

Опорный конспект лекций

ВВЕДЕНИЕ

Краткий обзор и совершенствование водоснабжения и водоотведения

Развитие систем водоснабжения и водоотведения в большинстве зависило от уровня научно-технического прогресса определенной эпохи и мировоззренческих настроений людей того времени. В эпоху Древнего Рима были накоплены болие знания относительно санитарии и гигиены. На освании этих знаний, а также инженерных решений было построено большое количество систем водоснабжения и водоотведения. Возводились акведуки и виадуки, которые транспортироваливоду в города. В Древнем мире широкое распространение получи Римские бани – термы. Водопотребление в те времена было очень высоким и составлло около 1000 литров на человека в сутки, что говорит об активном использовании воды и высоком уровне санитарии и гигиены. В Средние века (II – VII в) активно расширялись и увеличивались города. Однако отсутствие четких научных знаний по градостроительству и санитарии приводило к неправильным решениям. Крупные населенные пункты отго времени возводились и активно развивались рядом с большими полноводными реками, например, Париж на реке Сена, на реке Темзе – Лондон и т.д. Города того времени страдали от большого количества отходов и фекалий, которые не вывозились и не утилизировались. Они сбрасывались в водные объекты и затем сплавлялись вниз по течению, откуда забирали воду люди других поселений, что приводило к вспышкам различных видов заболеваний. Активно свирепствовали тиф, чума, холера, оспа и другие заболевания, которые явились львиной долей населения городов того времени. В городах полностью отсутствовал правильный отвод с территорий осадков (узкие улицы, скученность застройки и т.д.), что вызывало при выпадении дождей подтопление и затопление территорий. Активно загрязнялись водозаборные сооружения подземных вод – колодцы. Загрязнения проникали в них через грунт. Очистки природных вод в то время не существовало и зон санитарной охраны не было ни для поверхностных, ни для подземных вод, поэтому от болезнетворных организмов гибло много народу и еще существовало ошибочное утверждение о том, что

если вода прозрачна, то она пригодная для питья.

Первые сведения, которые мы имеем об искусственных сооружениях для добыwania воды - колодцах, относятся к III тысячелетию до н. э., в древнем Египте уже имелись простейшие механизмы для подъема воды из колодцев наподобие наших «журавлей».

В Вавилоне воду поднимали на довольно значительную высоту с помощью различных приспособлений с использованием блоков. В водопроводах Египта и Вавилона для подачи воды из резервуаров применялись гончарные, деревянные, а также металлические (свинцовые и медные). В Древнем Китае для водоснабжения использовались весьма глубокие колодцы, из которых воду доставали ведрами с помощью воротов и блоков. В период расцвета Древней Греции и Рима существовали довольно большие централизованные системы водоснабжения. В Рим вода подавалась к городу самотеком по каналам. При пересечении долин и оврагов каналы прокладывались по специальным мостам – акведукам. В городе вода подводилась к центральным резервуарам откуда подавалась по трубам к общественным баням и купальням, к дворцам и домам патрициев, а также к общественным фонтанам и бассейнам, которыми пользовалось население. Начальные сведения об устройстве централизованных городских водопроводов в других странах Европы относятся к XII в. О применении воды для удаления нечистот свидетельствуют археологические раскопки древних поселений Вавилонии, Ассирии, Финикии, Египта, Греции и Рима. Для отведения сточных вод в естественные проточные водоемы или для орошения сельскохозяйственных земель иногда строились крупномасштабные гидротехнические сооружения, выложенные кирпичом с обмазочной гидроизоляцией, обеспечивающие пропуск больших водных протоков. Литературные источники свидетельствуют о существовании каналов для отведения дождевых и бытовых сточных вод в Индии и Китае около 5 – 6 тыс. лет назад. За несколько тысячелетий до нашей эры, в ассирийском Саргонском дворце был построен канал высотой 1,4 м и шириной 1,2 м. Древние греки в Афинах для отведения сточных вод построили канал шириной 4,2 м. Поражает высокое качество строительных работ. В Древнем Риме в VI в. до н. э. был построен большой, закрытый водоотводящий канал «Клоака Максима». Отдельные части этого канала использовались вплоть до начала 20-го столетия н. э. Нашествие варваров разрушило завоевания древней

цивилизации. Распространилось средневековое презрение к заботам о чистоте тела, что подорвало в общественном сознании значение санитарно-технических сооружений. Антисанитарное состояние средневековых городов способствовало распространению эпидемий чумы, проказы, оспы, тифа во всех странах Западной Европы.

Первые водоотводящие сооружения в России были построены в Новгороде в XII в. – бревенчатый канал перекрывался пластинами и берестой. В XIV в. в Москве была проложена водосточная труба от центральной Ивановской площади до р. Москвы. В XV – XVI в. в Москве строилась система из деревянных труб и каналов из кирпича и камня, уложенных с небольшим уклоном. Вершиной технического прогресса водохозяйственного строительства в Сибири в XVIII в. считается водоснабжение и водоотведение Змеиногорского рудника по добыче золота. Проект этой системы был разработан талантливыми русскими умельцами в 178 –1785 гг. Реализованное к 1787 г. строительство комплексных сооружений, обслуживающих три шахты, рудообогатительную фабрику, кузницу и пильную мельницу, решалось с многократным использованием воды, что является прообразом современного принципа повторно-последовательной технологии водопользования. Суммарный расход воды в системе составлял 17,3 тыс. м³/сут; общая протяженность системы – около 2,5 км.

Технический прогресс в водоснабжении и водоотведении на Алтае базировался на сложных инженерных разработках наших соотечественников. Алтайский горный округ был в то время одним из главных поставщиков золота в царскую казну, вследствие чего на алтайские рудники и заводы направлялись лучшие специалисты, в их числе «водных дел мастера» с Урала и из Центральной России И. И. Ползунов и К. Д. Фролов.

В XII–XIV вв. в ряде русских городов были построены водопроводы для крепостей. В XV веке был сооружен самотечный родниковый водопровод для Московского Кремля, а в 1631 году в Кремле был построен еще водопровод, который подвал воду с помощью «водовзводной машины» в водонапорную башню. Для транспортирования воды от водонапорной башни к местам потребления использовались свинцовые трубы.

В 1718 году по приказу Петра I был сооружен водопроводный канал для Летнего сада в Петербурге, а 1721 году сооружаются знаменитые Петергофские фонтаны. В этот период по приказу Петра I в Царском

Селе прокладывают родниковый крупный для того времени речной водопровод длиной более 15 км.

В XVIII в. в Петербурге были построены кирпичные водостоки по набережной р. Невы на Васильевском острове. Вплоть до конца XIX в. самым распространенным приемником нечистот были выгребные ямы, это способствовало загрязнению воды питьевых колодцев домовладений. Во избежание засорений водоотводящих трубопроводов применяли грубые фильтры из булыжника.

В 1804 году заканчивается сооружение первого московского городского водопровода, который подавал в город самотеком воду на расстояние около 16 км. Водопровод в дальнейшем перестраивался и модернизировался, самотечные водоводы заменены напорными, были построены насосные станции. В 1898 рядом с Рижским вокзалом построены Крестовские водонапорные башни, в которых смонтированы стальные баки вместимостью по 1875 м³ каждый, расположенные на высоте 30 м над поверхностью земли.

Развитию московской водоотводящей сети способствовали усилия городского головы П.А. Алексеева. В 1886 г. для научной общественности городским инженером В. Д. Кастальским был сделан доклад о целесообразности для Москвы раздельной системы водоотведения, а в 1890 г. – разработан проект первой очереди московской канализации, обслуживающей 1,5 млн. жителей с удельной нормой водоотведения 85 л/сут на 1 человека и на расход 84 тыс. м³/сут бытовых и 72 тыс. м³/сут фабричных вод с очисткой в основном бытовых вод в объеме примерно 25%.

В 1898 г. в Москве введена в эксплуатацию первая водоотводящая система, включавшая самотечные и напорные водоотводящие сети, насосную станцию и «Люблинские» поля орошения. Она стала родоначальницей самой крупной в Европе московской системы водоотведения и очистки сточных вод.

Основные направления научного прогресса в области водоснабжения и водоотведения

Системы водоснабжения и водоотведения являются системами жизнеобеспечения, которые подают чистую воду на различные нужды и отводят загрязненные стоки на очистные сооружения для поддержания санитарной обстановки в городах и населенных пунктах. Сегодня при проектировании данных систем используются передовые

технологии подачи и распределения воды, а также водоподготовки и очистки сточных вод от различных видов опасных загрязнений, способных ухудшить качество проживания на городских территориях.

Комплексное развитие систем водоотведения с очистными сооружениями началось после установленных норм очистки сточных вод при выпуске их в реку, разработанных в Англии в 1876 г. Достижения науки и техники способствовали повышению степени благоустройства городов до уровня современной цивилизации.

Одним из основных направлений научно-технического прогресса является создание малоотходных и безотходных технологических процессов. В области очистки сточных вод таким направлением является разработка систем водоотведения с минимальным сбросом сточных вод в водоем или без сброса – бессточных. К выбору оптимальных направлений развития систем водоснабжения и водоотведения городов относятся: разработки методов оптимизации развития сетей водоснабжения и водоотведения, методические основы выбора оптимальных параметров сетей, определение влияния их на выбор оптимальных решений по системам централизованного водоснабжения и водоотведения.

В области водоснабжения и водоотведения рассматривается большой круг проблем: санитарно-гигиенические и технологические требования к воде; системы и применяемое оборудование; а также их выбор и гидравлический расчет. Важное место занимает в водоснабжении и водоотведении экономия воды, которая недостижима без широкого применения систем автоматического регулирования, программного отпуска воды, а также комплексного рассмотрения упомянутых технических систем и ограждающих конструкций этих зданий. Особенности системы водоснабжения и водоотведения как объекта автоматического управления является сложность иерархичность ее структуры, влияние многих случайных факторов на режим работы системы.

Автоматичность управления и математическое описание системы водоснабжения и водоотведения осуществляется различными математическими подходами: аналитическим, вероятностно-статистическим, структурно-вероятностным. При анализе динамических свойств системы аналитический метод рассматривает совокупность большого числа водоподающих устройств, объединенных в единую систему добычи, транспортировку, распределение и потребление воды, которые могут быть разделены по видам подачи,

физическим свойствам водоподающих устройств и конструктивному выполнению. Это предопределяет успешное использование его для решения широкого круга задач расчета, проектирования, оптимизации систем водоснабжения и водоотведения и их элементов. В ходе эксплуатации систем ведут непрерывный автоматизированный сбор информации о параметрах, состав и количество, которых достаточны для оценки состояния. В качестве параметров для оценки состояния систем применяют: скорость воды в трубах, среднюю температуру воды, перепад давления воды в системе водоснабжения, скорость обратной воды (водоотведение) и др.

Особое значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений.

Для большей эффективности научных исследований систем водоснабжения и водоотведения необходимо значительно сократить сроки внедрения достижений науки и техники, повышать качество, надежность, экономичность и производительность систем, снижать их материалоемкость, своевременно снимать с производства устаревшее оборудование, расширять автоматизацию проектно-конструкторских работ. Наиболее существенные результаты получены при разработке новых технологических решений и вопросах эффективного использования воды систем водоотведения и очистки производственных сточных вод.

Современное состояние и перспективы развития в Республике Беларусь водоснабжения и водоотведения

Бесперебойное обеспечение всех потребителей населенных пунктов качественными услугами водоснабжения и водоотведения является неизменной задачей во времени вне зависимости от внешних обстоятельств. Главная задача сохраняется в условиях постоянно изменяющейся внешней среды (наблюдается урбанизация населения), растет качество жизни населения и вместе с ним – социальный заказ на жизненно важные качественные услуги водоснабжения и водоотведения, изменяется состояние окружающей среды, в том числе источников водоснабжения и водных объектов – приемников сточных вод.

В настоящее время растет общественное понимание важности устойчивого развития общества, которое предполагает необходимость сохранения состояния окружающей среды для будущих поколений. Поэтому нужно внедрять технологии удаления биогенных элементов, чтобы предотвратить эвтрофикацию (зарастание водоемов), технологии извлечения гормонов и антибиотиков на репродуктивную функцию рыб в водных объектах., изучать влияние фенолов. Кроме этого необходимо извлекать в процессе очистки сточных вод энергетических ресурсов, фосфора и других веществ с целью их повторного использования. По ориентировочным оценкам энергетический потенциал всего объема сточных вод, поступающих в системы водоотведения Республики Беларусь, в переводе на электрическую энергию составляет более 150 млн. кВт ч/год. По мимо этого, безвозвратно направляется на захоронение от 10 до 13 тысяч тонн фосфора.

На протяжении многих лет использование воды на хозяйственно-питьевые нужды остается основной составляющей в водопользовании по республике. За последние 5 лет расход воды в системах оборотного и повторного водоснабжения увеличился на 3792 млн. м³. Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты осуществляется через 635 выпусков (за последние пять лет на 107 выпусков). В структуре сточных вод наибольший объем занимают нормативно очищенные сточные воды – 692,5 млн. м³, или 66,9 % от объема сброса сточных вод в поверхностные водные объекты. Сброс недостаточно очищенных сточных вод за последние пять лет сократился на 57,8 %.

Для организации сброса сточных вод в окружающую среду применяется 2741 очистное сооружение, из них на 319 проводится искусственная биологическая очистка с выпуском в поверхностные водные объекты Биологическая. очистка в естественных условиях сточных полей осуществляется с применением 1752 полей фильтрации суммарной площадью 3677 гектаров.

Приоритетными задачами, поставленными Главой государства, является выполнение подпрограммы 5 «Чистая вода», Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда», направленных на подключение населенных пунктов к существующим централизованным системам водоснабжения с водой питьевого качества, строительству станций обезжелезивания воды, строительству возаборных скважин, реконструкции и строительству очистных сооружений сточных вод, а также выполнение мероприятий

направленных на обеспечение потребителей качественной питьевой водой

Изменение климата повышает ценность подземных вод как основного источника питьевого водоснабжения для территории республики требует и развития технического водоснабжения, потому что существующая в стране централизованная система водоснабжения не позволяет одновременно поставлять воду питьевого качества и техническую воду, требует значительных финансовых затрат на полное техническое перевооружение. Стоимостная оценка водных ресурсов как национального богатства позволит пересмотреть нормы удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды, а также стоимость услуг водоснабжения, не связанных с питьевыми нуждами и поиска альтернативных источников водоснабжения (очищенных дождевых и талых вод для орошения сельскохозяйственных земель и полива).

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года индекс сброса недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты к 2030 году должен стремиться к 0%. Достижение данного показателя возможно только путем строительства, реконструкции и модернизации очистных сооружений сточных вод, а также за счет внедрения наилучших доступных технических методов в области водопотребления и водоотведения. Кроме привлечения прямых иностранных инвестиций, заемных средств международных финансовых организаций, кредитных ресурсов нужно в целях стимулирования водопользователей принимать своевременные меры по сокращению объемов недостаточно очищенных сточных вод за счет совершенствования системы формирования и взимания экологического налога не за объем сбрасываемых сточных вод а за фактическое содержание загрязняющих веществ в их составе (по массе).

Низкая степень эксплуатации полей фильтрации (23,9 % от суммарной проектной мощности), их неудовлетворительное техническое состояние, а также результаты научных исследований, подтверждающих загрязнение подземных вод в местах размещения этих очистных сооружений, требуют радикальных мер по переходу на современные методы очистки сточных вод с выводом полей фильтрации из эксплуатации, необходимо вывести 901,42 гектара полей фильтрации (24% от общей их площади).

В последнее время участились случаи подтопления городских территорий в результате выпадения интенсивных атмосферных

осадков, приводящих к наводнениям, которые препятствуют бесперебойной надежной работе и развитию городских, производственно-технических, коммуникационных, транспортных объектов, поэтому и нужна активизация работы по сбору и очистке поверхностных сточных вод путем строительства систем дождевой канализации в населенных пунктах с численностью 50 тысяч человек и более. При их проектировании и строительстве нужно использовать повторного использования после очистки и обеззараживания, что значительно снизит нагрузку на поверхностные водные объекты. Требуется внимания со стороны представителей предприятий водопроводно-канализационного хозяйства и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды вопрос строительства и эксплуатации гражданами автономных систем водоотведения жилых домов на земельных участках индивидуальной (усадебной) застройки, так как граждане выбирают схемы водоотведения на свое усмотрение, их возведение происходит без соблюдения технических, санитарно-гигиенических и природоохранных требований, что создает вероятность угрозы экологической безопасности, санитарно-эпидемиологическому благополучию населения, являющимися частью национальной безопасности.

Роль водоснабжения и водоотведения в охране водных ресурсов от загрязнений.

Водные ресурсы, как один из видов природных ресурсов, являются составной частью национального достояния Республики Беларусь. Обеспеченность ими — ключевой показатель устойчивого развития общества в социальных, экономических и экологических аспектах. Общие запасы (объемы) водных ресурсов в стране составляют 61,185 млрд. м³, в том числе подземных вод — 2,3 млрд. м³ и поверхностных вод — 58,885 млрд. м³. С учетом фактической численности населения показатель обеспеченности водными ресурсами в Республике Беларусь находится на уровне средневропейского значения (6,2 тыс. м³) воды в год на душу населения, что значительно выше, чем в некоторых сопредельных странах (Польша, Украина). Поэтому при имеющемся водном потенциале, водные ресурсы обоснованно оцениваются (сегодня и перспективе) как достаточные для удовлетворения потребностей страны в воде. По данным Европейского агентства по окружающей среде, Республика Беларусь стала единственной из стран

«Восточного партнерства», которая смогла обеспечить экономический рост на фоне снижения потребления водных ресурсов – объемы на это, водные ресурсы являются уязвимым компонентом природной среды и могут быть подвергнуты значительному воздействию в результате изменения климата с обширными последствиями для общества и экосистем, поэтому внутренняя Национальная политика в области охраны и использования вод формируется Водным кодексом Республики Беларусь, Национальной стратегией управления водными ресурсами в условиях климата на период до 2030 года и базируется на следующих принципах:

- улучшения экологического состояния поверхностных водных объектов;

- предупреждения загрязнения, засорения и истощения вод.

- реализация водоохранных мероприятий, разработанных в составе государственных программ («Охрана окружающей среды и рациональное использование», «Чистая вода»), планов управления речными бассейнами, проектов водоохранных зон и прибрежных полос.

Одним из главных аспектов внешней политики в сфере водных отношений является международное сотрудничество по вопросам охраны и использования трансграничных вод.

Водоснабжение и водоотведение – системы, обеспечивающие подачу чистой воды и управления отходами воды, потому что правильно спроектированные и работающие системы водоснабжения и водоотведения важны не только для удовлетворения потребностей народного хозяйства, но и для соблюдения экологических норм и изъятия вод по отношению к 2000 году сократились на 24%. Оценка рационального использования водных ресурсов проводилась и проводится преимущественно исходя из вовлечения систем оборотного и повторного (последовательного) водоснабжения в производственные процессы, расход которых составляет 7,8 млрд. м³, что является экономией воды в результате дальнейшего внедрения таких систем водоснабжения. Водоснабжение непрерывно связано с водоотведением и повышением качества очистки сточных вод. В Республике Беларусь сброс сточных вод осуществляется преимущественно в поверхностные водные объекты, его доля составляет 88,7 % от общего объема сброса сточных вод в окружающую среду, который составляет 1,27 млрд. м³. В структуре сточных вод наибольший объем занимают нормативно очищенные сточные воды – 1,12 млрд. м³. Сброс в поверхностные водные объекты сточных вод с превышением химических и иных

веществ за последние 20 лет сократился 7,8 раз в результате реконструкции и модернизации очистных сооружений и внедрения в производственные процессы наилучших доступных технических методов в области водоотведения. Несмотря на стандарты. Вода – это универсальный ресурс во многих процессах, потому что она может служить в качестве сырья, средства охлаждения, очистки и влиять на качество конечного продукта. Система водоотведения отвечает за сбор, транспортировку, обработку и удаление сточных вод, возникающих в результате бытовой и производственной деятельности человека. Системы водоотведения обеспечивают эффективную утилизацию сточных вод, минимизацию их влияния на окружающую среду, переработку и повторное использование воды.

