. Д. Справочник сварщика-строителя. Киев: Будівельник, 1982.

*Глушко Г. Н.* Электроснабжение СМР. М.: Стройиздат, 1982.

*Гольдин Э.М., Дубовин Е.Н.* Технология строительства городских улиц. М.: Высшая школа, 1974.

*Друшин И.Ф., Попенко Л.Я.и др.* Санитарно-технические устройства предприятий. М.: Агропромиздат, 1991.

*Евтушенко М. Г., Гуревич Л. В., Шафран В. Л.* Инженерная подготовка территорий населенных мест. М.: Стройиздат, 1982.

*Казбек-Казиев З.А.* Архитектурные конструкции. М.: Высшая школа, 1989.

*Коновалова Л.А., Рожкова А.Д.* Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1990.

*Лысогорский А.А.* Справочное пособие по строительному производству. М.: Стройиздат, 1989.

*Мешанинов А.В., Пугачев Б.Ч., Евдокимов В.А.* Оборудование, оснастка и средства малой механизации для отделочных работ. Л.: Стройиздат, 1989.

*Насонов И. Д. и др.* Технология строительства подземных сооружений. М.: Недра, 1992.

*Осин В.А., Шумилов М.С.* Инженерная подготовка городских территорий. М.: Высшая школа, 1984.

*Санчев В.Г. и др.* Справочник энергетика строительной организации: Справочник строителя. М.: Стройиздат, 1991.

СНиП III-4-80 «Правила производства и приемки работ». М.: Стройиздат, 1990.

*Топчий В.Д. и др.* Реконструкция промышленных предприятий: Справочник строителя. М.: Стройиздат, 1980.

*Тульчин И.К., Нудпер Г.И.* Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. М.: Энергоатомиздат, 1990.

*Цигельман И.Е.* Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий. М.: Высшая школа, 1982.

*Штеренлихт Д.В.* Гидравлика: В 2 кн. М.: Энергоатомиздат, 1991.

*Черняк О.В., Рыбчинская Г.Б.* Основы теплотехники и гидравлики. М.: Высшая школа, 1979.

*Яковлев С.В., Ласков Ю.М.* Канализация. М.: Стройиздат, 1987.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ..... 3

**РАЗДЕЛ I. ИНЖЕНЕРНОЕ БЛАГОУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

*Глава 1.* ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ..... 5

1.1. Влияние местных условий на выбор территорий для населенных мест ..... 5
1.2. Грунты ..... 16
1.3. Мероприятия по охране окружающей среды ..... 18
1.4. Особые условия инженерной подготовки территорий ..... 22
1.5. Выбор пригодных территорий ..... 28
1.6. Основные планировки населенных мест ..... 30
1.7. Основные положения проектирования генерального плана ..... 32
1.8. Элементы городских улиц и дорог ..... 34

*Глава 2.* ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ТЕРРИТОРИЙ ПОСЕЛЕНИЙ ..... 39

2.1. Назначение вертикальной планировки ..... 39
2.2. Изучение рельефа, его использование и изменение ..... 40
2.3. Стадии и методы проектирования ..... 47
2.4. Вертикальная планировка территорий населенных мест и их районов ..... 51
2.5. Городские улицы и дороги ..... 54

2.6. Пересечения улиц и дорог в одном уровне ..... 67
2.7. Пересечения улиц и дорог в разных уровнях ..... 72
2.8. Городские площади ..... 78
2.9. Микрорайонные территории ..... 79
2.10. Особые условия вертикальной планировки. Подсчет объемов земляных работ ..... 83

*Глава 3.* ОРГАНИЗАЦИЯ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ.....108

3.1. Круговорот воды в природе и атмосферные осадки ..... 108
3.2. Формирование поверхностного стока и его организация ... 111
3.3. Принципы расчета сети ливневой канализации ..... 120
3.4. Конструкции водостоков ..... 122
3.5. Санитарно-техническое состояние поверхностного стока и защита открытых водотоков от загрязнения ..... 127
3.6. Принципы работы сооружений, устраиваемых для осветления загрязненного поверхностного стока ..... 132

**РАЗДЕЛ II. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

*Глава 4.* ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ И ГИДРОДИНАМИКИ.....134