Питьевое водоснабжение в Республике Беларусь базируется на использовании централизованных систем питьевого водоснабжения (с применением 10303 артезианских скважин), обеспеченность которыми составляет 90,9 %. Децентрализованными системами питьевого водоснабжения (шахтными колодцами) пользуется 1,5 млн. человек, проживающих в сельской местности.

На государственном уровне установлены правовые гарантии удовлетворения потребностей физических и юридических лиц в питьевой воде в соответствии с нормативами безопасности питьевой воды и нормами водопотребления, а также государственные гарантии надежности и безопасности питьевого водоснабжения. Вопрос водоснабжения неразрывно связан с организацией водоотведения и повышения качества очистки воды

Экологическое состояние поверхностных водных объектов оценивается по результатам мониторинга поверхностных вод, проводимого в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, на 1650 поверхностных водных объектах в 297 пунктах наблюдений, организованных вблизи средних и крупных населенных пунктов. За последние пять лет наблюдается тенденция к улучшению экологического состояния поверхностных водных объектов – 72,4 % из них присвоен хороший и выше экологический статус.

Оценка рационального использования водных ресурсов проводится, исходя из:

- вовлечения систем оборотного и повторного (последовательного) водоснабжения в производственные процессы;

- наличие потерь и неучтенных расходов в коммунальных системах водоснабжения;

- удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды населения.

Не смотря на достаточность водных ресурсов, а также принимаемые меры по очистке сточных вод государство целенаправленно осуществляет внутреннюю и внешнюю политику, направленную на совершенствование системы управления водными ресурсами.

Исходя из общих принципов охраны водных объектов в них запрещается сбрасывать: сточные воды, содержащие вещества или продукты трансформации веществ в воде, для которых не установлены ПДК или ориентированный допустимый уровень (ОДУ), а также вещества, для которых отсутствуют методы аналитического контроля; сточные воды, которые могут быть устранены путем организации бессточного производства, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки и обеззараживания в промышленности, городском хозяйстве и для орошения в сельском хозяйстве ;неочищенные или недостаточно очищенные производственные, хозяйственно-бытовые сточные воды и поверхностный сток с территорий промышленных площадок и населенных мест; сточные воды, содержащие возбудителей инфекционных заболеваний; опасные в эпидемическом отношении сточные воды могут сбрасываться в водные объекты только после соответствующей очистки и обеззараживания.

Особое значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающей высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений. Наиболее существенные результаты получены при разработке новых технологических решений в вопросах эффективного использования систем водоотведения и очистки производственных сточных вод.

Предпосылками для успешного решения этих задач при строительстве водоотводящих систем являются разработки, использующие новейшие достижения науки и техники в области строительства и реконструкции водоотводящих сетей и очистных сооружений.

1. ВОДОСНАБЖЕНИЕ

1.1. Классификация систем водоснабжения.

Система водоснабжения представляет собой комплекс инженерных сооружений, предназначенных для забора воды из источника, ее очистки, хранения подачи потребителя: в жилые кварталы и на промышленные предприятия. При проектировании систем водоснабжения необходимо использовать решения, обеспечивающие бесперебойное и надежное их функционирование, характеризующиеся современным техническим уровнем, энергоэффективностью и рациональным использованием ресурсов.

В общем случае в задачу системы водоснабжения входит:

- добывание воды;
- подъем воды;
- улучшение качества воды (если нужно);
- транспортирование и распределение между потребителями;
- регулирование расходов.

В соответствии с перечисленными задачами системы водоснабжения в ее состав включаются следующие виды водопроводных сооружений:

а) водозаборные сооружения, осуществляющие забор воды из выбранных для данного объекта природных источников;

б) насосные станции (водоподъемные сооружения), создающие требуемые давления в водопроводных трубах для подачи заданных расходов воды на заданную высоту;

в) сооружения для очистки и обработки воды (очистные сооружения), осуществляющие улучшение качества природной воды в соответствии с требованиями потребителя;

г) водоводы и водопроводные сети, транспортирующие воду к объектам и местам ее потребления;

д) регулирующие и запасные емкости – резервуары различных типов для хранения и аккумуляции воды.

Системы водоснабжения классифицируются по различным признакам:

1. по видам потребителей:

- системы хозяйственно-питьевого водоснабжения населения;
- системы хозяйственно-питьевого водоснабжения на объектах производства;

- противопожарного водоснабжения;
- поливочные для поливки и мойки ландшафтно-рекреационных территорий и территорий транспортной инфраструктуры;
- много функциональные;
- 2. по видам объектов водоснабжения:
 - системы водоснабжения городов;
 - водоснабжения поселков;
 - водоснабжения производственных объектов;
- 3. по охвату снабжаемых объектов:
 - системы водоснабжения одного объекта;
 - системы водоснабжения групповые;
- 4. по кратности использования подаваемой воды:
 - системы прямоточные;
 - с оборотом воды;
 - с последовательным использованием воды;
- 5. по природным источникам водоснабжения:
 - системы, использующие воду поверхностных источников;
 - системы, использующие подземные воды;
- 6. по способам подачи воды:
 - самотечные системы;
 - с механической подачей воды;
 - смешанная подача.

Системы водоснабжения разделяют на:

централизованные – все объекты снабжаются от одного источника и по одним и тем же трубопроводам;

децентрализованные – объекты снабжаются по различным трубопроводам и от различных источников.

1.2. Категории надежности систем водоснабжения

Под надежностью понимается свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах.

Система водоснабжения должна быть запроектирована и построена таким образом, чтобы обеспечивать подачу потребителям воды в требуемых им количествах и требуемого качества. При фактическом выполнении этих условий можно считать, что система находится в «работоспособном состоянии», но если в результате каких-либо причин нормальное функционирование системы нарушается, то имеет место

«отказ» системы. Под «отказом» понимают недопустимо длительный перерыв или временное снижение подачи воды объекту снабжения, недопустимое снижение заданных давлений в водопроводной сети, ухудшение качества подаваемой воды.

Так как большинство отказов вызывается различными случайными событиями, то численная оценка надежности системы водоснабжения носит вероятностный характер и может быть получена путем анализа и обработки статистических сведений, накопленных в результате регистрации именно подобных событий.

В качестве примера следует отметить возможность наступления отказа, специфического для систем водоснабжения населенных пунктов, где процесс водопотребления носит случайный характер. Отказ от обеспечения водой здесь может произойти не в результате аварии в системе (т. е. снижения ее продуктивности), а в результате случайного, не запланированного временного превышения потребления воды объектом.

В системах водоснабжения производственных объектов, где процесс водопотребления является постоянным в определенные промежутки времени (связан с технологическим процессом), возможность возникновения подобных отказов менее вероятна.

Основным универсальным методом обеспечения требуемой надежности систем водоснабжения, как и большинства других инженерных систем, является их **резервирование**, т. е. введение в систему избыточности. Наиболее распространенным является метод **структурного резервирования** – использование в системе избыточных элементов.

Простейшим примером **нерезервированной системы** подачи воды является водовод, состоящий из нескольких последовательно включенных элементов. Такая система может находиться в работоспособном состоянии только при одновременной исправности всех ее элементов и их совместной работе; отказ любого из элементов вызывает отказ всей системы.

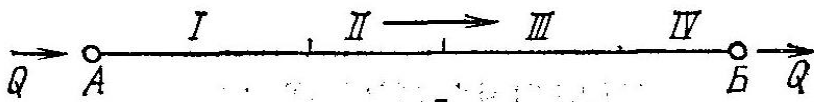


Рис. 2.1. Схема нерезервированной водопроводной сети

Нерезервированной является также система, состоящая, например, из двух линий, включенных параллельно между точкой подачи А и точкой отбора Б, при условии, что для бесперебойной подачи воды необходима одновременная работа обеих линий.

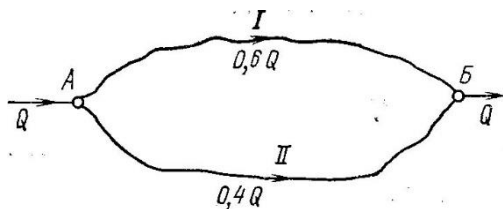


Рис. 2.2. Схема нерезервированной системы водоснабжения, состоящей из двух ветвей

Предположим, что отказ системы произойдет при снижении подачи воды объекту более чем до 70 % нормальной. По тракту I может быть подано 60 % и по тракту II—40% (или 50 %) требуемого расхода. Подобная система будет нерезервированной, так как авария любого из трактов приводит к ее отказу (подача воды снизится более допустимых пределов, т. е. ниже 70 %).

Вторым принципом обеспечения надежности систем водоснабжения является использование резервных и аккумулирующих емкостей для хранения запасов воды, необходимых на период восстановления (ремонта) отказавших элементов системы, т.е. так называемое **временное резервирование**.

Одним из наиболее частых случаев использования методов временного резервирования является устройство запасного резервуара в конечной точке водовода, транспортирующего воду на территорию объекта. Водовод может состоять из одной линии труб, а объем резервуара должен обеспечивать содержание в нем количества воды, достаточного для снабжения объекта на время (отсюда временное резервирование) ликвидации аварии на водоводе. В ряде случаев при резервуаре необходимо устраивать также насосную станцию.

Сравнение технико-экономических показателей указанных вариантов позволяет обоснованно выбрать тот или иной путь решения. При этом следует иметь в виду, что повышение надежности любой инженерной системы вызывает ее удорожание. Следовательно, необходимо отыскание такого варианта решения, при котором требуемая степень надежности функционирования системы

водоснабжения могла бы быть получена при наименьшей затрате средств.

По надежности **подачи воды** системы водоснабжения подразделяют на три категории:

I – не допускается снижение не более чем на 30 % расчетного расхода подаваемой воды на срок не более 3 суток, при этом разрешается не более чем на 10 мин перерыв подачи горячей воды или снижение расхода ниже указанного предела для выключения вышедших из строя и включения резервных элементов системы водоснабжения (оборудования, арматуры, сооружений, трубопроводов);

II – допускается снижение не более чем на 30 % расчетного расхода подаваемой воды на срок не более 10 суток, при этом разрешается не более чем на 6 ч перерыв подачи воды или снижение расхода ниже указанного предела для выключения вышедших из строя и включения резервных элементов системы водоснабжения (оборудования, арматуры, сооружений, трубопроводов); К ней относят системы водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов с числом жителей $N < 50$ тыс. человек.

III – допускается снижение не более чем на 30 % расчетного расхода подаваемой воды на срок не более 15 суток, при этом разрешается не более чем на 24 ч перерыв подачи воды или снижения расхода ниже указанного предела для выключения вышедших из строя и включения резервных элементов системы водоснабжения (оборудования, арматуры, сооружений, трубопроводов). К ней относят системы водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов с числом жителей $N < 5$ тыс. человек.

Система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения, установленных показателей своей работы в отношении качества и количества подаваемой воды.

Категорию отдельных элементов систем водоснабжения необходимо устанавливать в зависимости от их функционального назначения в общей системе водоснабжения. Класс сложности сооружений водоснабжения следует определять в соответствии с СТБ 2331.

1.3. Схемы водоснабжения и состав сооружений

Схемой водоснабжения называют схему, отражающую порядок пространственных и функциональных связей между элементами системы водоснабжения. Элементами системы водоснабжения являются отдельные устройства и сооружения для забора подготовки (без подготовки), аккумулирования (хранения), подачи и распределения воды. Выбор схемы и системы водоснабжения производят на основании оценки технико-экономических показателей их возможных вариантов с учетом:

- местных условий и особенностей объектов водоснабжения;
- поэтапного развития системы водоснабжения;
- источников водоснабжения;
- требований к давлению, количеству и качеству воды;
- надежности подачи воды.

При разработке схемы водоснабжения нужно определить:

- общее водопотребление и его неравномерность (годовую, суточную, часовую);
- прогноз развития населенных пунктов (число жителей, объектов производства);
- потребность в воде на тушение пожаров;
- потребность в воде на собственные и технологические нужды системы питьевого водоснабжения;
- неизбежные потери воды при ее транспортировании и распределении;
- расход воды на мойку и поливку покрытий территорий, а также поливку зеленых насаждений в населенных пунктах и на объектах производства.

Системы водоснабжения устраивают по определенным схемам, которые представляют собой совокупность сооружений водопровода и последовательность расположения их на местности. Набор сооружений, входящих в систему водоснабжения, зависит от вида принятой схемы и от цели применения поднятой воды для потребителя. Для этого используют следующие сооружения:

- водоприемные сооружения, при помощи которых осуществляется прием воды из природных источников;
- водоподъемные сооружения (насосные станции), подающие воду к местам ее очистки, хранения или потребления;
- сооружения для очистки воды;

– водоводы или водопроводные сети, служащие для транспортирования и подачи к местам ее потребления;

– башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей в системе водоснабжения.

Схемы взаимного расположения основных сооружений для водоснабжения показаны на рисунке 2.3.

а) забор воды из поверхностного источника

При этой схеме воду забирают из реки (1) с помощью водозаборного сооружения (2) и насосной станции I подъема (3) и подают на станцию улучшения качества воды (4). На ней вода очищается от различных примесей и далее подается в резервуар чистой воды (РЧВ). Из него вода насосной станцией II подъема (6) по водоводу (7) подается в водонапорную башню (8), из которой по наружной водопроводной сети подается в жилые дома (9) и по внутреннему водопроводу (10) потребителям в квартиры.

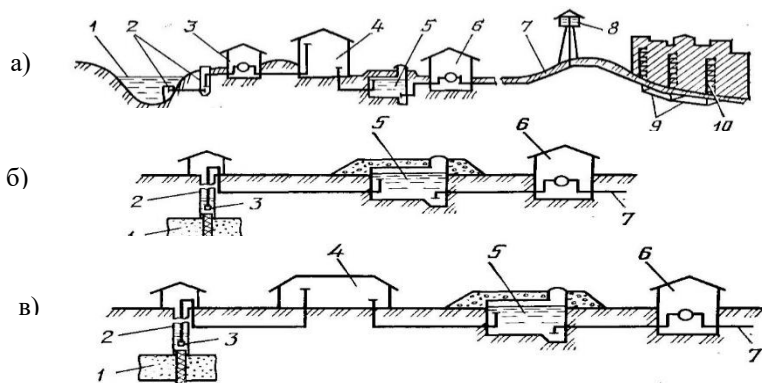


Рис. 1.3. Схемы водоснабжения:

Состав сооружений к схемам: 1 – источник водоснабжения; 2 – водозаборное сооружение;

3 – насосная станция 1-го подъема; 4 – станция улучшения качества воды (УКВ);

5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция 2-го подъема; 7 – водовод;

8 – водонапорная башня; 9 – наружная водопроводная сеть; 10 – внутренний водопровод.

б) забор воды из подземного источника с одним подъемом воды

Качество воды при заборе воды по этой схеме соответствует Государственному стандарту «Вода питьевая» Вода забирается из

подземного горизонта (1) с помощью вертикального водозабора (буровая скважина, 3), в котором расположен погружной насос. По водоводу (7) часть вода из скважины подается в водонапорную башню (8) и из нее идет к потребителю или полностью идет непосредственно к потребителю.

в) забор воды из подземного источника с двумя подъемами воды с установкой (станцией) улучшения качества воды

Качество воды при таком способе забора воды не соответствует Государственному стандарту «Питьевая вода». При этой схеме вода забирается из подземного горизонта с помощью погружного насоса, установленного в скважине и подается на станцию (4) для улучшения своего качества (обезжелезивание, умягчение, обесфторивание и т. д.). Из станции после обработки вода подается в резервуар чистой воды (РЧВ, 5). Затем из резервуара насосной станцией II подъема (6) по водоводу (7) идет к потребителю.

1.4. Источники водоснабжения

Для водоснабжения городов, населенных пунктов, промышленных предприятий используют природные источники: поверхностные (реки, озера, водохранилища, каналы) и подземные (грунтовые, межпластовые, родники).

Реки – мощные источники, полностью обеспечивающие потребности в воде потребителей. Достаточность расхода реки устанавливают в зависимости от категории надежности системы: для I категории по минимальному расходу 95% обеспеченности, для II категории – 90%, а для III категории – 85 %. В бактериологическом отношении вода рек, как и других поверхностных источников, обычно загрязнена и поэтому требуется ее очистка и обеззараживание. Более чистая вода бывает на середине реки, а у берегов ее, особенно в районе населенных пунктов, загрязненность воды возрастает. Вода в реках имеет способность самоочищения, которое происходит в результате физико-химических и биологических процессов – окисления органических веществ растворенным в воде кислородом – или гибели многих микроорганизмов. В небольших реках при сильном загрязнении самоочищение воды происходит медленно, а иногда и совсем прекращается. Во время половодья в реках содержится большое количество взвесей, причем основная масса располагается в придонных слоях воды. Попадая в водозаборные сооружения, крупные взвеси

(песок) отлагаются в трубах и приемных колодцах, затрудняя работу водозабора. Кроме взвесей в речной воде могут находиться различные плавающие предметы (водоросли, щепа, ветви и др.), которые закупоривают водоприемные отверстия и трубы водоприемников. При заборе воды зимой из рек большие затруднения вызывают внутриводный лед и шуга, закупоривающие входные отверстия водоприемников, а при ледоходе создается угроза разрушения водозаборных сооружений.

Озера также являются источником снабжения водой потребителей. Возможность их использования для водоснабжения определяется водохозяйственными расчетами: полезный объем воды в них с учетом потерь воды на испарение, фильтрацию, заиливание должен превышать объем годового водопотребления. Бактериологическое загрязнение воды в озерах зависит от санитарного состояния площади водосбора, глубины чаши, наиболее чистая вода в озерах бывает вдали от берегов. В зоне мелководий (глубина менее 2 м) качество воды обычно хуже, часто в озерах в летнее время наблюдается «цветение» воды, вызываемое фитопланктоном, при этом вода в озере «зеленеет» и качество ее ухудшается. Во время половодья и ливней вода приносит много взвесей, которые вызывают заиливание озера. Наиболее интенсивно заиливается прибрежная зона озера, особенно в местах впадения оврагов и балок.

Водохранилища – представляют собой заполненные понижения поверхностного рельефа. По условиям питания водохранилища разделяют на бессточные (глухие) и имеющие сток (проточные), а также водохранилища, которые питаются подземными водами (родниковое питание). Биологический, химический и гидрологический режимы питания водохранилищ зависят от стока. Рельефа и ряда факторов. Снеговые и дождевые воды при стоке в водохранилище растворяют ряд веществ, содержащихся в почвах водосборной площади. Попадая в бессточное водохранилище, эти воды частично испаряются, а концентрация солей в воде водохранилища увеличивается. Кроме этого вода еще и обогащается солями из грунтов ложа водохранилища. Такой режим питания приводит к засолению. «Цветение» воды в водохранилище наблюдается в период бурного развития видов водорослей (сине-зеленые, диатомовые, кремневые и др.). Это «цветение» наблюдается в верхних слоях вод, но ветер перемешивает воду в водохранилище и увеличивает количество водорослей и в нижележащих слоях воды. Санитарные качества воды водохранилищ в

значительной степени зависят от тщательности и полноты проведения мероприятий по очистке ложа водохранилища до его заполнения.

Подземные воды залегают на различных глубинах и в различных породах. По характеру расположения в толще горных пород, и условиям залегания, гидрологическим особенностям принято выделять три основные группы подземных вод: верховодку, грунтовые и артезианские.

Верховодкой называют ближайшие к поверхности воды, не отличающиеся постоянством во времени и не имеющие сплошного распространения (почвенные и болотные, расположенные на небольших линзах водоупорных пород).

Грунтовые воды – подземные воды первого от поверхности постоянно действующего водоносного горизонта, расположенного на первом выдержанном по площади водоупорном слое. Грунтовые воды имеют свободную водную поверхность, потому что являются безнапорными.

Артезианские воды заключены в водоносных пластах, расположенных между водоупорными слоями и являются напорными. В местах выхода водоносных пластов на поверхность земли образуются родники, или ключи. Родники появляются также в тех местах, где вода из напорных водоносных пластов на поверхность земли по отдельным трещинам и пустотам водонепроницаемых пород, перекрывающих водоносный пласт.

1.5 Требования, предъявляемые к источникам централизованного водоснабжения

Выбор источника водоснабжения производится с учетом его санитарной надежности и возможности получения питьевой воды, соответствующей требованиям []. Пригодность источника для хозяйственно-питьевого водоснабжения устанавливается на основе: санитарно-гигиенической экспертизы условий формирования и залегания вод подземного источника водоснабжения; санитарно-гигиенической экспертизы поверхностного источника водоснабжения, а также прилегающей территории выше и ниже водозабора по течению воды; оценки качества и количества воды источника водоснабжения; санитарно-гигиенической экспертизы места размещения водозаборных сооружений; прогноза санитарного состояния источников.

Состав воды пресноводных подземных и поверхностных источников

водоснабжения должен соответствовать следующим требованиям

- сухой остаток – не более 1000 (1500) мг/дм³;
- содержание хлоридов – не более 350 мг/дм³;
- содержание сульфатов – не более 500 мг/дм³;
- общая жесткость – не более 7 (10) ммоль/дм³.

Концентрации химических веществ не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых уровней (ОДУ) для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования согласно [17.18], а также норм радиационной безопасности. При обнаружении в воде источников водоснабжения химических веществ, относящихся к 1-му и 2-му классам опасности с одинаковым лимитирующим показателем вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из веществ в воде к их ПДК не должна быть более 1.

Для этого расчета используем следующую формулу

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3} + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – обнаруженные концентрации, мг/дм³;

В зависимости от качества воды, требуемой степени обработки и доведения ее до нормативных показателей, водные объекты пригодные в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, делят на 3 класса. Показатели качества воды подземных источников приведены в таблице 2.5. 1.

Таблица 2.5.1. Показатели качества воды подземных источников водоснабжения

Наименование показателя	Показатели качества источника		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс
Мутность, мг/дм ³ , не более	1,5	1,5	10,0
Цветность, град, не более	20	20	50
Водородный показатель (рН)	6–9	6–9	6–9
Железо, мг/дм ³ не более	0,3	10	20
Марганец, мг/дм ³ не более	0,1	1	2
Сероводород, мг/дм ³ не более	Отсутствие	3	10
Фтор, мг/дм ³ не более	1,5–0,7	1,5–0,7	5
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³ , не более	2	5	15
Общие колиформные бактерии в 100см ³ , не более	Отсутствие	100	1000

Показатели качества воды поверхностных источников даны в таблице

2.5.2

Таблица 2.5.2. Показатели качества воды поверхностных источников водоснабжения

Наименование показателя	Показатели качества источника		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс
Мутность, мг/дм ³ , не более	20	1500	10000
Цветность, град, не более	35	120	200
Запах при 20°С и 60°С, баллы, не более	2	3	4
Водородный показатель (рН)	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5
Железо, мг/дм ³ , не более	1	3	5
Марганец, мг/дм ³ , не более	0,1	1,0	2,0
Фитопланктон, мг/дм ³ , не более	1,0	5	50
Фитопланктон, кл/см ³ , не более	1000	100000	100000
Биохимическое потребление кислорода (БПК _{полн}), мгО ₂ /дм ³ , не более	3	5	7
Окисляемость перманганатная, мгО ₂ /дм ³ , не более	7	15	20
Термотолерантные колиформные бактерии в 100см ³ воды, не более	1000	10000	50000

Примечание. Количество одноклеточных организмов оценивается в кл/см³

Для каждого конкретного водного источника схема очистки и требуемые реагенты устанавливаются на основе технологических исследований или опыта работы сооружений в аналогичных условиях.

При несоответствии качества воды источника требованиям указанных классов (вода с высоким содержанием фтора и т. д.) он может быть использован только по согласованию с органами, осуществляющими государственный санитарный надзор, при наличии методов обработки, надежность которых подтверждена специальными технологическими и гигиеническими исследованиями. Мощность водопроводных сетей не должна превышать допустимого отбора воды из источника водоснабжения (или суммарно из нескольких источников) во все периоды года с учетом технологических безвозвратных потерь воды.

Выбор источника водоснабжения при наличии нескольких источников и равной возможности обеспечения требуемого качества и количества воды должен осуществляться путем технико-экономического сравнения вариантов схем обработки воды с учетом санитарной надежности источников.

1.6. Сооружения для забора воды из поверхностных источников

Водозаборные сооружения из поверхностных источников кроме основной задачи – обеспечения бесперебойного получения требуемого количества воды из природного источника – выполняют также функции предварительной механической очистки забираемой воды, защиты от попадания в нее льда, а также рыбы. По степени надежности водозаборные сооружения из поверхностных источников делятся на три категории:

I категория, которая не допускает перебоев в отборе расчетного расхода воды.

II категория, отбор расчетного расхода воды осуществляется с возможным перерывом подачи в течение 5 ч или снижение ее подачи на период до 1 месяца.

III категория, отбор расчетного расхода воды происходит с возможным прекращением на период до 3 суток

Водозаборы берегового типа

Водозаборные сооружения берегового типа используют обычно при относительно крутых берегах и наличии у берега достаточных глубин, обеспечивающих требуемые условия забора воды. Водоприемными устройствами береговых водозаборов служат окна, расположенные в лобовой стенке сооружения и снабженные сороудерживающими решетками, осуществляющими предварительную грубую механическую очистку воды.

Раздельный водоприемник берегового типа (рис. 3.6) представляет собой железобетонный колодец, разделенный внутри стенкой на две части: приемное отделение (А) и отделения (Б), в котором расположены насосы. Передняя стенка (2) колодца располагается в русле реки. Вода поступает в колодец через входные окна (1), расположенные в передней стенке колодца и по всасывающим трубам (4) к насосу (6) станции первого подъема. Для осуществления предварительной грубой механической очистки входные окна снабжаются решетками, предотвращающими занесение внутрь водоприемника относительно крупных предметов. Кроме того, на пути от входных окон к всасывающим трубам вода проходит через сетки (9), установленные в перегородке (8). На сетках задерживается значительная часть загрязнений, содержащихся в воде: планктон, водоросли, мелкий сор.

Над водоприемным колодцем устраивается служебный павильон (3), из которого осуществляется управление арматурой и механизмом очистки сеток, а также другие операции, связанные с эксплуатацией водоприемных сооружений. Вода, прошедшая через сетки, забирается насосами 7, через всасывающие трубы 3. Всасывающие трубы (4) для защиты от повреждений и для облегчения их осмотра и ремонта иногда располагают в специальной галерее (5), что обеспечивает бесперебойность работы водоприемника и позволяет осуществлять периодическую очистку и ремонт водоприемника без прекращения подачи воды. Водоприемники берегового типа имеют в плане круглую, эллипсоидальную или прямоугольную форму, выбираемую в зависимости от места расположения водоприемника, условий обтекания его водами реки, используемого оборудования насосной станции. Размеры водоприемника, его основных элементов и оборудования (сеток, решеток, труб) определяют частично путем гидравлического расчета и частично по соображениям конструктивного и эксплуатационного

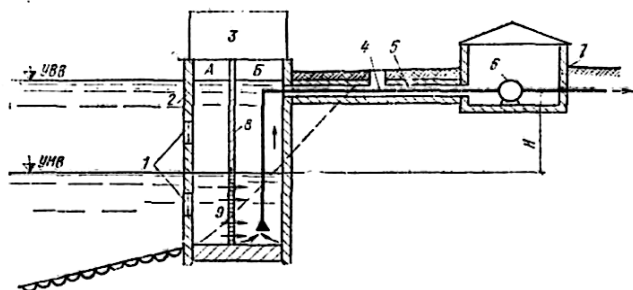


Рис. 1.6.1 Раздельное водозаборное сооружение берегового типа:

- 1 – входные окна передней стенки колодца; 2 – передняя стенка колодца;
3 – колодец; 4 – всасывающие трубы; 5 – специальная галерея для защиты всасывающих труб; 6 – насос; 7 – станция первого подъема; 8 – перегородка подземной части водоприемника; 9 – задерживающие сетки.

На сетках задерживается значительная часть загрязнений, содержащихся в воде: планктон, водоросли, мелкий сор и т. д. Подобная механическая очистка (процеживание) воды значительно облегчает работу сооружений для осветления воды, предотвращает возможное засорение труб и насосов, а в ряде случаев в системах производственного водоснабжения дает возможность использовать

воду без какой-либо дополнительной очистки.

Расчет водозабора берегового типа заключается в определении размеров водоприемных окон, сеток, отметок уровней воды в отделениях водозабора.

Водозаборы руслового типа

Водозаборы руслового типа (рис.1.6.2) чаще всего применяют при относительно пологом берегу. В этих условиях требуемые для забора воды глубины в реке находятся на относительно большом расстоянии от берега. Кроме того, при пологом берегу сезонные колебания уровня в реке вызывают значительное перемещение уреза воды, т.е. затопление берега. А поскольку насосная станция, как правило, должна быть расположена вне зоны затопления, длина труб от точки приема воды до насосной станции достигает часто большой длины. Устройство длинных всасывающих линий экономически нецелесообразно и не обеспечивает надежной эксплуатации водозабора. В связи с этим в водозаборах руслового типа всасывающие линии заменены на большей части их длины самотечными, по которым осуществляется своеобразный глубокий ввод воды в берег с подводом ее возможно ближе к насосной станции.

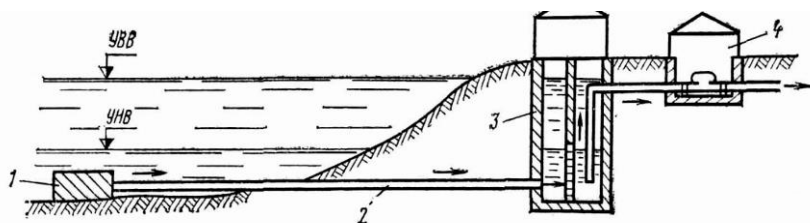


Рис. 1.6.2. Водозабор руслового типа

Русловые водозаборы в отличие от береговых имеют специальные устройства, осуществляющие непосредственный прием воды из русла реки (водоприемники).

Прием воды из реки производится через водоприемное сооружение (1), конструктивное оформление которого зависит от количества забираемой воды, глубины реки, ее ледовых условий, характера грунта и т. д. От водоприемника вода по самотечным линиям (2) подводится к

береговому колодцу (3). Его конструкция и оборудование несколько отличаются от обычного водозабора берегового типа, поскольку вода из источника поступает в него не через входные окна, а по самотечным трубам. Береговой колодец руслового водозабора состоит из приемного и всасывающего отделений и снабжен сетками, размещенными в перегородке для грубой механической очистки воды. Береговой колодец может быть устроен отдельным или совмещен с насосной станцией 4.

При значительных колебаниях уровня воды русловые водозаборы иногда устраивают, с двумя ярусами самотечных труб для приема воды с наименьшим количеством взвеси. В некоторых случаях в целях уменьшения глубины укладки самотечных линий их заменяют сифонными линиями.

Расчет водозабора руслового типа заключается в определении размеров самотечных (или сифонных) линий, сеток, отметок уровней воды в отделениях водозабора

Комбинированные водозаборы

Комбинированный водозабор устраивают при определенных условиях: профиль берега, амплитуда колебаний уровня воды, где забор воды при высоком стоянии уровня производится через входные окна в передней стенке берегового колодца, как и в обычном водозаборе берегового типа.

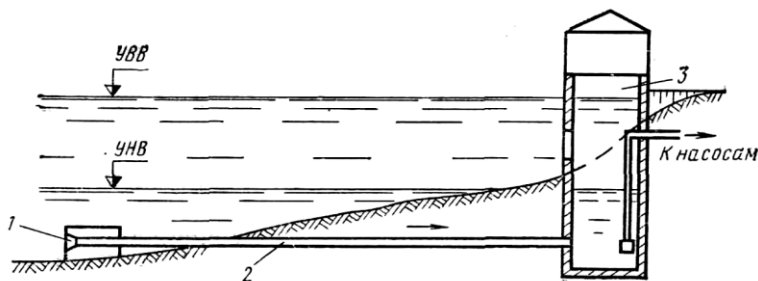


Рис. 1.6.3. Комбинированный водозабор:
1 – водоприемник; 2 – самотечные трубы; 3 – береговой колодец.

1.7. Сооружения для забора подземных вод

Для забора подземных вод, залегающих на различных глубинах и в различных породах, применяют следующие типы водозаборных сооружений и устройств: трубчатые буровые колодцы (скважины), шахтные колодцы, горизонтальные водосборы (водозаборы), лучевые водосборы (водозаборы), сооружения для каптажа родниковых вод.

Выбор типа и размещения водозаборных сооружений следует производить применительно к обоснованным схемам и конструкциям, включая типы водозаборных сооружений и оценку их производительности. Степень обоснования должна соответствовать оцениваемого местоположения и стадии принимаемых изученности оцениваемого местоположения и стадии принимаемых проектных решений, определяющих категории подсчета запасов. Основанием для проектирования водозабора являются эксплуатационные запасы подземных вод категории разведанные.

При проектировании новых и расширения существующих водозаборов необходимо учитывать условия их взаимодействия с существующими водозаборами на смежных участках, а также их воздействие на окружающую среду.

При заборе воды из подземных источников с использованием водозаборных скважин узлы расчета расхода (объема) добываемой воды следует устраивать на каждой скважине. При заборе подземных вод горизонтальными, лучевыми, комбинированными водозаборами, каптажными или с использованием шахтных колодцев узлы расчета расхода (объема) добываемой воды следует размещать на напорных трубопроводах насосных станций первого подъема или насосных установок, подающих воду от указанных водозаборных сооружений. Одновременно необходимо определять способ бурения, конструкцию скважины, ее глубину, диаметры труб, тип водоприемной части водоприемника и оголовка скважины, а также порядок опробования.

Количество резервных скважин следует принимать в соответствии с таблицей 1.7.1.

Таблица 1.7.1 **Количество резервных скважин в зависимости от количества рабочих и категории водозабора**

Количество рабочих скважин	Количество резервных скважин на водозаборе		
	I категории	II категории	III категории
От 1 до 4 включительно	1	1	1
От 5 до 12 включительно	2	1	—
Скважин 12	20 %	10 %	—

Примечание: при количестве рабочих скважин до 12 – одна резервная; при количестве рабочих скважин более 12 принимаем число резервных в количестве 10 % от числа рабочих.

Трубчатые буровые колодцы устраивают путем бурения в земле вертикальных цилиндрических каналов – скважин. В пределах водоносного пласта для возможности приема воды из грунта колодец оборудуют специальными фильтрами (кроме колодцев в трещиноватых скальных породах).

В буровом колодце различают водоприемную часть – фильтр, ствол – глухую часть скважины, по которой поднимается вода, и устье – выходную часть.

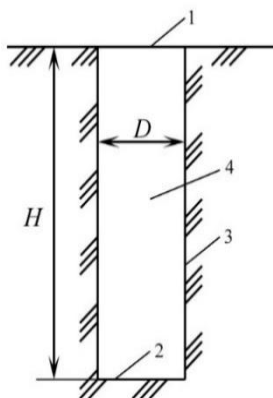


Рис. 1.7.1. Схема бурового колодца:
1 – устье; 2 – забой (дно скважины); 3 – стенки; 4 – ствол

Устье обычно располагается в специальном павильоне.

Конструкция скважины зависит от глубины залегания подземных вод, характера проходимых горных пород и способа бурения. В свою очередь способ бурения принимается в зависимости от требуемой глубины колодца. Стенки скважины закрепляют опускаемой в него стальной обсадной трубой. Эту трубу опускают до верхней границы залегания водоносных пород. В обсадную трубу опускают трубу меньшего диаметра, которую

доводят обычно до нижней границы залегания водоносных пород, несколько заглубляя в подстилающие водонепроницаемые породы. Затем в трубу опускают фильтр, предназначенный для защиты колодца от занесения в него вместе с водой частиц грунта из водоносного слоя. Фильтр представляет собой обычно трубу с перфорированной дырчатой или щелевой частью.

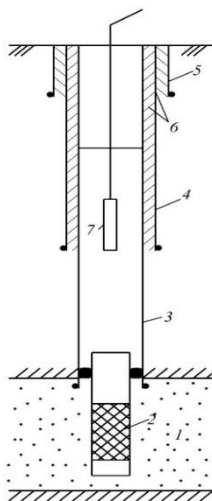


Рис. 1.7.2 Общая схема конструкции водозаборной скважины: 1 – водоносный горизонт; 2 – фильтр; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – промежуточная (техническая) колонна; 5 – кондуктор (направляющая труба служит для закрепления устья скважины, придания скважине вертикальности); 6 – цементация (затрубная или межтрубная для изоляции непродутивных водоносных горизонтов, защиты труб от коррозии); 7 – насос.

При залегании водоносных пород на большой глубине достигнуть их одной обсадной трубой не удастся, так как значительно возрастает сопротивление грунта погружению обсадных труб. В этих условиях

используют несколько обсадных труб, которые имеют различный постепенно уменьшающийся диаметр. Затрубное пространство, как правило, цементируется.

Водозаборные скважины применяют при сравнительно глубоком залегании и значительной мощности водоносных пластов. Они могут использоваться, как и для приема безнапорных, так и напорных подземных вод, и в том и в другом случае могут быть доведены до подстилающего водоупорного пласта – «совершенные скважины» или заканчиваться, а если водозаборные скважины располагаются толще водоносного пласта – «несовершенные скважины».

При откачке из безнапорного горизонта происходит осушение части пласта в виде воронки с радиусом R .

При откачке из напорного водоносного горизонта происходит высвобождение упругих запасов и вокруг скважины образуется область сниженных напоров в виде воронки с радиусом R .

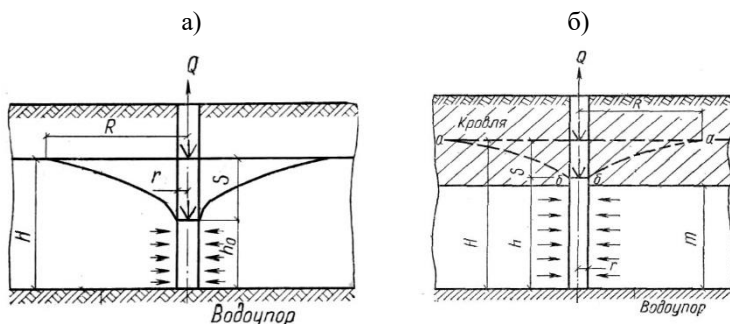


Рис.1.7.3. Совершенные скважины водозабора:
а) – безнапорный горизонт; б) – напорный горизонт.

В реальных же условиях скважины не совершенны:

- **по степени вскрытия пласта**, т.е. фильтр забирает воду из какой-то его части, что вызывает деформации линий тока по профилю потока;
- **по характеру вскрытия пласта** возникает из-за несоответствие фильтрационных характеристик самого пласта и фильтра и прифильтровой зоны.

Оба вида несовершенства создают дополнительные фильтрационные сопротивления, которые вводятся в формулы для расчета идеальных скважин.

Оба вида несовершенства создают дополнительные фильтрационные сопротивления, которые вводятся в формулы для расчета идеальных скважин:

Приток воды в скважину

а) с безнапорным горизонтом (рис.1.7.3. а)

$$Q = \frac{1,36 \cdot K_{\phi} \cdot S \cdot (2H - S)}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (1.7.1)$$

б) с напорным горизонтом (рис.1.6.6. б) определяется по формуле

$$Q = \frac{1,36 \cdot K_{\phi} \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r}} \quad (1.7.2)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации водоносного пласта;

m – мощность напорного водоносного пласта;

H – то же безнапорного;

R – радиус воронки

r – радиус скважины;

S – понижение воды в скважине.