4.1. Гидравлика. Исторические сведения ..... 134
4.2. Жидкости. Гипотеза сплошности. Плотность жидкости ..... 136
4.3. Силы, действующие в покоящейся или движущейся жидкости ..... 138
4.4. Свойства жидкости ..... 140
4.5. Особые свойства воды ..... 146
4.6. Измерение давления ..... 148
4.7. Основные понятия гидродинамики ..... 149
4.8. Трубопроводы ..... 159
4.9. Гидравлический удар ..... 163



*Глава 5.* ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПОСЕЛЕНИЙ И ЗДАНИЙ.....167

5.1. Требования, предъявляемые к качеству воды ..... 167
5.2. Нормы расхода воды и режим водопотребления ..... 168
5.3. Классификация систем водоснабжения ..... 170
5.4. Повторное и оборотное водоснабжение ..... 172
5.5. Системы холодного водоснабжения ..... 174
5.6. Водоисточники ..... 175
5.7. Водозаборные сооружения ..... 177
5.8. Насосные станции ..... 180
5.9. Обработка воды ..... 182
5.10. Схемы и устройство водопроводных сетей ..... 187
5.11. Трубопроводы ..... 189
5.12. Арматура ..... 191
5.13. Приборы контроля и автоматики ..... 192
5.14. Системы горячего водоснабжения ..... 194
5.15. Производственное водоснабжение ..... 200
5.16. Эксплуатация систем водоснабжения ..... 204

*Глава 6.* ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....206

6.1. Характеристика сточных вод предприятия ..... 206
6.2. Нормы и режимы водоотведения ..... 207
6.3. Условия спуска сточных вод в водоемы ..... 209
6.4. Классификация систем канализации ..... 210
6.5. Транспортирование сточных вод и гидравлический расчет трубопроводов ..... 212
6.6. Внутренняя канализация ..... 215
6.7. Условия присоединения системы канализации предприятия к городской канализационной сети ..... 219
6.8. Наружная канализация ..... 220
6.9. Эксплуатация систем канализации ..... 226
6.10. Мероприятия по уменьшению загрязненности и количества сточных вод, отводимых с предприятия ..... 229

6.11. Правила работы в колодцах ..... 232
6.12. Народнохозяйственное значение очистки сточных вод ..... 233

## РАЗДЕЛ III. ТЕПЛО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ЗДАНИЙ

*Глава 7.* ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ ..... 235
7.1. Назначение строительной теплотехники ..... 235
7.2. Теплоустойчивость и тепловая инерционность ограждения ..... 237
7.3. Минимальное допустимое требуемое сопротивление теплопередаче ограждений ..... 238
7.4. Тепловые потери зданий ..... 241
7.5. Микроклимат помещений. Влияние влаги на качество ограждений ..... 242
7.6. Примеры теплотехнического расчета ограждающих конструкций ..... 246

*Глава 8.* ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ЗДАНИЙ ..... 251
8.1. Назначение санитарно-технических устройств ..... 251
8.2. Классификация систем отопления ..... 253
8.3. Конструктивные схемы систем отопления. Водяные системы отопления ..... 253
8.4. Составные части систем отопления ..... 266
8.5. Монтаж систем отопления ..... 274
8.6. Эксплуатация систем отопления ..... 275
8.7. Пример расчета площади поверхности теплоотдачи нагревательных приборов ..... 277

*Глава 9.* ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ..... 278
9.1. Основные типы вентиляции ..... 278



9.2. Определение количества воздуха, необходимого для вентиляции помещений ..... 280
9.3. Классификация систем вентиляции ..... 282
9.4. Принципиальные схемы воздухообмена ..... 283
9.5. Составные части вентиляционных систем ..... 285
9.6. Вентиляторы и вентиляторные установки ..... 304
9.7. Приборы контроля и автоматики ..... 308
9.8. Подбор вентиляционного оборудования ..... 311
9.9. Выбор системы вентиляции для различных помещений ..... 313
9.10. Монтаж систем вентиляции ..... 313
9.11. Эксплуатация систем вентиляции ..... 315
9.12. Требования безопасности и противопожарные мероприятия ..... 316
9.13. Пример расчета приточной системы вентиляции ..... 317

*Глава 10.* ГАЗОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ЗДАНИЙ ..... 322
10.1. Основы газоснабжения населенных пунктов и зданий ..... 322
10.2. Сварка и укладка газопроводов ..... 324
10.3. Устройство ответвлений и вводов. Техника безопасности ..... 326
10.4. Конструкции присоединения ответвлений к магистральному газопроводу ..... 327
10.5. Испытание и сдача наружных газовых сетей ..... 328
10.6. Монтаж систем внутреннего газоснабжения ..... 329