Приток воды в несовершенную скважину

а) в безнапорном горизонте (1.7.4 а)

б) в напорном горизонте (1.7.4.б)

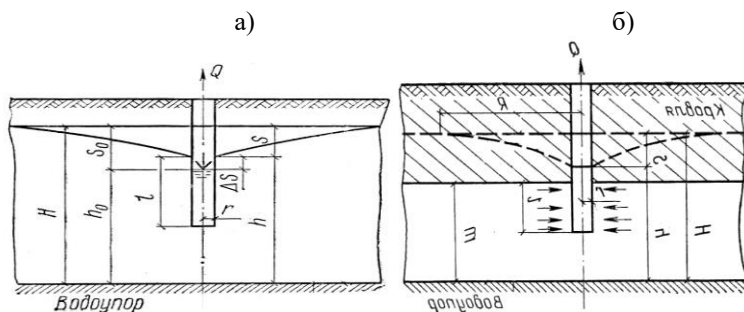


Рис. 1.7.4. Несовершенные скважины:

а) – в безнапорном горизонте; б) – в напорном горизонте

Приток воды к скважине, расположенной в безнапорном горизонте определяется по формуле

$$Q = \frac{1,36 \cdot K_{\phi} \cdot S \cdot (2H - S)}{\lg \frac{R}{r} + \xi_1 + \xi_2}, \quad (1.7.3)$$

а в напорном по формуле

$$Q = \frac{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r} + \xi_1 + \xi_2}. \quad (1.7.4.)$$

где ξ_1 – величина дополнительных сопротивлений по степени вскрытия водоносного горизонта определяется в зависимости от отношения $\frac{m}{r}$ и $\frac{l}{m}$ по таблице 1.7.2;

ξ_2 – величина дополнительных сопротивлений по характеру вскрытия водоносного горизонта, зависящая от размеров и размещения водоприемных отверстий на поверхности фильтра, диаметра частиц, породы, которые накладываются на отверстия и ряда других факторов. Для новых правильно подобранных фильтров принимается $\xi_2 = 1$.

Таблица 1.7.2. Значения коэффициента ξ_1 .

$\frac{l}{m}$	m/r							
	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	1,2	6,3	17,8	40	47	63	74,5	84,5
0,1	1,0	5,2	12,2	21,8	27,4	35,1	40,9	46,8
0,3	0,65	2,4	4,6	7,2	8,8	10,9	12,4	14,1
0,5	0,33	1,1	2,1	3,2	3,9	4,8	5,5	6,2
0,7	0,12	0,44	0,84	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6
0,9	0,01	0,06	0,15	0,27	0,34	0,43	0,5	0,58

Задачей расчета одиночной скважины является определение понижения уровня воды в ней при известном расходе или определение дебита при известном понижении уровня.

Фильтр скважин является весьма ответственной частью. Он должен отвечать следующим требованиям:

- обладать необходимой механической прочностью;
- иметь по возможности наибольшую площадь контакта с

водоносной породой;

- обеспечивать максимальный дебит скважины при минимальном понижении уровня воды в ней;
- быть устойчивым при длительной эксплуатации против химической и электрохимической коррозии, водной эрозии, зарастания;
- иметь конструкцию, достаточно позволяющую применять механические и химические методы восстановления водопроницаемости прифильтровых зон и фильтра и извлекать из скважины старый фильтр для замены новым.

Фильтр состоит из каркаса и водоприемной поверхности. Каркас – основа для водоприемной поверхности. Он может быть: стержневым, трубчатым с круглой или щелевой перфорацией; из штампованного листа. Водоприемную поверхность устраивают из проволоочной обмотки, штампованного листа, металличе

- гравийные кожуховые;
- гравийные обсыпные;
- блочные из пористого бетона или пористой керамики.

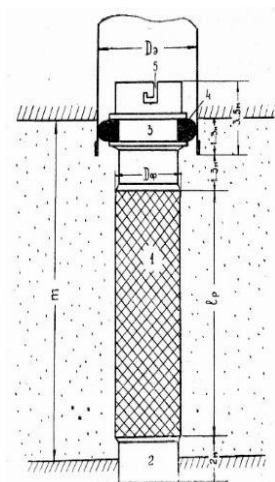


Рис. 17.5. Схема фильтровой водоприемной части скважины:

- 1 – фильтр; 2 – отстойник; 3 – муфта с фигурным вырезом для спускового ключа;
4 – сальник

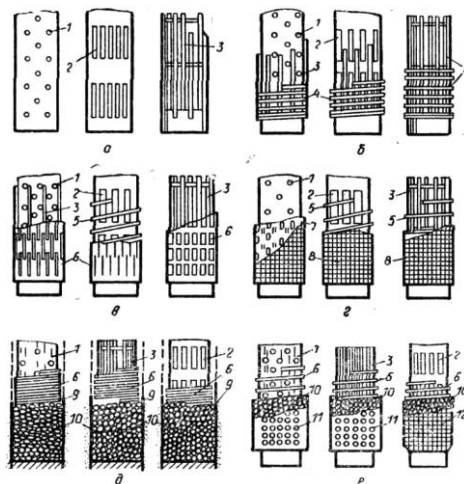


Рис. 1.7.6. Схемы фильтров:

- а – трубчатых с круглой и щелевой перфорацией и каркасно-стержневых;
 б – с проволоочной обмоткой; в – с водоприемной поверхностью из штампованного листа; г – сетчатых; д – гравийных; е – гравийных кожуховых; 1, 2 – круглые и щелевые отверстия; 3 – стержни; 4 – проволоочная обмотка; 5, 7 – подкладочные спиральная обмотка и гофрированная сетка из винипласта; 6 – штампованный лист; 8 – сетка; 9 – обсадные трубы; 10 – гравийная и гравийно-песчаная обсыпка (обыкновенная в кожухе); 11, 12 – кожухи из штампованного кровельного железа и из сетки квадратного плетения.

Фильтры с круглой и щелевой перфорацией (рис. 1.7.6. а) применяют, как правило, при заборе стабильной по химическому составу воды **из гравелистых грунтов и чистых галечников**, часто их используют в качестве опорных каркасов для проволоочной обмотки, сеток и гравия, образующих фильтрующие поверхности, через которые внутрь скважины проходит чистая вода, а песчинки задерживаются. Продолжительность работы фильтров будет тем больше, чем больше скважность каркасов и геометрические размеры отверстий в них.

Каркасно-стержневые фильтры с проволоочной обмоткой (рис. 1.7.6 б) состоят из металлических стержней, опорных поясов жесткости и соединительных патрубков. Соединительные патрубки изготовляют из обсадных труб соответствующего диаметра. Для каждого звена фильтра необходимо два патрубка длиной 250...350 мм со стандартной резьбой на концах. Металлические стержни выполняют

из прутковой стали диаметром 10...16 мм и длиной 2...3,5 м. Чтобы стержни образовали каркас, их располагают по образующей патрубков на расстоянии 30...40 мм один от другого. Опорные пояса придают стержням необходимую жесткость при монтаже каркаса. Их делают из фланцев листового железа толщиной 10...12 мм, колец или сварными с закладкой кусков металла между стержнями и устанавливают по вертикали через 200...350 мм.

Каркасно-стержневые фильтры после сборки очищают от окалины и покрывают антикоррозийным защитным слоем (органической краской ВН-30 или полиэтиленом).

Трубчатые фильтры с проволоочной обмоткой состоят (рис.1.7.6.в) из перфорированного трубчатого каркаса и проволоки из нержавеющей стали диаметром 1,5...4 мм. Проволоку в виде спирали наматывают вокруг каркаса. В результате этого образуются щели бесконечной длины, перпендикулярные к оси фильтра. Шаг спиральной намотки принимают равным $m = (0,8...1) d_{50}$, где d_{50} – пятидесятипроцентный размер частиц водоносной породы, обсыпки из гравия или крупного песка. Проволочную спираль на трубчатых фильтрах удерживает в заданном положении опорная стальная проволока диаметром 5...10 мм, уложенная и закрепленная вдоль оси каркаса.

Фильтры с водоприемной поверхностью из штампованного листа (рис.1.7.6, г) состоят из перфорированного трубчатого каркаса, по поверхности которого навита прокладочная проволока, резиновый или хлорвиниловый шнур диаметром 5...10 и шагом 60...100 мм. Благодаря этой навивке между трубчатым каркасом и листом создается дренажное устройство, отводящее воду внутрь фильтра. Штампованный просечной лист из нержавеющей стали толщиной 0,7...1 мм с отверстиями различной конфигурации и скважностью 18...30 % накладывают на спорную проволоку и крепят электросваркой (прерывистым швом).

Сетчатые фильтры (рис.1.7.6, г) состоят из опорного трубчатого или стержневого каркаса, спирально навитой на каркас проволоки и сетки галунного, киперного или квадратного плетения из латуни, нержавеющей стали или пластмассы. Места пайки у латунных сеток и проволоочной подмотки в результате электрохимической коррозии быстро разрушаются. Поэтому в кромках сетки рекомендуется сшивать, склеивать эпоксидной смолой. Размер отверстий сетки подбирают опытным путем. В фильтрах используют такую сетку, которая

пропускает через свои отверстия 60...80 % массы пробы мелко- и среднезернистого песка или 40...60 % крупнозернистого. Внутренний диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб должен быть больше наружного диаметра фильтра на 25...50 мм.

Сетчатые фильтры применяют для забора неагрессивных вод из средне- и крупнозернистых песков.

Гравийные фильтры (рис.1.7.6, д) обеспечивают длительную и устойчивую в сравнении с другими типами фильтров эксплуатацию скважин, забирающих воду из средне- и мелкозернистых песков. Их контактирующая с водоносной породой поверхность состоит из искусственно вводимого гравия или крупнозернистого песка. Опорные каркасы изготавливают из перфорированных труб, проволочных и стержневых фильтров.

Различают гравийные фильтры опускаемые (устанавливают в скважины в готовом виде) и обсыпные (создают непосредственно в скважине, гравий на забой засыпают по межколонному пространству).

Гравийные кожуховые фильтры (рис. 1.7.6, е) состоят из опорного перфорированного или стержневого каркаса, сетки или проволочной обмотки, предотвращающей проникновение в каркас частиц гравийной обсыпки, стержней, служащих опорной конструкцией для сетки или стержневого каркаса, сетки или проволочной обмотки, предотвращающей проникновение в каркас частиц гравийной обсыпки, стержней, служащих опорной конструкцией для сетки или проволочной обмотки, гравийной обсыпки, обычно однослойная, толщиной 30...50 мм, кожуха из сетки или трубы со щелями (щелистые трубы применяют в глубоких скважинах), хомутов, которые притягивают сетчатый кожух к каркасу (вместо хомутов можно крепить сетку проволокой), поясов жесткости из проволоки, предохраняющих сетку от выпучивания. Монтируют фильтры на поверхности. Чтобы мелкие частицы гравийной обсыпки не проникали внутрь скважины, в каркасе делают отверстия малого диаметра или закрывают их сеткой (проволочной обмоткой). При эксплуатации в результате осадки гравия верхние отверстия каркаса могут обнажаться, поэтому гравийную обсыпку рекомендуется насыпать на 50 см выше отверстий в каркасе.

Гравийные обсыпные фильтры состоят из фильтрового каркаса и гравийной обсыпки. Вначале в скважину (в водоносный горизонт) опускают фильтровый каркас какой-либо конструкции, затем его обсыпают гравием.

Гравий в скважины глубиной до 100 м засыпают по межколонному

пространству, глубиной более 100 м – транспортируют потоком промывочной жидкости.

Тот или иной тип фильтра принимается в зависимости от грунта водоносного горизонта.

Расчет фильтра заключается в определении его диаметра и длины рабочей части.

Диаметр фильтра определяется по зависимости

$$D_{\phi} = \frac{Q}{\pi \cdot l_p \cdot V_{\phi} \cdot \rho}, \text{ мм} \quad (1.7.5)$$

где Q – производительность скважины м³/сут;

D_{ϕ} – наружный диаметр рабочей части фильтра, м;

V_{ϕ} – допустимая входная скорость фильтрации воды, м/сут;

ρ – скважность фильтра, $\rho = 0,2 \dots 0,3$.

Допустимая входная скорость фильтрации воды определяется:

для дырчатых, щелевых, проволочных и сетчатых фильтров

$$V_{\phi} = 65 \cdot \sqrt[3]{K_{\phi}} \quad (1.7.6)$$

для гравийных и блочных фильтров

$$V_{\phi} = 1000 \cdot K_{\phi} \cdot \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2 \quad (1.7.7)$$

где d_{50} – диаметр частиц водоносной породы, меньше которого содержится 50% частиц по массе, мм;

D_{50} – диаметр частиц гравийной обсыпки, меньше которого содержится 50% частиц по массе, мм.

Длину рабочей части фильтра принимают в зависимости от мощности водоносного пласта, водопроницаемости пород, производительности скважины и конструкции фильтра.

В водоносных пластах мощностью до 10 м длину рабочей части фильтра можно принимать равной мощности водоносного горизонта за вычетом конструктивных размеров по формуле

$$l_p = m - (1 - 3) \quad (1.7.8)$$

А в пластах большой мощности определяют по формуле

$$l_p = \beta \cdot m \quad (1.7.9)$$

где β – коэффициент, равный 0,5...0,8.

Длину рабочей части можно также определять по зависимости, задаваясь диаметром фильтра

$$l_p = \frac{\alpha \cdot Q}{D_\phi} \quad (1.7.10)$$

где Q – дебит скважины, м³/ч;

α – коэффициент, зависящий от водопроницаемости пород;

D_ϕ – диаметр рабочей части фильтра, мм.

Таблица 1.7.2. Значения коэффициента α

Порода	Коэффициент фильтрации, м/сут	α
Песок мелкий	2...5	90
Песок средний	5...15	60
Песок крупный	15...30	50
Известняк	20...50	40
Гравий	30...70	30

Если в результате получится, что $l_p < m$ то скважина несовершенна, в результате чего возникают дополнительные фильтрационные сопротивления, которые необходимо учитывать в формулах для расчета идеальных скважин.

Водозабор группой взаимодействующих скважин.

При заборе подземных вод группой взаимодействующих скважин задачей расчета является определение скважины с максимальным понижением уровня воды при известных дебитах скважин с учетом их взаимодействия.

Расчет проведем для группы из трех несовершенных скважин в напорном водоносном горизонте (рис.1.6.7). Дебит скважин одинаковый.

Дебит несовершенной скважины в напорном водоносном горизонте определяется по формуле (1.7.11):

$$Q = \frac{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m \cdot S}{lg \frac{R}{r} + \xi_1 + \xi_2} \quad (1.7.11)$$

Откуда понижение уровня в несовершенной скважине без учета взаимодействия:

$$S = \frac{Q \cdot (lg \frac{R}{r} + \xi_1 + \xi_2)}{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m} \quad (1.7.12)$$

где Q – дебит скважины, м³/сут;

R – радиус влияния, м;

r – радиус скважины, м;

ξ_1, ξ_2 – дополнительные фильтрационные сопротивления, возникающие в связи с несовершенством скважины по степени и характеру вскрытия водоносного горизонта;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут;

m – мощность водоносного горизонта, м.

Радиус влияния определяется по формуле

$$R = 1,5 \sqrt{a \cdot t}, \quad (1.7.13)$$

где a – коэффициент пьезопроводности, м²/сут;

t – нормативное время эксплуатации скважины, равное 9125 сут.

$$\alpha = \frac{K_{\phi} \cdot m}{\mu}, \quad (1.7.14)$$

где μ – коэффициент водоотдачи, принимается в зависимости от типа породы водоносного горизонта:

Таблица 1.7.3. Ориентировочные значения коэффициентов фильтрации и водоотдачи

Порода	K_{ϕ} , м/сут	μ
суглинок		0,01...0,05
супесь, пылеватый песок	0,1...1	0,1...0,15
мелкий песок	1...5	0,15...0,2
средний и гравелистый песок	5...30	0,2...0,25
галечно-гравелистые отложения	100...200	0,25...0,3
известняк	20...50	0,005...0,1
песчанник	10...20	0,001...0,03

Дополнительное понижение уровня воды для группы любым образом расположенных взаимодействующих скважин:

$$S_{\text{доп}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(Q_i \cdot \left(\lg \frac{R_i}{r_i} + \xi_1 + \xi_2 \right) \right)}{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m}, \quad (1.7.15)$$

где Q_i – дебит i -й скважины, м³/сут;

r_i – расстояние от скважины, в которой определяется понижение уровня до i -й скважины.

Расстояние между скважинами принимается в зависимости от типа породы и мощности водоносного горизонта.

Таблица 2.6.9. Рекомендуемые расстояния между скважинами

Порода	Мощность водоносного горизонта, м		
	6	10...15	>15
Супесь, пылеватый песок	50...60	40...50	30...40
Средне- и крупнозернистый песок	40...50	30...40	20...30
Галечник	20...40	15...30	10...20

Дополнительное понижение уровня воды в скважине №1 за счет взаимодействия

$$S_{\text{доп1}} = S_{\text{доп3}} = \frac{Q \cdot \left(\lg \frac{R}{r_{1-2}} + \lg \frac{R}{r_{1-3}} + 2 \cdot (\xi_1 + \xi_2) \right)}{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m} \quad (1.7.16)$$

где Q – дебит скважины, м³/сут;

r_{1-2} – расстояние от скважины №1 до №2;

r_{1-3} – расстояние от скважины №1 до №3.

Дополнительное понижение уровня воды в скважине №2 за счет взаимодействия

$$S_{\text{доп}2} = \frac{Q \cdot \left(\lg \frac{R}{r_{1-2}} + \lg \frac{R}{r_{2-3}} + 2 \cdot (\xi_1 + \xi_2) \right)}{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m} \quad (1.7.17)$$

где r_{2-3} – расстояние от скважины №2 до №3.

Максимальное понижение воды в скважине с учетом взаимодействия:

$$S_{\text{max}} = S + S_{\text{доп}}^{\text{max}}$$

где $S_{\text{доп}}^{\text{max}}$ – максимальное дополнительное понижение в скважине.

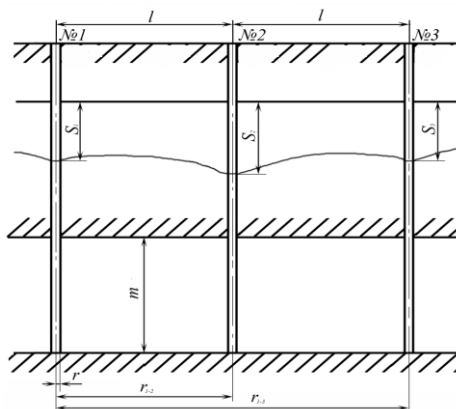


Рис. 1.7.7. Расчетная схема водозабора из трех взаимодействующих скважин

Для нормальных условий работы водозабора максимальное понижение воды в скважине должно быть меньше допустимого значения понижения. Допустимое значение понижения определяется по формуле:

а) для напорных пластов

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{доп}}^{\text{H}} = H - \left[(0,3 \dots 0,5) m + \Delta H_{\text{H}} + \Delta H_{\text{ф}} \right]$$

где H – полный напор в скважине, т.е. разность между статическим

уровнем воды в скважине и подошвой водоносного пласта, м;
 m – мощность напорного водоносного пласта, м;

ΔH_n – максимальная глубина погружения нижней кромки насоса под динамический уровень в скважине, м. ($H_n = 5 - 10$ м.);

ΔH_ϕ – потери напора на входе через фильтр, ($\Delta H_\phi = 0,5 - 1,5$ м).

б) для безнапорных пластов

$$S_{\max} \leq S_{\text{доп}}^H = (0,5...0,7)H - \Delta H_n - \Delta H_\phi.$$

Шахтные колодцы чаще всего применяют для приема относительно неглубоко залегающих вод (обычно на глубине не более 20...30 м) из безнапорных водоносных пластов. Прием воды осуществляется через их дно и частично стенки.

На дно колодца укладывается обратный фильтр в виде слоев гравия с возрастающей сверху крупностью для предотвращения занесения в колодец частиц песка из водоносного пласта. В стенках колодца в пределах водоносного пласта для увеличения притока воды в колодец оставляют отверстия.

Диаметр шахтного колодца обычно не превышает 3–4 м. При устройстве нескольких колодцев их располагают в одну линию и соединяют между собой сифонными, а иногда самотечными трубами. Отбор воды осуществляется насосами из сборного колодца, который часто используется одновременно и для приема воды из грунта.

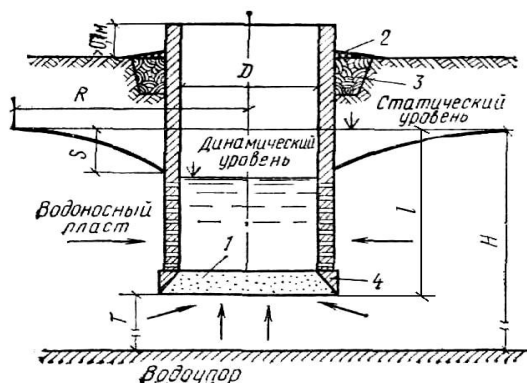


Рис. 1.7.8. Схема шахтного колодца
 1 – фильтр; 2 – отстойка; 3 – глиняный замок; 4 – нож

Любой шахтный колодец должен быть выведен не менее чем на 0,7 м выше поверхности земли. Вокруг колодца у поверхности земли устраивают глиняный замок на глубину 1,5–2 м и в радиусе около 2 м – отсыпку с мощением или производят асфальтирование для предотвращения попадания в колодец загрязненных поверхностных вод.

Приток воды через дно к несовершенному шахтному колодцу при условии, что $T \geq r$, может быть определен по формуле, предложенной В.Д. Бабушкиным

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K_{\phi} \cdot r \cdot S}{\frac{\pi}{2} + \frac{r}{T} \left(1 + 1,18 \cdot \lg \frac{R}{4 \cdot H} \right)}, \quad (1.7.18)$$

где T – расстояние от дна колодца до водоупора, м;

R – радиус влияния для безнапорных вод может быть определен по формуле Кусакина;

$$R = 2 \cdot S \cdot \sqrt{H \cdot K_{\phi}}, \text{ м.}$$

Приток воды через боковую поверхность

$$Q = \frac{1,36 \cdot K_{\phi} \cdot S \cdot (2H - S)}{\lg \frac{R}{r} + 0,43 \cdot \xi} \quad (1.7.19)$$

где ξ – фильтрационные сопротивления по степени вскрытия водоносного горизонта, считая для безнапорного пласта

Горизонтальные водозаборы применяют при малой глубине залегания водоносного пласта (до 5...8 м) и относительно небольшой его мощности. Они представляют собой дренажи разных типов или водосборные галереи, укладываемые в пределах водоносного пласта. Водосборное устройство часто располагают по линии, перпендикулярной направлению движения грунтового потока. Вода, поступившая из грунта в дренажные трубы или галереи, подается по ним в сборный колодец, откуда откачивается насосами.

Все конструкции горизонтальных водосборов можно разделить на следующие три группы:

- траншейные водосборы;
- трубчатые водосборы;
- водосборные галереи.

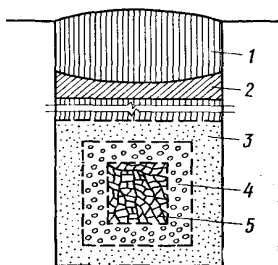


Рис.1.7.9. Схема траншейного водосбора
1 – местный грунт; 2 – экран из водонепроницаемого грунта;
3 – крупный песок;

Траншейные водосборы являются наименее совершенным типом горизонтальных водосборов.

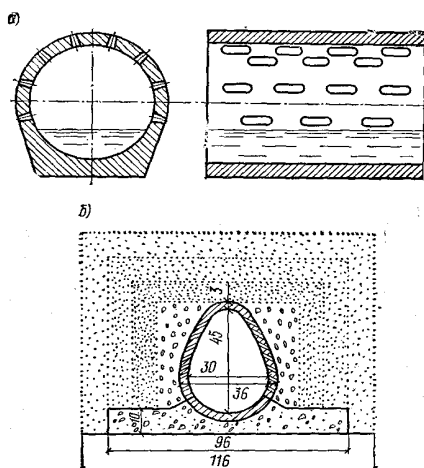


Рис. 1.7.10. Трубчатые водосборы:
а) – форма железобетонных труб, б) – гравийно-песчаная обсыпка

Водосборные галереи выполняются из железобетона, поперечное сечение – овоидальное или сводообразного типа с отверстиями в стенке.

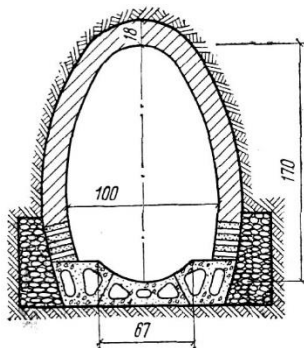


Рис.1.7.11. Схема траншейного водосбора
1 – местный грунт; 2 – экран из водонепроницаемого грунта;
3 – крупный песок;

Количество воды, поступающей в совершенный горизонтальный водосбор из безнапорного пласта

$$Q = K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{R} \cdot l, \quad (1.7.20)$$

где h – высота стояния воды в водосборе, м;

R – зона влияния, м;

l – длина водосбора, м.

Размеры поперечного сечения водопроводящей части галерей и труб определяется из условия безнапорного движения воды со скоростью не менее 0,7 м/с при наполнении $0,5 \cdot D$ по зависимости

$$\omega = \frac{Q}{C \cdot \sqrt{R \cdot I}},$$

где C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус;

I – уклон галереи или трубы.

Площадь водоприемных отверстий, приходящихся на 1 м

$$f_0 = \frac{Q}{86400 \cdot \mu \cdot l \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}},$$

где μ – коэффициент расхода отверстий, равный 0,6...0,62;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h_1 – средний напор над водоприемными отверстиями, м.

Поскольку в горизонтальных водозаборах расход по мере приближения к колодцу увеличивается, то расчет водопроводящей части следует вести по участкам (обычно от колодца к колодцу).

Количество воды, поступающей в совершенный горизонтальный водосбор из безнапорного пласта

$$Q = K_{\phi} \cdot \frac{H^2 - h^2}{R} \cdot l,$$

где h – высота стояния воды в водосборе, м;

R – зона влияния, м;

l – длина водосбора, м.

Размеры поперечного сечения водопроводящей части галерей и труб определяется из условия безнапорного движения воды со скоростью не менее 0,7 м/с при наполнении 0,5D по зависимости

$$\omega = \frac{Q}{C \cdot \sqrt{R \cdot I}},$$

где C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус;

I – уклон галереи или трубы.

Площадь водоприемных отверстий, приходящихся на 1 м

$$f_0 = \frac{Q}{86400 \cdot \mu \cdot l \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}},$$

где μ – коэффициент расхода отверстий, равный 0,6...0,62;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h_1 – средний напор над водоприемными отверстиями, м.

Поскольку в горизонтальных водозаборах расход по мере приближения к колодцу увеличивается, то расчет водопроводящей части следует вести по участкам (обычно от колодца к колодцу).

Лучевые водозаборы – комбинация шахтного колодца и

расходящихся от него лучами горизонтальных дрен, выполняемых при помощи гидравлического бурения или продавливания. Число горизонтальных лучевых дрен изменяется от 2 до 8, реже больше. Длина лучей обычно находится в пределах 20 - 50 м, но иногда достигает 150 м. В водообильных водоносных пластах лучевые дрены могут располагаться в несколько ярусов.

При двух дренах, расположенных по прямой, приток к лучевому водозабору приближенно равен притоку воды к горизонтальному. С увеличением числа дрен они начинают оказывать влияние друг на друга, и приток к каждой дрене уменьшается, хотя в целом дебит лучевого водозабора возрастает. По сравнению с одиночным шахтным колодцем (без дрен) лучевые водозаборы имеют больший дебит.

Лучевые водозаборы применяют для забора воды из песчаных или песчано-гравелистых аллювиальных отложений, из малоомощных водоносных пластов, залегающих на глубине 10...20 м, а также для захвата инфильтрационных вод у берегов и под руслами рек.

На лучах при входе в колодец устанавливают задвижки. Лучевые водоприемники позволяют наиболее полно использовать водоносные слои даже малой мощности.

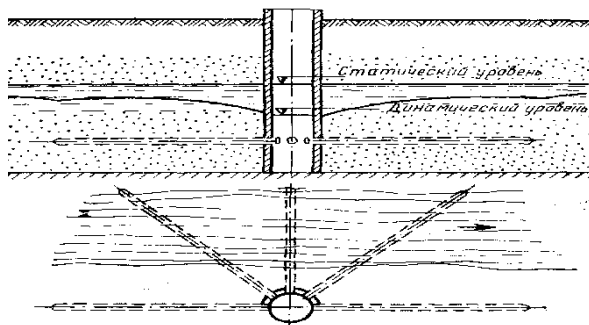


Рис. 1.7.12. Лучевой водозабор

Каптажи (родники или ключи) представляют собой естественный выход подземных вод на поверхность. Прозрачность, высокие санитарные качества, а также относительно простые способы получения родниковой воды привели к широкому использованию ее для целей питьевого водоснабжения. Родники бывают двух типов – **восходящие и нисходящие**. Восходящие образуются при проникании

в поверхностные слои грунта напорных вод в результате нарушения целостности перекрывающих их водонепроницаемых пород. Нисходящие образуются в результате выклинивания на поверхность земли безнапорных водоносных пластов, покоящихся на водонепроницаемых породах.

Сооружения для приема родниковых вод называют **каптажными** сооружениями, а процесс сбора родниковой воды называют **каптажем родников**. Эти сооружения в соответствии с характером их работы имеют различное устройство.

Для каптажа **восходящих** родников водоприемные сооружения выполняются в виде резервуара или шахты, сооружаемых над местом наиболее интенсивного выхода родниковой воды. Вода принимается только через дно, выполненное в виде обратного фильтра. Собранная вода отводится к потребителю самотеком или к насосной станции по трубе.

Каптаж **нисходящих** родников осуществляется путем устройства приемных камер с боковой водоприемной поверхностью, располагаемых в месте наиболее интенсивного выхода родниковой воды. В ряде случаев перпендикулярно основному направлению движения родниковой воды для ее перехвата и направления к приемной камере устраиваются сооружения в виде перемычек, подпорных стен и т. п. Иногда вдоль этих перемычек укладывают горизонтальные водосборные трубы или галереи.

1.8. Восполнение запасов подземных вод

Использование подземных вод, залегающих на небольшой глубине от поверхности земли, для хозяйственно-питьевого водоснабжения всегда является более рациональным, чем использование для этих целей вод поверхностных источников. Подземные воды, как уже отмечалось ранее, практически имеют стабильную температуру, почти не содержат патогенных бактерий и органических загрязнений, могут использоваться без очистки только с обеззараживанием. Вместе с тем естественные эксплуатационные запасы подземных вод не беспредельны. Распространены они по территории неравномерно и при интенсивной эксплуатации могут быстро истощаться. Поэтому воспроизводство эксплуатационных запасов подземных вод является актуальной задачей водоснабжения.

Искусственное восполнение запасов подземных вод – это искусственное вмешательство в существующий в природе динамический баланс подземного стока с целью увеличения приходной его части или снижения расходной части этого баланса или другими словами – это сезонное или многолетнее искусственное регулирование подземного стока для его накопления в определенные сезоны или годы и планомерного использования по мере необходимости. При этом в первую очередь регулируется динамический баланс подземного потока и, прежде всего, первого напорного или безнапорного водоносного горизонта, изолированного или даже не изолированного водоупором от сообщения с атмосферой, то есть подземного потока грунтовых или межпластовых безнапорных и напорных вод.

Искусственное создание запасов подземных вод не ведет к потерям территории, используемых для народного хозяйства, что наблюдается при регулировании поверхностного стока, улучшает водный баланс, не ведет к непроизводительным потерям воды на испарение.

В качестве источников искусственного восполнения запасов подземных вод могут использоваться поверхностные воды рек, водохранилищ, озер, каналов, а иногда также шахтные и дренажные воды, воды «отработанные» на установках кондиционирования воздуха или на системах охлаждения производственного оборудования и аппаратуры и другие виды незагрязненных сточных вод.

Методы искусственного восполнения запасов подземных вод подразделяют по:

- характеру их воздействия на баланс подземных вод;
- степени влияния на баланс подземных вод;
- целевому назначению восполнения;
- техническому осуществлению искусственного восполнения.

По характеру воздействия на баланс подземных вод различают на способы:

- увеличения его приходной части (все виды поверхностной и подземной фильтрации, береговые и подрусловые инфильтрационные водозаборы, мероприятия, способствующие накоплению подземного стока и переводу поверхностного стока в подземный);
- снижения его расходной части (устройство подземных плотин, увеличение подпора, более интенсивный отбор подземных вод, снижение транспирации и испарения с поверхности земли).

По степени воздействия на баланс подземных вод различают на способы:

- сосредоточенного интенсивного воздействия (инфильтрация с помощью бассейнов, прудов, поглощающих скважины и т.п.);
- рассчитанные на длительное воздействие на значительных площадях (снегозадержание, орошение, снижение испарения с поверхности, задержание и регулирование поверхностного стока и др.).

По целевому назначению методы искусственного восполнения могут быть:

- прямые методы – это непосредственное восполнение или создание запасов подземных вод для целей водоснабжения;
- косвенные – это методы искусственного создания запасов подземных вод в результате осуществления других мероприятий, не связанных с водоснабжением (орошение, создание водохранилищ, гидроузлов, каналов и т. д.).

По техническому осуществлению можно выделить два основных способа искусственного восполнения запасов подземных вод:

- поверхностная инфильтрация сырой воды;
- внутригрунтовая инфильтрация.

В соответствии с этими методами инфильтрационные сооружения систем искусственного восполнения разделяются на два основных типа: **открытые** (бассейны, пруды, площадки, каналы и др.) и **закрытые** (скважины, колодцы, галереи).

Выбирая метод искусственного восполнения запасов подземных вод, необходимо помнить, что он неизбежно предполагает искусственное изменение природных естественно сложившихся условий и процессов и поэтому изменения могут иметь неожиданные последствия. Чрезмерное насыщение водой поверхностных слоев может привести к заболачиванию местности.

Обогащение водоносных пластов недоброкачественными водами может вызвать ухудшение качества воды всего водоносного пласта.

В качестве открытых инфильтрационных сооружений, служащих для искусственного восполнения запасов подземных вод, чаще всего используют бассейны, каналы, площадки, канавы, борозды, реже – естественные и искусственные понижения рельефа – овраги, балки, высохшие озера, карьеры, пруды. Иногда используют также русла временных и постоянных водотоков, которые для этих целей расчищают, перегораживают валами, грунтовыми перемычками или каменной наброской.

Наиболее применимы для устройства открытых инфильтрационных сооружений районы с непродолжительным периодом отрицательных температур и наличием выходящих на поверхность или неглубоко залегающих водоносных пластов. Устраивают их в отдельных случаях при наличии водоносного пласта с большой регулирующей емкостью.

При расчете открытых инфильтрационных сооружений решаются следующие основные задачи:

- назначение их габаритных размеров (ширины, длины, глубины) и выбор конструкции;

- установление режима эксплуатации;

- прогнозирование их производительности и определение способа их регенерации.

Из всех видов сооружений в системах восполнения запасов подземных вод чаще всего применяют инфильтрационные бассейны. Устраивают их в плане прямоугольной формы, а в поперечном и продольном сечении – трапеция. Их размеры составляют: ширина по дну 15...30 м; длина их 200...400 м; глубина обычно не превышает 3...4 м (чаще 1,5...2,0 м).

При наличии слабопроницаемых отложений, днища бассейнов должны врезаться в хорошо фильтрующие породы на глубину не менее 0,5 м. Общая глубина бассейна от днища до верха откоса должна быть не менее чем на 0,5 м больше его глубины наполнения. Инфильтрационные бассейны устраивают без загрузки дна, если их дно подстилают пески (рис. а), с песчаной (рис. б) и с гравийной загрузкой дна (рис. в). Песчаную или гравийную загрузку дна предусматривают при устройстве бассейнов в гравийно-галечниковых отложениях. Толщина загрузки должна составлять 0,5...0,8 м. Крупность зерен песчаной загрузки 0,5...2 мм, гравийной – 3...8 мм. Для подачи воды в бассейны применяют следующие устройства: один или два водовыпуска, размещенные в середине продольного или торцевого откоса (рис. а); аэрационные каскады (рис. б), устраиваемые на одном или на обоих продольных откосах бассейна; разбрызгивающие сопла, расположенные равномерно на площади бассейна (рис. в).

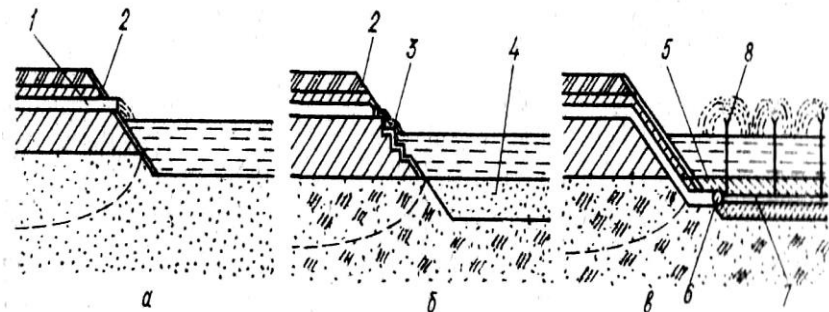


Рис.1.8.1. Схемы инфильтрационных бассейнов систем искусственного восполнения запасов подземных вод: а – без загрузки дна; б – с песчаной загрузкой дна; в – с гравийной загрузкой дна: 1 – трубчатый водовыпуск; 2 – крепление откосов бассейна; 3 – аэрационный каскад; 4 – песчаная загрузка; 5 – гравийная загрузка; 6 – распределительная труба; 7 – распределитель; 8 – разбрызгивающие сопла

Эксплуатируются инфильтрационные бассейны обычно в двух режимах:

- 1) с постоянной подачей воды в бассейн;
- 2) с постоянным уровнем воды в бассейне.

При первом режиме в бассейн в течение всего рабочего периода подается постоянный расход воды. При этом уровень воды в бассейне постоянно медленно подымается вследствие уменьшения фильтрующей способности его днища, обусловленного образованием на поверхности дна бассейна (или загрузки) слоя илистой пленки и кольматажа грунта основания. К концу рабочего периода уровень воды достигает своего максимума.

При втором режиме в бассейн сразу же после его пуска в работу подают повышенные расходы воды, доводя уровень воды в бассейне до максимально возможного. В дальнейшем этот уровень поддерживается на протяжении всего рабочего периода. При этом с понижением фильтративной способности бассейна расход подаваемой воды уменьшается. Работа инфильтрационных бассейнов в таком режиме целесообразна при мелкозернистых песках или супесях, слагающих его дно, а также в тех случаях, когда пуск бассейна совпадает с временем наступления отрицательных температур.

По истечении рабочего периода, фильтративная способность бассейна снижается до такого уровня, при котором дальнейшая его

эксплуатация становится нецелесообразной, подачу воды в бассейн прекращают. Бассейн опорожняется, то есть уровень воды в бассейне и расход из него падают практически до нуля. Далее бассейн чистят (восстанавливают его первоначальную фильтрующую способность). Совокупность этих периодов: рабочего, опорожнения и чистки – называется рабочим **фильтроциклом**, а общее их время – продолжительностью **фильтроцикла**.

Закрытые инфильтрационные сооружения служат для искусственного восполнения запасов подземных вод, используют вертикальные сооружения – скважины, шахтные колодцы, шурфы и горизонтальные закрытые сооружения – трубчатые дрены, галереи и штольни.

Климатических ограничений для искусственного восполнения запасов подземных вод способом внутригрунтовой инфильтрации с помощью закрытых сооружений практически нет. Они с успехом могут применяться для восполнения, увеличения или создания запасов подземных вод в водоносных пластах, непосредственно выходящих на поверхность, в тех же условиях, что и открытые инфильтрационные сооружения, а также в межпластовых горизонтах, для которых способы поверхностной инфильтрации неприемлемы.

Чаще всего применяют вертикальные закрытые инфильтрационные сооружения в виде трубчатых колодцев. Реже для этих целей устраивают шахтные колодцы и шурфы, и совсем редко – горизонтальные сооружения, что объясняется сложностью их устройства на значительных глубинах, а также отсутствием эффективных методов восстановления их производительности и несовершенством их конструкции.

Трубчатые колодцы-скважины в системах искусственного пополнения запасов подземных вод по назначению и условиям эксплуатации можно подразделить на три типа: поглощающие, дренажнопоглощающие и двойного назначения.

Поглощающие трубчатые колодцы подают воду непосредственно в эксплуатационный пласт и могут работать как в режиме самопоглощения при самотечной подаче воды, так и в режиме принудительной закачки. Сооружают их, как правило, большого диаметра с установкой фильтров из антикоррозионных материалов и устройством гравийной обсыпки (рис. 2.7.2. а).