## РАЗДЕЛ IV. ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

*Глава 11.* ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ..... 333
11.1. Строительное проектирование ..... 333
11.2. Проектно-изыскательские работы и обоснование выбора площадки для строительства предприятия ..... 336

*Глава 12.* ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА И ОБОРУДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК....338

12.1. Инженерная подготовка и оборудование строительных площадок .... 338
12.2. Расчистка территории .... 339
12.3. Отвод поверхностных и грунтовых вод .... 340
12.4. Геодезическая разбивочная основа .... 341
12.5. Инженерные сети на городских улицах .... 343

## РАЗДЕЛ V. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Глава 13. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ....346

13.1. Основные понятия и определения .... 346
13.2. Общие сведения об электроустановках .... 348
13.3. Назначение и типы электрических станций .... 350

*Глава 14.* ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРЕДПРИЯТИЙ И ЗДАНИЙ....353

14.1. Силовые трансформаторы .... 353
14.2. Канализация электрической энергии во внутригородских, промышленных сетях .... 354
14.3. Короткие замыкания в системах электроснабжения. Виды короткого замыкания, причины их возникновения и последствия .... 358
14.4. Защитное заземление .... 360
14.5. Релейная защита в системах электроснабжения городов и предприятий .... 362
14.6. Электроснабжение зданий .... 365
14.7. Классификация сетей .... 367
14.8. Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий .... 371
14.9. Схемы питающих линий внутри зданий .... 375



14.10. Схемы групповой квартирной сети .... 377
14.11. Типовые комплексные схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях .... 379
14.12. Особенности электроснабжения общественных зданий . 382
14.13. Размещение трансформаторных подстанций .... 384
14.14. Схемы вводно-распределительных устройств .... 384
14.15. Городские электрические сети .... 386
14.16. Графики нагрузок .... 392

*Глава 15.* ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ....399

15.1. Условия поражения человека электрическим током .... 399
15.2. Общие меры безопасности .... 404
15.3. Заземление, зануление и защитное отключение. Общие положения .... 406
15.4. Заземление и зануление .... 409
15.5. Защитное отключение и разделительные трансформаторы .... 414
15.6. Молниезащита зданий и сооружений. Основные положения .... 416
15.7. Способы молниезащиты .... 418
15.8. Заземлители и защита от заноса высоких потенциалов .... 419

*Глава 16.* ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК....423

16.1. Определение потребной электрической мощности .... 423
16.2. Схемы электроснабжения строительства .... 423
16.3. Условия выбора электрооборудования, кабелей и проводов .... 426
16.4. Электрическое освещение на строительных площадках ... 427
16.5. Электропривод в строительстве .... 428
16.6. Электрифицированные средства малой механизации .... 430

*Глава 17.* ЭЛЕКТРОПРОГРЕВ БЕТОНА. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК.....434

17.1. Производство работ в зимнее время и при низких положительных температурах ..... 434

17.2. Способы электротермообработки ..... 437

17.3. Электрооборудование для нагрева бетонной смеси и грунта ..... 441

17.4. Оборудование и инструмент для сварки ..... 441

17.5. Техника безопасности и охрана труда ..... 448

17.6. Оказание первой помощи при несчастных случаях..... 461

Литература ..... 465

**Погодина Л. В.**

**Инженерные сети, инженерная подготовка и оборудование территорий, зданий и стройплощадок**

*Учебник*

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.02.953.Д.004609.07.04 от 13.07.2004 г.

Подписано в печать 25.12.2007. Формат 60×84 1/16.
Печать офсетная. Бумага газетная. Печ. л. 29,75.
Тираж 2000 экз. (1-й завод 1–800 экз.) Заказ № 7881.

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»
129347, Москва, Ярославское шоссе, д. 142, к. 732.
Для писем: 129347, Москва, п/о И-347.
Тел./факс: 8 (499) 182-01-58, 182-11-79, 183-93-01.
E-mail: sales@dashkov.ru — отдел продаж;
office@dashkov.ru — офис;
http://www.dashkov.ru

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных диапозитивов
в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНИТИ»,
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403. Тел.: 554-21-86