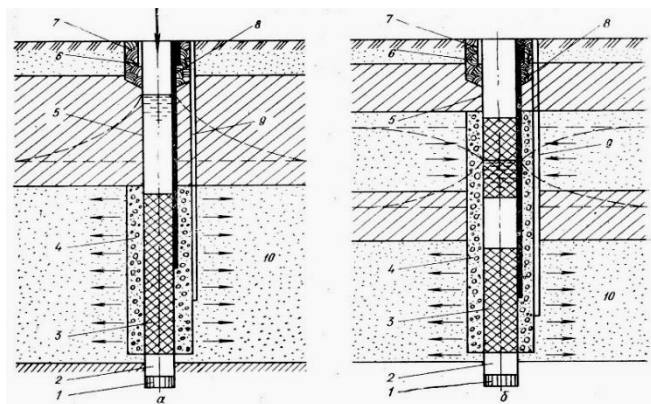


Рис. 1.8.2. Конструкции поглощающих и дренажнопоглощающих колодцев:

а – поглощающий колодец; б – дренажнопоглощающий колодец;

1 – пробка; 2 – отстойник; 3 – фильтр; 4 – гравийная обсыпка; 5 – эксплуатационная колонна; 6 – кондуктор; 7 – затрубный тампонаж; 8 – затрубный пьезометр;

9 – наблюдательный колодец; 10 – эксплуатируемый водоносный пласт

Дренажнопоглощающие трубчатые колодцы принимают воду верхнего водоносного горизонта и подают ее в нижний предназначенный для эксплуатации водоносный пласт. Эти колодцы оборудуются фильтрами на оба горизонта (рис. 4.13 б). Для улучшения перетока воды из одного горизонта в другой гравийная обсыпка может устраиваться не только в местах установки фильтров, но и в пределах водонепроницаемой прослойки.

Колодцы двойного назначения работают как поглощающие и как водозаборные. Используют их обычно в системах водоснабжения требующих дублирования источников водоснабжения или при больших колебаниях подземных вод по сезонам года, например, в системах водоснабжения, использующих в качестве источника водоснабжения периодически работающие мелиоративные каналы. В летнее время вода для водоснабжения забирается из канала и в это же время колодцами двойного назначения восполняются запасы подземных вод, которые в зимнее время, на период опорожнения канала, используют как источники водоснабжения.

Эксплуатировать трубчатые колодцы систем искусственного восполнения запасов подземных вод, как и инфильтрационные

бассейны, можно в двух режимах: с постоянной подачей воды в колодец и с постоянным напором воды, подаваемой в колодец. На практике поглощающие колодцы обычно эксплуатируют в режиме постоянного расхода, а дренажнопоглощающие колодцы – в режиме постоянного напора.

Рассчитывают поглощающие колодцы по тем же формулам, что и колодцы, принимающие воду из водоносного пласта (4.1 и 4.2., но со знаком минус), но при этом учитывают, что положение динамического уровня воды в колодце будет выше его статического горизонта, а кривая влияния имеет форму, обратную кривой депрессии обычного трубчатого колодца (рис. 4.14.).

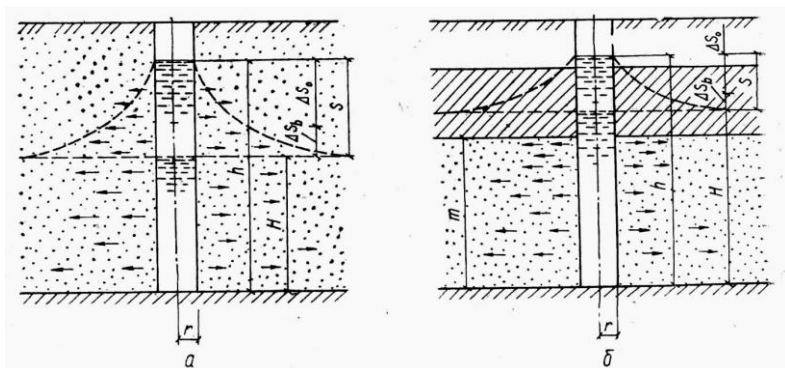


Рис. 1.8.3 Расчетные схемы поглощающих трубчатых колодцев подающих воду:
а – в безнапорный водоносный пласт; б – в напорный водоносный пласт

Отток из колодца в безнапорный водоносный пласт определяется по формуле

$$Q = -\frac{1,36 \cdot K_{\phi} \cdot S \cdot (2H - S)}{\lg \frac{R}{r}}, \text{ а в напорный } Q = -\frac{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r}}.$$

1.9. Санитарная охрана водозаборов

Охрана источников питьевого водоснабжения от загрязнения, засорения и истощения является обязательным условием обеспечения надлежащего качества питьевой воды и достигается выполнением

санитарных, экологических и иных требований и мероприятий по предотвращению загрязнения, засорения, истощения поверхностных и подземных водных объектов, а также созданием зон санитарной охраны источников и соблюдением режима, предусмотренного для этих зон.

Зоны санитарной охраны устанавливаются для всех источников и систем питьевого водоснабжения в целях предупреждения их случайного или умышленного загрязнения, засорения и повреждения.

Зона санитарной охраны источников питьевого водоснабжения на месте забора воды должна состоять из трех поясов: первого строгого режима, второго и третьего режимов ограничения.

Границы зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения должны быть нанесены на карты сельскохозяйственных угодий землепользователей, землевладельцев и собственников земельных участков, расположенных в пределах второго и третьего поясов зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения.

1.9.1. Зоны санитарной охраны водозаборов подземных вод

Водозаборы подземных вод должны располагаться вне территории промышленных предприятий и жилой застройки. Расположение их на территории промышленного предприятия или жилой застройки возможно при надлежащем обосновании. **Границы первого пояса зоны санитарной охраны подземного источника** питьевого водоснабжения должны устанавливаться от одиночного водозабора (скважина, шахтный колодец, каптаж) или от крайних водозаборных сооружений группового водозабора на расстоянии:

- не менее 30 метров при использовании защищенных подземных вод;

- не менее 50 метров при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

Для водозаборов с использованием защищенных подземных вод, расположенных на территории объекта, исключающего возможность загрязнения почвы и подземных вод, расстояние от водозабора до границы первого пояса при наличии гидрогеологического обоснования допускается уменьшать по согласованию с органами государственного санитарного надзора до 15 и 25 метров соответственно.

К недостаточно защищенным подземным водам относятся:

- воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта, получающего питание на площади его распространения;

– воды напорных и безнапорных водоносных горизонтов, которые в естественных условиях или в результате эксплуатации водозабора получают питание на площади зоны санитарной охраны из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов через гидрогеологические окна или проницаемые породы, кровли, а также из водотоков и водоемов путем непосредственной гидравлической связи.

К защищенным подземным водам относятся: воды напорных и безнапорных водоносных горизонтов, имеющих пределах всех поясов зоны санитарной охраны сплошную водоупорную кровлю, исключающую возможность местного питания из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов.

В первом поясе зоны санитарной охраны подземного источника питьевого водоснабжения **запрещаются:**

– все виды строительства, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации, реконструкции и расширению водопроводных сооружений, в том числе прокладка трубопроводов различного назначения;

– размещение жилых и хозяйственно-бытовых зданий и проживание людей;

– спуск любых сточных вод, стирка белья, водопой и выпас скота;

– применение ядохимикатов и удобрений;

– посадка высокоствольных деревьев.

Границы второго пояса зоны санитарной охраны подземного источника питьевого водоснабжения определяются гидродинамическими расчетами исходя из условия, что микробное загрязнение воды, поступающее в водоносный горизонт за пределами второго пояса, не достигнет водозабора. При этом время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору принимается равным от 100 до 400 суток в зависимости от климатических районов и защищенности подземных вод.

Радиус (граница) второго пояса определяется по формуле

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q_{\text{вод}} \cdot T_2}{\pi \cdot m \cdot \mu}}, \text{ м,}$$

где $Q_{\text{вод}}$ – производительность водозабора, м³/сут;

T_2 – время продвижения микробного загрязнения, сут.;

m – мощность водоносного пласта, м;

μ – коэффициент водоотдачи водоносного пласта.

Во втором поясе зоны санитарной охраны подземного источника питьевого водоснабжения **запрещаются:**

- размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промышленных стоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод;

- размещение кладбищ, скотомогильников, полей ассенизации, полей фильтрации, навозохранилищ, силосных траншей, животноводческих и птицеводческих предприятий и других объектов, обуславливающих микробное загрязнение подземных вод;

- применение ядохимикатов и удобрений;

- закачка отработанных вод в подземные горизонты, подземное складирование твердых отходов производства и потребления, а также разработка недр;

- рубки леса главного пользования и реконструкции.

Границы третьего пояса зоны санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения также определяются гидродинамическими расчетами, учитывающими время продвижения химического загрязнения до водозабора. При этом время продвижения химического загрязнения до водозабора должно быть больше расчетного времени эксплуатации водозабора. (25 лет = 9125 суток).

$$R_3 = \sqrt{\frac{Q_{\text{вод}} \cdot T_3}{\pi \cdot m \cdot \mu}}, \text{ м.}$$

В третьем поясе зоны санитарной охраны подземного источника питьевого водоснабжения **запрещаются:**

- размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промстоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод;

- закачка отработанных вод в подземные горизонты, подземное складирование твердых отходов производства и потребления, а также разработка недр.

Размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промышленных стоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод, допускается в пределах

третьего пояса зоны санитарной **охраны** подземного источника питьевого водоснабжения только при использовании защищенных подземных вод при условии выполнения специальных мероприятий по защите водоносного горизонта от загрязнения и согласованы с органами государственного санитарного надзора и органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды.

1.9.2. Зоны санитарной охраны водозаборов поверхностных вод

Границы первого пояса зоны санитарной охраны водотока, в том числе подводящего канала, должны устанавливаться:

- вверх по течению на расстоянии не менее 200 метров от водозабора;
- вниз по течению на расстоянии не менее 100 метров от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу на расстоянии не менее 100 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени.
- в направлении к противоположному берегу в границы первого пояса зоны санитарной охраны водотока должны включаться вся акватория и противоположный берег шириной 50 метров от уреза воды при летне-осенней межени при ширине водотока менее 100 метров и полоса акватории шириной не менее 100 метров при ширине водотока более 100 метров.

В первом поясе зоны санитарной охраны поверхностного источника питьевого водоснабжения запрещаются:

- все виды строительства, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации, реконструкции и расширению водопроводных сооружений, в том числе прокладка трубопроводов различного назначения;
- размещение жилых и хозяйственно-бытовых зданий и проживание людей;
- спуск любых сточных вод, в том числе вод водного транспорта;
- купание, стирка белья, водопой и выпас скота, другие виды водопользования, оказывающие отрицательное влияние на качество воды;
- применение ядохимикатов и удобрений;
- посадка высокоствольных деревьев.

Границы второго пояса зоны санитарной охраны водотока надлежит устанавливать:

- вверх по течению, включая притоки, исходя из скорости течения

воды, усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков, чтобы время протекания воды от границы пояса до водозабора при среднемесечном расходе воды 95 процентов обеспеченности было не менее 5 суток;

- вниз по течению на расстоянии не менее 250 метров от водозабора;
- боковые границы при равнинном рельефе местности на расстоянии не менее 500 метров от уреза воды при летне-осенней межени;
- боковые границы при гористом рельефе местности до вершины первого склона, обращенного в сторону водотока, но на расстоянии не менее 750 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени при пологом склоне и не менее 1000 метров при крутом склоне.

Во втором поясе зоны санитарной охраны поверхностного источника питьевого водоснабжения **запрещаются:**

- рубки леса главного пользования и реконструкции, а также закрепление за лесозаготовительными предприятиями древесины на корню и лесосечного фонда долгосрочного пользования;
- размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промышленных стоков, шламохранилищ и других объектов, которые могут вызвать химическое загрязнение источников питьевого водоснабжения;
- размещение стойбищ и выпас скота, а также всякое другое использование водоема и земельных участков, лесных угодий в пределах прибрежной полосы шириной не менее 500 метров, которое может привести к ухудшению качества или уменьшению количества воды в источнике питьевого водоснабжения;
- отведение в зону водосбора поверхностного источника водоснабжения, включая его притоки, сточных вод, не отвечающих нормативным требованиям;
- применение ядохимикатов.

Границы третьего пояса зоны санитарной охраны водотока должны быть вверх и вниз по течению водотока такими же, как для второго пояса. Боковые границы должны устанавливаться по линии водоразделов в пределах 3-5 километров, включая притоки.

В пределах третьего пояса зоны санитарной охраны поверхностного источника питьевого водоснабжения **запрещается:**

- отведение в зону водозабора источника питьевого водоснабжения, включая его притоки, сточных вод, не отвечающих требованиям санитарных норм и правил.

2. Расчет водопотребления

2.1. Водопотребление, категории водопотребителей

Обеспечение водой населенных пунктов, производственных предприятий, других объектов для удовлетворения хозяйственно-питьевых, производственных и противопожарных нужд называют водоснабжением.

Существует несколько категорий видов потребления воды, каждая из которых характеризуется рядом параметров:

- хозяйственно-питьевое воды;
- потребление воды в коммунально-бытовом секторе;
- потребление воды в технологических процессах производства;
- использование воды для нужд пожаротушения;
- расходование воды на собственные нужды.

Первая категория связана с использованием воды в момент нахождения человека в доме или общественном здании. Вода должна соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям, регламентируемым государственным стандартом.

Коммунально-бытовой сектор включает следующие объекты: магазины, места общественного приема пищи. Рестораны, кафе и т. д), холодильные установки, нежилые помещения, которые оборудованы водопроводом и встроены в жилые здания, также потребители, применяющие воду для полива сельскохозяйственных угодий и других зеленых территорий.

Третья категория включает в себя потребление воды в технологических процессах производства. Вода для технологических процессов не должна: ухудшать качества производимой продукции, не вызывать развитие биологических обрастаний, вызывать опасность для жизни и здоровья человека, оказывать агрессивное воздействие на трубопроводы и оборудование водоснабжения и водоотведения.

Четвертая категория использует воду для тушения пожаров. Вода для пожаротушения не должна содержать механические примеси и химические вещества.

Пятая категория для собственных нужд использует воду питьевого качества, но для увеличения объема, полива и орошения подаваемой воды нужно направлять также дождевые воды с крыш и дворовых территорий.

В различных категориях водоснабжения много общих технических

приемов, но они существенно отличаются друг от друга по режиму работы, типам и размерам сооружений, по качеству подаваемой воды.

2.2. Нормы и режимы водопотребления

Норма водопотребления – это объем воды, одним потребителем за какой-либо период времени.

Норма потребления на питьевые цели – объем воды, используемой в средние за год сутки одним человеком, дм^3 . Она зависит от степени санитарно-технического оборудования жилого здания и определяется по таблице 2.1.

Таблица 2.1. Нормы питьевого водопотребления жилых зданий

Степень санитарно-технического оборудования жилых зданий	Норма питьевого водопотребления (среднесуточная за год) на одного жителя, $\text{дм}^3/\text{сут}$
1	2
Здания, оборудованные внутренним водопроводом и канализацией без ванн и душей	85 105
Здания, оборудованные внутренним водопроводом, канализацией и газоснабжением без ванн и душей	100 120
Здания, оборудованные внутренним водопроводом, канализацией, ванными и водонагревателями, работающими на твердом топливе	115 140
То же, с газовыми нагревателями	140 180
Здания, оборудованные внутренним водопроводом, канализацией (умывальниками, мойками и душами) с централизованным горячим водоснабжением	
В том числе: холодной водой	95 135
горячей воды	85
То же, с ванными, оборудованными душами	210 260
В том числе: холодной воды	105 155
горячей воды	105
Здания, не подключенные к централизованной системе водоснабжения:	
при наличии водопроводного ввода	50 80
при использовании уличными водоразборными колонками	30 50

Для населенного пункта, состоящего из i районов с различной степенью санитарно-технического оборудования жилых зданий, среднесуточное водопотребление

$$Q_{\text{ср.сут}} = \frac{k_n \sum_{i=1}^n q_{\text{жи}} N_{\text{жи}}}{1000}$$

где k_n – коэффициент, учитывающий нужды местного производства продуктов питания и неучтенные расходы;

i – номер района;

$q_{\text{жи}}$ – среднесуточная норма водопотребления на одного жителя в i -районе, $\text{дм}^3/\text{сут}$;

$N_{\text{жи}}$ – расчетное число жителей в i - районе жилой застройки.

Расчетные расходы воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления определяются по следующим формулам

$$Q_{\text{сут.макс}} = k_{\text{сут.макс}} \cdot Q_{\text{ср.сут.}} \quad Q_{\text{сут.мин}} = k_{\text{сут.мин}} \cdot Q_{\text{ср.сут.}}$$

Определение расчетных расходов воды невозможно без выявления режимов водопотребления в зданиях (распределения суточного водопотребления по часам суток).

Режим водопотребления – это распределение расходов воды, отбираемой из водопроводной сети, по часам суток. Количество воды, отбираемой на хозяйственные нужды, в течение суток изменяется в дневное время увеличивается, а в ночное – снижается. Характер колебания расходов зависит от многих факторов: численности населения и их уклада, наличия в населенных пунктах промышленных предприятий и характера их работы и др., но при этом отбор воды в течение часа остается постоянным.

График водопотребления строят на основании анализа полученных инструментально записанных графиков для построенных и нормально эксплуатируемых зданий, аналогичных по назначению, этажности, заселенности и санитарно-техническому оборудованию. Режим водопотребления в большинстве случаев описывается ступенчатым графиком (рис.4.1), на котором по оси ординат откладывают водопотребление в процентах от суточного для каждого часа, а по оси абсцисс – часы суток.

В системах внутренних водопроводов зданий процесс отбора воды потребителем – случайный и неуправляемый. Режим водопотребления зависит от назначения, вида санитарно-технического оборудования, организации производственного процесса в промышленных зданиях, от расписания занятий в учебных корпусах и зрелищных представлений в общественных зданиях. Режим потребления воды в жилых зданиях более сложный, потому что он зависит от режима работы населения,

степени благоустройства, культурных и санитарных навыков, качества и культуры технического обслуживания систем водоснабжения зданий. В жилых зданиях, гостиницах, общежитиях, больницах и других зданиях, которые рассчитаны на круглосуточное пребывание людей расчетный период 24 часа, в некоторых общественных зданиях в зависимости от их назначения продолжительность рабочего периода составляет 8-9 часов. Данные о суточных и часовых расходах воды и о количестве потребителей для зданий, находящихся в аналогичных условиях позволяют получать суточные и часовые нормы расходов различными потребителями.

Определение водопотребления и расчётных расходов воды производится для выбора источника водоснабжения, типа и размеров водопроводных сооружений и оборудования, технологий водоподготовки и подачи воды к потребителю.

Суточное потребление воды населением определяется по формуле

$$Q_{\text{ср.сут}} = \frac{K_n \cdot \sum_i^n q_{\text{ж}i} \cdot N_{\text{ж}i}}{1000}$$

где $q_{\text{ж}i}$ –суточная (средняя за год) норма водопотребления 1 человеком в сутки, м³/сут;

$N_{\text{ж}i}$ – расчетное число жителей i -го района жилой застройки с соответствующей степенью санитарно-технических приборов

n – количество районов жилой застройки с различной степенью санитарно-технического оборудования зданий;

K_n – коэффициент, учитывающий расход воды на нужды населения и неучтенные расходы, принимается от 1,1 до 1,2.

Потребители расходуют воду в течение суток неравномерно со значительными колебаниями в различные часы. Чтобы обеспечить требуемую пропускную способность распределительной сети труб и других сооружений системы водоснабжения необходимо знать максимальный суточный расход. Для его определения необходимо просуммировать часовые расходы воды каждым потребителем и составить график водопотребления в течение суток, а при отсутствии фактических расходов по данным объектов-аналогов.

Расчетные расходы воды в сутки максимального $Q_{\text{сут.макс.}}$ и минимального $Q_{\text{сут.мин.}}$ водопотребления на питьевые и хозяйственные нужды определяют по формуле

$$Q_{\text{сут.макс.}} = K_{\text{сут.макс.}} \cdot Q_{\text{сут.макс.}}$$

$$Q_{\text{сут.мин.}} = K_{\text{сут.мин.}} \cdot Q_{\text{сут.мин.}}$$

где $K_{\text{сут.макс.}}$, $K_{\text{сут.мин.}}$ – максимальное и минимальное значение коэффициентов суточной неравномерности

$Q_{\text{сут.ср.}}$ – суточный (средний за год) расход.

Максимальный $Q_{\text{ч.макс.}}$ и минимальный $Q_{\text{ч.мин.}}$ расчетные часовые расходы воды населением определяют по формулам

$$Q_{\text{ч.макс.}} = \frac{K_{\text{ч.макс.}} \cdot Q_{\text{сут.макс.}}}{24}$$

$$Q_{\text{ч.мин.}} = \frac{K_{\text{ч.мин.}} \cdot Q_{\text{сут.мин.}}}{24}$$

Режим водопотребления населенных пунктов, объектов производства и других объектов водоснабжения характеризуются графиками водопотребления, для составления которых следует применять фактические данные водопотребления конкретного населенного пункта, объектов производства или объекта-аналога.

При отсутствии фактических данных характерные режимы, коэффициенты суточной и часовой неравномерности определяются расчетным путем.

Коэффициент суточной неравномерности водопотребления учитывает уклад жизни населения, режим работы организаций, степень санитарно-технического оборудования зданий и изменения водопотребления по сезонам года и дням недели.

$$K_{\text{сут.макс.}} = 1,1 - 1,3 \quad K_{\text{сут.мин.}} = 0,7 - 0,9$$

Коэффициент часовой неравномерности водопотребления учитывает изменение водопотребления по часам суток.

Для населенных пунктов часовые расходы воды определяют с учетом коэффициента часовой неравномерности водопотребления, который определяется по зависимости:

$$K_{\text{час}} = \frac{Q_{\text{ч.макс.}}}{Q_{\text{ч.ср.}}} \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{ч.макс.}}$ – максимальное часовое водопотребление.

Поскольку рассматриваются сутки максимального водопотребления, то среднечасовой расход определяется из условия

$$Q_{\text{ч.ср}} = \frac{Q_{\text{сутмакс.}}}{24} \quad (2.3)$$

При известных $Q_{\text{ч.ср.}}$ и $K_{\text{час}}$ максимальное часовое водопотребление

$$Q_{\text{ч.макс.}} = K_{\text{час}} \cdot Q_{\text{чср.}}$$

При таком подходе будет известно лишь потребление воды в час максимального водопотребления. Этого достаточно для расчета сетей и сооружений децентрализованных систем.

Для того чтобы правильно рассчитать параметры основных элементов централизованной системы водоснабжения, нужно с достаточной точностью определить максимальные секундные расходы секторов, всего населённого пункта и отдельных объектов водоснабжения. С этой целью определяют максимальный часовой расход и затем, разделив его на количество секунд в часе, вычисляют максимальный секундный расход.

$$q_{\text{расч}} = \frac{Q_{\text{ч.макс}}}{3,6}, \text{ л/с} \quad (2.4.)$$

Однако определение или выбор $K_{\text{час}}$ связаны с определёнными трудностями, а его величина может лежать в достаточно широком диапазоне.

Поэтому для практических расчетов максимальный секундный расход с необходимой точностью определяют с помощью типовых графиков или таблиц распределения воды по часам суток для конкретных водопотребителей или секторов в целом.

2.2.1. Поливное водопотребление

Расход воды на поливку и мойку улиц и площадей, а также на поливку зеленных насаждений зависит от размеров поливаемых площадей, способа поливки, типа покрытий и т.п.

Таблица 2.2.1. **Нормы расходования воды на мойку и полив территории**

Назначение воды	Измеритель	Норма расхода, л/м ²
Механизированная мойка усовершенствованных проездов и площадей	1 мойка	1,2 –1,5
Механизированная мойка усовершенствованных проездов и площадей	1 поливка	0,3–0,4
Поливка вручную (из шланга) усовершенствованных тротуаров и проездов	То же	0,4–0,5
Поливка городских зеленых насаждений	То же	3–4
Поливка газонов и цветников	То же	4–6

При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды принимается равным 50-90 л/сут в расчете на одного жителя.

При назначении нормы поливки учитываются климатические условия, мощность источника водоснабжения, степень благоустройства населенных пунктов и другие местные условия. Число поливок в зависимости от климата принимается 1-2 в сутки.

2.2.2. Водопотребление промышленных предприятий

Расход воды на промышленных предприятиях включает воды идущие на бытовые нужды, производственные (технологические), принятия душа.

Норма воды на бытовые нужды – расход воды, л/смену, от одного работающего. Она одинакова для предприятий всех отраслей народного хозяйства и не зависит от климатических условий. Рабочие на предприятии трудятся в цехах горячем (с повышенным тепловыделением) и холодном.

Нормы воды в цехах приведены в таблице 2.1.3.1

Таблица 2.1.3.1 **Норма воды в цехах промышленного предприятия**

Цеха	Норма потребления воды, л/смену
Горячие (с тепловыделением более 80 кДж/ч на 1 м ²)	45
Холодные	25

Норма потребления воды на производстве – количество воды, затраченное единицу выпускаемой продукции или перерабатываемого сырья (1 т стали, 1000 м ткани 1 автобуса и т. д.) Эта норма зависит от вида выпускаемой продукции и особенностей технологического процесса и колеблется в широких пределах.

Расходы воды, используемые для душа или ножной ванны определяют почасовому расходу воды. Расход идущий на 1 душевую сетку – 500 л/ч, на дну ножную ванну со смесителем составляет 270 л/ч. Продолжительность пользования душем составляет 45 минут после окончания смены. Число душевых сеток принимают в зависимости от числа работающих в смену, числа человек, обслуживаемых одной душевой сеткой и санитарных характеристик производственных процессов.

2.3. Противопожарное водоснабжение

Расходы воды для тушения пожара определяются по нормативным документам, основанных на обработке статистических данных о фактических расходах воды при тушении пожаров на различных объектах. Нормы расходования воды на пожаротушение зависят от численности населения и характера застройки (таблица 2.4.1).

Таблица 2.1.4.1 Нормы расходования воды на пожаротушение в населенных пунктах

Число жителей в населенном пункте, тыс. чел	Расчетное число одновременных пожаров	Расход воды, л/с, на один пожар от огнестойкости зданий при высоте застройки	
		до двух этажей включительно	три этажа и больше
5	1	10	10
10	1	10	15
25	2	10	15
50	2	20	25
100	2	25	35
200	3		40
300	3		55
400	3		70
500	3		80
600	3		85
700	3		90
800	3		95
1000	3		100

2000	4		100

Продолжительность тушения пожара принята равной 3 часам.

Расход воды для наружного пожаротушения в производственных зданиях с фонарями и в зданиях шириной до 60 м без фонарей зависит от объема здания, степени огнестойкости его строительных конструкций, категории пожарной опасности производства, размещенного в здании (таблица 2.4.2).

Таблица 2.1.4.2. Нормы расходования воды на пожаротушение предприятий при ширине производственных зданий до 60 м

Степень огнестойкости зданий	Категории производства по пожарной опасности	Расход воды, л/с, на пожаротушение предприятий при ширине производственных зданий до 60 м						
		до		5 -20	20-50	50 – 200	200 - 400	более 400
I и II	Г, Д	10	10	10	10	15	20	25
	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
	Г, Д	10	10	15	25	–	–	–
III	В	10	15	20	30	–	–	–
	Г, Д	10	15	20	30	–	–	–
IV и V	В	15	20	25	40	–	–	–

Норма расхода воды для наружного пожаротушения в производственных зданиях шириной 60 м и более несколько иная (таблица 2.4.3).

Таблица 2.1.4.3 Нормы расходования на пожаротушение предприятий при ширине производственных зданий от 60 м и более

Степень огнестойкости	Категории производства от пожарной опасности	Расход воды, л/с, на наружное пожаротушение на один пожар при объеме зданий, тыс. м ²								
		до 50	50-100	100 - 200	200 - 300	300-400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	700-800
I и II	А, Б и В	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Г, Д и Е	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Таблица 2.1.4.4. Расчетное число одновременных пожаров

Площадь предприятия, га	Число жителей в населенном пункте, тыс. чел	Число одновременных пожаров
Менее 150	до 10	1*
	От 10 до 25	2**
Более 150	Менее 25	*2

Примечание: * – на предприятии или в населенном пункте определяют по наибольшему расходу; ** – один на предприятии и один в населенном пункте.

Расчетное число одновременных пожаров для объединенного противопожарного водопровода населенного пункта и промышленного предприятия принимается в зависимости от площади, занимаемой предприятием, и числа жителей в населенном пункте (табл. 2.4.4).

Расчетный расход на пожаротушение должен быть обеспечен при наибольшем расходе на другие нужды.

Максимальный срок восстановления неприкосновенного противопожарного расхода, хранящегося в резервуарах, составляет 1-3 суток в зависимости от категории объекта по пожарной опасности.

2.3.1. Суммарный расход и объем воды на пожаротушение

Общий расчетный расход на пожаротушение ($Q_{\text{пож}}$) складывается из расхода на наружное пожаротушение от гидрантов ($Q_{\text{нар}}$), расхода на внутреннее пожаротушение от пожарных кранов ($Q_{\text{вн}}$), расхода от автоматических установок ($Q_{\text{АУП}}$).

$$Q_{\text{пож}} = Q_{\text{нар}} + Q_{\text{вн}} + Q_{\text{АУП}}$$

Расчетные расходы воды на наружное и внутреннее пожаротушение в населенных пунктах и на промышленных предприятиях определяются в соответствии с требованиями нормативных документов. Допускается принимать наружное противопожарное водоснабжение из пожарных резервуаров и водоемов с учетом требований:

- для населенных пунктов с числом жителей до 2000 человек при застройке зданиями до 2 этажей;
- для отдельно стоящих зданий классов Ф1.1, Ф1.2., Ф2–Ф4 строительного объема до 500м³, расположенных на территории населенных пунктов, не имеющих кольцевого противопожарного или объединенного противопожарного водопровода;

– зданий классов Ф5.1–Ф5.3, относящихся к категориям В3, В4, Г2, Д и класса Ф%4 при расходе воды на наружное пожаротушение не более 10 л/с.

Расход воды на наружное пожаротушение на один пожар, расчетное количество одновременных пожаров в населенном пункте для расчета магистральных (кольцевых) линий водопроводной сети принимаются по таблице 2.5.1 в зависимости от числа жителей и этажности зданий.

Для создания более жестких условий в отношении нагрузок на систему водоснабжения нормами проектирования предусматривается возможность возникновения пожара в часы максимального водопотребления. В результате этого отбираемые расходы возрастают и это приводит к росту потерь напора в линиях сети расходов, подаваемых насосной станцией. По способу тушения пожара системы разделяют на системы пожаротушения высокого и низкого давления. В системах высокого давления водопровод должен обеспечить подачу воды при давлениях, достаточных для создания струй от гидрантов. Эти системы используются на промышленных предприятиях, а в городе и населенных пунктах применяют системы низкого давления.

Необходимость устройства внутреннего противопожарного или объединенного противопожарного водопровода, а также минимальные расходы воды на пожаротушение следует принимать для зданий:

Классов Ф1–Ф4 и Ф5.4 по таблице 2.5.1

Таблица 2.1.5.2. Расходы воды на внутренний пожар в зданиях классов Ф1–Ф4

Класс зданий по функциональной пожарной опасности	Число струй	Минимальный расход воды (на одну струю на внутреннее пожаротушение л/с
Здания класса Ф1.3		
При числе этажей от 12 до 16 и длине коридоров до 10 м	1	2,5
То же при длине коридоров свыше 10 м	2	2,5
При числе этажей свыше 16 до 25 и общей длине коридоров до 10 м	2	2,5
То же при длине коридоров свыше 10 м	3	2,5
Здания класса Ф4.3		
Высотой от 6 до 10 этажей и строительным объемом до 25000 м ³	1	2,5
То же при строительном объеме свыше 25000 м ³	2	2,5
При числе этажей свыше 10 и строительным объемом до 25000м ³	2	2,5
То же при строительном объеме свыше 25000м ³	3	2,5

Классов Ф5.3, Ф5.2, Ф5.3 определяют по таблице 2.5.3

Таблица 2.1.5.3 Расходы воды на внутренний пожар в зданиях классов Ф5.1-Ф5.3

Степень огнестойкости зданий	Категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности	Число струй и минимальный расход воды (на одну струю, л/с) внутреннее пожаротушение в зданиях класса Ф5.1-Ф5.3 и строительным объемом, тыс. м ³				
		от 0,5 до 5	св 5 до 50	св 50 до 200	св 200 до 400	св 400 до 800
I –IV	A, Б, В1 –В3	2× 2,5	2×5	2×5	3×5	4×5
V, VI	B1 – B3	2× 2,5	2× 5	2×5	–	–
V, VI	B4, Г1, Г2, Д	–	2×2,5	2×2,5	–	–
VII, VIII	B1 – B3	2×2,5	2×5	–	–	–
VII, VIII	B4, Г1, Г2, Д	–	2,5			

В зданиях классов Ф5.1, Ф5.2, Ф5.3 для которых в соответствии с таблицей 2.5. установлена необходимость устройства внутреннего противопожарного водопровода, минимальный расход воды на внутреннее пожаротушение следует увеличивать:

– при применении элементов каркаса из незащищенных стальных конструкций – 5 л/с (одна струя);

– при применении элементов каркаса из цельной или клееной древесины в том числе подвергнутой огнезащитной обработке) на 5 л/с (одна струя);

– при применении утеплителей из горючих материалов в ограждающих конструкциях зданий III–IV степени огнестойкости со строительным объемом до 10000 м³ – на 5 л/с, а при большом строительном объеме дополнительно 5 л/с.

Для частей зданий различной этажности или при различной функциональной пожарной опасности необходимость устройства внутреннего противопожарного водопровода и расхода воды на пожаротушение принимают отдельно для каждой части здания по нормативным документам [2, 5].

2.4. Суммарное водопотребление города

Режим потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды населением представляет собой мало поддающийся управлению процессом. Для получения точного и экономичного проектного

решения системы водоснабжения необходимо знать расчетный график потребления воды населением. Потребление воды населением на хозяйственно-питьевые нужды неравномерно, как в течении года, так и суток. Расход воды изменяется в течении: сезона и связано с изменением температуры и влажности воздуха; недели и обусловлено особенностями жизнедеятельности людей в различные дни недели; суток, которые характеризуются неравномерностью потребления воды в отдельные часы суток и зависят от степени благоустройства и изменения давления в водонапорной сети. Изменение часовых расходов может вызываться и такими случайными факторами, как показ популярных телепрограмм, спортивных мероприятий и т. п. Значительное влияние на режим водопотребления оказывает социальный состав населения.

Для получения указанных графиков необходим ряд наблюдений за потреблением воды в населенных пунктах, близких по численности населения, климатическим условиям, санитарно-техническому благоустройству районов жилой застройки.

Разработать графики, адекватно отражающие водопотребление рассматриваемого объекта, весьма сложно и трудоемко. На практике это приводит к необходимости пользоваться приближенными графиками, степень упрощения которых зависит от характерных особенностей и требований проектирования и эксплуатации.

На основании данных о нормах водопотребления, сведений о расчетном числе жителей и потребности в воде промышленных предприятий, забирающих воду из городского водопровода, может быть определено полное среднее расчетное количество воды, которое должно быть подано городу в течение суток.

На хозяйственно-питьевые и бытовые нужды населения средние суточные расходы воды ($Q, \text{м}^3/\text{сут}$) определяют по формуле

$$Q = q_{\text{ср}} \cdot N$$

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

N – расчетное число жителей.

Расчетные объемы водопотребления промышленных объектов определяются на основании технологических расчетов.

Определенные среднесуточные расходы водопотребления могут служить только в качестве общего показателя потребности в воде. В

действительности суточные расходы воды в значительной мере зависят от сезона года, климатических изменений, дней недели. Таким образом, потребление воды жителями в течение года неравномерно и задача системы водоснабжения в том, чтобы удовлетворять потребности населения в воде постоянно, в том числе в сутки наибольшего (максимального) водопотребления.

Для населенных пунктов часовые расходы воды определяют с учетом коэффициента часовой неравномерности водопотребления, который определяется по зависимости:

$$K_{\text{час}} = \frac{Q_{\text{ч.макс.}}}{Q_{\text{ч.ср.}}} \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{ч.макс.}}$ – максимальное часовое водопотребление.

Поскольку рассматриваются сутки максимального водопотребления, то среднечасовой расход определяется из условия

$$Q_{\text{ч.ср.}} = \frac{Q_{\text{сут.макс.}}}{24} \quad (2.3)$$

При известных $Q_{\text{ч.ср.}}$ и $K_{\text{час}}$ максимальное часовое водопотребление

$$Q_{\text{ч.макс.}} = K_{\text{час}} \cdot Q_{\text{ч.ср.}}$$

Суточная неравномерность потребления воды характеризуется коэффициентами: суточной неравномерности $K_{\text{сут.}}$, представляющий собой отношение суточного расхода в дни наибольшего водопотребления к среднему суточному расходу за год

$$K_{\text{сут.}} = \frac{Q_{\text{сут.макс.}}}{Q_{\text{сут.ср.}}}$$

Максимальный суточный расход равен отношению суточного расхода в сутки с максимальным водопотреблением к среднесуточному расходу за год

$$Q_{\text{сут.макс.}} = K_{\text{сут.}} \cdot Q_{\text{сут.ср.}}$$

Минимальный суточный коэффициент неравномерности

водопотребления представляет собой отношение суточного расхода в сутки наименьшего водопотребления к среднесуточному расходу за год

$$K_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сут.мин}}}{Q_{\text{ср.сут.}}}$$

Эти коэффициенты, учитывающие уклад жизни населения, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий, принимаются равными: $K_{\text{сут.макс}} = 1,1 — 1,3$; $K_{\text{сут.мин}} = 0,7 — 0,9$. Они получены в результате анализа неравномерности водопотребления в действующих сетях водопровода.

Максимальный суточный расход является основным расходом, на который рассчитывают систему водоснабжения. Однако следует помнить, что потребление воды в течение суток также неравномерно. Степень неравномерности расходования воды зависит от числа жителей в населенном пункте, а также от благоустройства зданий, условий работы предприятий и других местных условий.

Режим водопотребления в течение суток определяется по результатам наблюдений за действующими системами водоснабжения. Они могут быть представлены в табличной, интегральной, аналитической или графической форме. На рис. 2.4 приведен пример ступенчатого графика водопотребления. По оси ординат этого графика отложены значения часового расхода воды в процентах суточного расхода.

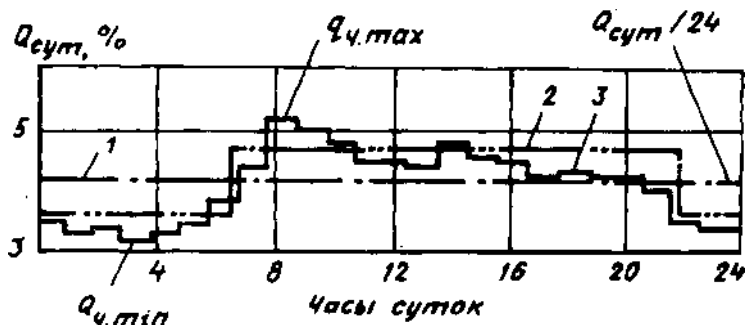


Рис. 2.2.1. График взаимосвязи режимов работы системы водопотребителей:
1, 2 — для насосных станций I, II подъема; 3 — режим водопотребления

Часовая неравномерность потребления воды характеризуется максимальным и минимальным коэффициентами часовой

неравномерности:

$$K_{ч.макс} = \alpha_{макс} \cdot \beta_{макс}$$

$$K_{ч.мин} = \alpha_{мин} \cdot \beta_{мин}$$

Коэффициент α учитывает влияние численности населения объекта, степень оборудования зданий, режима работы предприятий и другие местные условия. Он принимается равным

$$\alpha_{макс} = 1,2-1,4$$

$$\alpha_{мин} = 0,4-0,6$$

С ростом численности населения неравномерность водопотребления уменьшается. Ниже приводятся значения коэффициентов $\beta_{макс}$ и $\beta_{мин}$ в зависимости от числа жителей N (табл.2.2.1)

Таблица 2.2.1 Значения коэффициентов $\beta_{макс}$ и $\beta_{мин}$

Число жителей, Т, тыс. чел	$\beta_{макс}$	$\beta_{мин}$	Число жителей, Т, тыс. чел	$\beta_{макс}$	$\beta_{мин}$
до 0,1	4,5	0,01	2,5	1,6	0,1
0,15	4	0,01	4	1,5	0,2
0,2	3,5	0,02	6	1,4	0,25
0,3	3	0,03	10	1,3	0,4
0,5	2,5	0,05	20	1,2	0,5
0,75	2,2	0,07	50	1,15	0,6
1,0	2	0,1	100	1,1	0,7
1,5	1	0,1	300	1,05	0,85
			1000 и более	1	1

Графики режима расходования воды, полученные по данным хозяйственно-питьевого водопотребления, не отражают в полной мере режим потребления воды населенным пунктом. Это вызвано тем, что из городской системы водоснабжения помимо хозяйственно-питьевых расходов отбирается вода на нужды промышленных предприятий, поливку и др. Обобщенный график расхода воды по часам суток необходимо строить с учетом всех этих расходов и вероятной степени их колебания в течение суток. Потребление воды изменяется также в пределах каждого часа. Однако для упрощения расчетов этим фактором пренебрегают. Кроме того, развитие системы подачи и распределения

воды по очередям дает возможность иметь некоторый резерв мощности системы, позволяющий обеспечивать увеличенную подачу воды в случае необходимости. Учитывая сказанное, расчетный секундный расход q_s (л/с) в час максимального водопотребления

$$q_s = \frac{Q_h^{max}}{3,6}$$

Суточное потребление воды в различные периоды года на промышленных объектах в значительной мере определяется требованиями технологического процесса. На некоторых производствах оно меняется незначительно (например, на производствах, использующих воду для отмытки продукта), на других оно весьма существенно (например, в системах кондиционирования воздуха, конденсации пара и т. п.).

Изменение расходования воды в течение суток зависит от числа смен, количества работающих в каждую смену, режима отбора воды в течение каждой смены, наличия горячих и холодных цехов и других факторов. Однако неравномерность потребления воды промышленными предприятиями в отличие от неравномерности хозяйственно-питьевого водопотребления населением может быть поставлена под определенный контроль с помощью технических решений. В ряде случаев вода из городской системы водоснабжения на нужды производства может поступать в регулирующие и запасные емкости, расположенные на территории предприятия, откуда подаваться местными насосными станциями. Возможно организовать подачу воды предприятиям в часы наименьшего потребления воды городом. Это способствует упорядочению суммарного графика водопотребления и повышению экономичности работы городского водопровода в целом.

Расходы на производственные нужды определяют по данным технологических расчетов или удельным нормам расходования воды на единицу продукции, выпускаемой за сутки или смену.

Расходы воды, отбираемой из системы на поливку улиц и зеленых насаждений, не должны попадать в часы максимума расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды в наиболее нагруженные сутки.

Для каждой категории потребителей должны быть составлены графики потребления воды в течение суток.

Суточное потребление воды в различные периоды года на промышленных объектах в значительной мере определяется

требованиями технологического процесса. На некоторых производствах оно меняется незначительно (например, на производствах, использующих воду для отмытки продукта), на других оно весьма существенно (например, в системах кондиционирования воздуха, конденсации пара и т. п.).

Изменение расходования воды в течение суток зависит от числа смен, количества работающих в каждую смену, режима отбора воды в течение каждой смены, наличия горячих и холодных цехов и других факторов. Однако неравномерность потребления воды промышленными предприятиями в отличие от неравномерности хозяйственно-питьевого водопотребления населением может быть поставлена под определенный контроль с помощью технических решений. В ряде случаев вода из городской системы водоснабжения на нужды производства может поступать в регулирующие и запасные емкости, расположенные на территории предприятия, откуда подаваться местными насосными станциями. Возможно организовать подачу воды предприятиям в часы наименьшего потребления воды городом. Это способствует упорядочению суммарного графика водопотребления и повышению экономичности работы городского водопровода в целом.

Расходы на производственные нужды определяют по данным технологических расчетов или по удельным нормам расходования воды на единицу продукции, выпускаемой за сутки или смену.

Расходы воды, отбираемой из системы на поливку улиц и зеленых насаждений, не должны попадать в часы максимума расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды в наиболее нагруженные сутки.

Для каждой категории потребителей должны быть составлены графики потребления воды в течение суток, а для суммарного графика необходимо сложить ординаты составляющих его графиков. Используя данные суммарного графика водопотребления, проводят расчеты системы на различные моменты времени.

3. Гидравлический расчет водопроводной сети

3.1. Трассировка магистральной сети

Транспортирование воды к потребителям осуществляется по водопроводным сетям, распределяющим воду по территории данного объекта. Транспортирующими воду сооружениями в системах

водоснабжения являются водоводы, разводящие наружные и внутренние водопроводные сети. Водоводы соединяют отдельные элементы системы водоснабжения. При значительном удалении населенных пунктов от водозаборов длина их может быть значительной. Разводящие водопроводные сети распределяют воду по территории населенного пункта, подводят ее непосредственно к зданиям. Внутренние водопроводные сети подают воду от наружной (уличной) сети в здания и подводят к местам непосредственного потребления. Водопроводная сеть – один из основных элементов системы водоснабжения и должна отвечать определенным требованиям надежности и экономичности, а это достигается правильным выбором трассы и конфигурации сети, материала и диаметров труб, режима их работы.

Трассировка водопроводной сети заключается в придании ей определенного геометрического начертания и зависит от планировки объекта, формы его поверхности, наличия естественных и искусственных препятствий, рельефа местности, расположения крупных потребителей воды, места расположения источника водоснабжения и т. д. По форме (конфигурации) сети делят на **кольцевые**, то есть состоящие из одного или нескольких замкнутых контуров, и **разветвленные или тупиковые**.

Кольцевые сети гарантируют надежную и бесперебойную подачу воды, смягчают действие гидравлических ударов, имеют меньшие диаметры труб и обеспечивают циркуляцию воды. Недостатком кольцевой сети является большая протяженность и высокая стоимость. Для большинства объектов водоснабжения сети проектируют кольцевыми, особенно когда система объединена с противопожарной из условия надежности подачи воды.

Кольца по возможности должны иметь форму, вытянутую вдоль основного направления движения воды, и охватить равномерно всю территорию населенного пункта. Различные типы кольцевых сетей приведены на рис. 3.1.

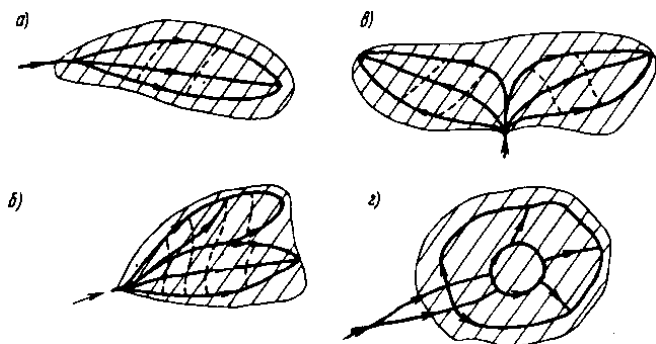


Рис. 3.1. Типы кольцевых сетей

Расположение узла питания и форма территории, показанные на рис. 3.1, а, позволяют ограничиться несколькими магистралями в виде пучка линий вдоль города, идущих из узла питания. При территории населенного пункта, имеющего расширение по мере удаления от источника, расположение магистралей может иметь вид, приведенный на рис. 3.1, б. Если территория города растянута в направлении, перпендикулярном направлению подачи воды, то начертание основных линий сети имеет вид, приведенный на рис. 3.1, в. На рис. 3.1, г показана система основных линий в виде колец, питаемых системой водоводов и радиальных магистралей.

Тупиковые сети проектируют в малых водопроводах при числе жителей менее 500 человек. Однако разветвленные сети могут быть и в крупных районных водопроводах при снабжении водой объектов, находящихся на значительном расстоянии. Бесперебойность подачи в этом случае обеспечивается за счет объема воды, предусмотренного в резервуарах. Наличие нескольких источников питания или нескольких регулирующих емкостей должно учитываться конфигурацией магистральной сети. Линии сети, транспортирующие основные потоки воды, называются **магистральными**. Они нужны для обеспечения надежности и выравнивания основных продольных магистралей.

В кольцевых сетях помимо магистралей имеются переемы, предназначенные в основном для перераспределения воды между магистралями при аварии на одной из них. Переемы на рис. 3.1, а—в показаны в виде пунктирных линий.

Вода от магистральной сети к домовым ответвлениям и пожарным гидрантам при пожаре подается по **распределительной** сети,

прокладываемой по улицам и проездам. Диаметры этой сети в отличие от магистральной, как правило, не рассчитываются, а принимаются в соответствии с пропускаемым пожарным расходом. Распределительная сеть оказывает существенную помощь системе магистральных линий во время аварии при переброске расходов воды с одних магистралей на другие.

Отбор воды может происходить и от линий магистральной сети, если их диаметры невелики. При больших диаметрах магистралей экономически оправдано применение так называемых сопровождающих линий, прокладываемых между узлами параллельно участку магистрали. К этим линиям присоединяются домовые ответвления.

В водопроводах малых населенных пунктов или в концевых участках городской сети нет различия между магистральными и распределительными линиями, так как все они участвуют и в транспортировании, и в отдаче воды потребителям. Такая водопроводная сеть называется **обезличенной**, и диаметры всех линий сети должны определяться расчетом.

Обычно гидравлическому и технико-экономическому расчетам подвергаются магистральные сети, что значительно облегчает процесс их проведения, анализ результатов и принятие решений.

Система магистральных линий и перемычек образует кольца, как правило имеющие удлиненную форму, вытянутую в направлении основного потока воды. Распределительная сеть, примыкающая к магистральной, будет в основном также представлять систему взаимно перекрещивающихся линий.

Наличие нескольких источников питания или нескольких регулирующих емкостей должно учитываться конфигурацией магистральной сети.

При устройстве разветвленной сети (рис. 3.2) подача воды потребителю возможна по единственному направлению. Разветвленная сеть дешевле, чем кольцевая, но она менее надежна: авария на любом участке этой сети приводит к перерыву подачи воды потребителям, находящимся за местом ее возникновения. Применение разветвленной сети возможно на объектах, допускающих перерыв в подаче воды на период ликвидации аварии. Обеспечение надежности работы этих сетей достигается устройством аварийных резервуаров.

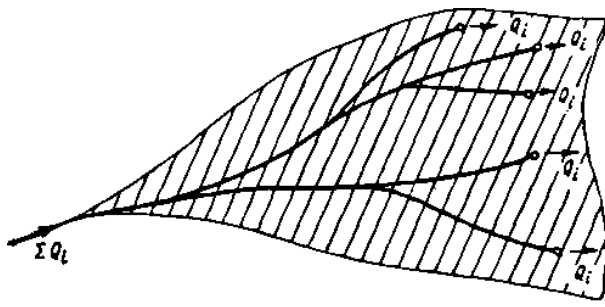


Рис. 3.2. Разветвленная водопроводная сеть

Устройство смешанных сетей, представляющих собой комбинацию кольцевых и разветвленных сетей, можно рассматривать в большинстве случаев как временную меру снабжения водой до превращения сетей в кольцевые при дальнейшем развитии водопровода.

Первоочередной задачей при проектировании и расчете водопроводных сетей является обоснование выбора линий трасс на плане. Трассировку производят исходя из условия обеспечения надежности работы сетей и наименьшей строительной стоимости.

Желательно прокладывать магистрали по повышенным отметкам для создания напора в распределительной сети. Кроме того, выбор трассы зависит от места расположения регулирующих емкостей.

Магистральные линии прокладывают в направлении движения по кратчайшему пути основной массы воды к наиболее крупным потребителям и регуливающим емкостям. Для надежности делают не менее двух параллельных магистральных линий на расстоянии 400—800 м. Магистрали соединяются перемычками через 600—1000 м.

3.2. Гидравлический расчет кольцевой и тупиковой сети

Гидравлический расчет сети производят для определения диаметров труб и потерь напора при пропуске расчетного расхода. При расчете режим работы водопроводной сети рассматривают совместно с режимами работы насосных станций и в сочетании с напорно-регулирующими сооружениями при заданных режимах водопотребления.

Питание водопроводной сети осуществляется по двум схемам:

- одностороннее питание, при котором вода в сеть подается от

насосной станции через водонапорную башню, расположенную в начале сети (сеть с проходным резервуаром);

– подача воды в сеть осуществляется с двух сторон: от насосной станции и от водонапорной башни, расположенных на противоположных сторонах сети (сеть с контррезервуаром).

Водопроводные сети с водонапорной башней в начале сети (рис.3.3) рассчитывают на пропуск секундного хозяйственного расхода $q_{\text{расч.сети}}$, л/с в час максимального водопотребления:

$$q_{\text{расч.сети}} = \frac{Q_h^{\max}}{3,6}$$

где $Q_h^{\max}$ – расход сети в час максимального водопотребления, м³/час.

Если хозяйственно-питьевой водопровод объединен с противопожарным, тогда сеть проверяют на пропуск противопожарного расхода совместно с расчетным для хозяйственно-питьевых целей.

Схему отбора воды для расчета сети составляют таким образом, чтобы она отражала разбор воды наиболее близкий к действительности. В случае, когда вода отбирается отдельными крупными потребителями (промышленные предприятия, прачечная, крупная химчистка и т.д.) то легко наметить точки и величину отбора воды, потому что такие отборы относят к категории сосредоточенных расходов ($Q_{\text{сосред}}$). Если разбор воды происходит во многих точках, что характерно для городских сетей, то к участку сети присоединяются многочисленные вводы и фактический разбор воды определить очень сложно, а учесть действительные сосредоточенные расходы воды в этом случае практически невозможно. Поэтому принимают упрощенную расчетную схему разбора воды, приняв допущение, что вода расходуется равномерно по длине (количество воды, отдаваемое каждым участком, пропорционально длине). Такие расходы относят к категории равномерно распределенных. Интенсивность отбора (расход воды), приходящегося на единицу длины называют удельным расходом (л/с·м).

$$q_{\text{уд}} = \frac{q_{\text{распр}}}{\sum l}$$

$$q_{\text{распр}} = q_{\text{сети}} - \sum Q_{\text{сосред}}$$

где $q_{\text{распр}}$ – распределительный отбор сети;

$\sum Q_{\text{сосред}}$ – расходы крупных потребителей, л/с;

$\sum l$ – суммарная длина участков, проходящих по застройке, м;
 $q_{\text{сети}}$ – общий расход сети, л/с.

При застройке с разной плотностью населения удельные расходы вычисляют отдельно для каждого района или микрорайона.

Расход воды (л/с), отдаваемый каждым участком, называют путевым и вычисляют по формуле

$$q_{\text{пут}} = q_{\text{уд}} \cdot l$$

где l – длина участка, м.

Полный расход (л/с), подаваемый в сеть в расчетный момент состоит из всех путевых и сосредоточенных расходов

$$q_{\text{расчет.сети}} = \sum q_{\text{пут}} + \sum Q_{\text{сосред}}$$

Определив разбор воды и составив расчетную схему отбора воды из сети с нанесением узлов, длин участков, сосредоточенных и путевых расходов, находят расчетные расходы участков, по которым выбирают диаметры труб и вычисляют потери напора.

Для упрощения определения расчетных расходов на участках, особенно в кольцевой сети, путевые расходы приводят к узловым.

В общем случае приведенный узловый расход $Q_{\text{пр.узел}}$ (л/с) равен полусумме путевых расходов участков, примыкающих к узлу:

$$Q_{\text{пр.узел}} = 0,5 \sum q_{\text{пут}}$$

Если в узле есть сосредоточенные расходы, то их прибавляют
Полный расчетный узловый расход будет равен

$$Q_{\text{расч.узел}} = Q_{\text{пр.узел}} + \sum Q_{\text{сосред}}$$

Определение путевых и узловых расходов вышеизложенным способом – этап подготовки к расчету кольцевых и тупиковых сетей. Заменив путевые расходы на узловые, по расчетной схеме (рис. 1.9.б), имеющей только узловые расход, вычисляют расчетные расходы на участках, пользуясь правилом баланса расходов в узле: сумма притока к узлу равна сумме оттока из него, включая узловый отбор.

Перед выполнением расчета кольцевой сети намечают сеть на плане, делят ее на расчетные участки, находят узловые отборы и составляют расчетную схему сети (рис.3.2.1.)

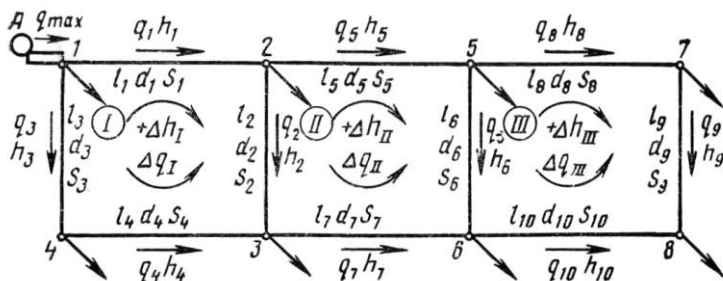


Рис. 3.2.1. Расчетная схема кольцевой водопроводной сети

Особенность кольцевой сети заключается в том, что любой узел может получать питание с двух и более направлений, причем питающие узел расходы могут находиться в любом сочетании, поэтому после подготовки расчетной схемы задача расчета кольцевой сети остается неопределенной. Для устранения этой неопределенности нужно наметить направление токов воды на участках так, чтобы вода от башни к узлам подавалась по кратчайшему пути и показывать его на расчетной схеме стрелками (рис.10). Во-вторых, наметить распределение потоков воды по ветвям сети и установить расчетные расходы на участках, соблюдая при этом правило баланса расходов в узлах и условие взаимозаменяемости линий в случае аварии. Последнее достигается назначением близких по значению расходов на участках магистралей, несущих основные массы воды (1–2–5–7 и 1–4–3–6–8 на рис.3.2.1). Это предопределяет назначение одинаковых диаметров труб на магистралах, благодаря чему и достигается их взаимозаменяемость при авариях: в случае выхода из строя любой из магистралей другая магистраль обеспечит пропуск достаточного расхода для питания сети. По нормам сеть должна быть запроектирована таким образом, чтобы при авариях хозяйственно-питьевое водопотребление не снижалось более чем на 30%. После такого предварительного определения расчетных расходов по участкам сети находят экономически наиболее выгоднейшие диаметры труб на каждом участке.

Связь между диаметром трубы (d) и протекающим через него расходом (q) и скоростью (v) и выражается следующей формулой

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi \cdot v}}$$

При известном расходе расчетном расходе диаметр трубы зависит от скорости воды. Максимальную скорость устанавливают из условия предотвращения гидравлических ударов (не более 2,5...3 м/с). Минимальная скорость в трубах для чистой водопроводной воды не ограничена. Для неочищенной воды, несущей взвеси, скорость назначают из условия незаиливания труб – не менее 0,5 м/с.

С увеличением скорости уменьшается диаметр трубопровода и соответственно и его стоимость. Но при этом увеличиваются затраты на электроэнергию, потребляемую насосами, потому что потери напора в трубопроводе с уменьшением диаметра сильно возрастают. Экономически выгодным будет такой диаметр трубопровода, при котором приведенные затраты на его строительство и эксплуатацию будут минимальными.

Экономический (оптимальный) диаметр трубопровода, соответствующий минимуму приведенных затрат, при расчетном расходе q определяется по формуле

$$q_{\text{э}} = \text{Э}^{0,15} \cdot q^{0,43}$$

где Э – экономический фактор, который учитывает гидравлические свойства труб и экономические параметры, влияющие на стоимость строительства и эксплуатацию трубопровода;

$$\text{Э} = M \cdot \sigma \cdot \gamma$$

где M – параметр, принимаемый: для стальных труб $M = 0,92$;

σ – стоимость 1кВт·ч электроэнергии;

γ – коэффициент, учитывающий неравномерность подачи воды по трубопроводу.

Если трубопровод имеет несколько расчетных участков с сосредоточенными отборами в узлах, то экономические диаметры на каждом участке определяются по формуле

$$d_{\text{эл}} = d_{\text{эл1}} \cdot C^{0,28}$$

где $d_{\text{эл1}}$ – экономический диаметр первого (головного) участка;

C – соотношение расходов i -го и первого участков.

$$C = \frac{q_i}{q_1}$$

При расчете разветвленных водопроводных сетей выбор

экономически наиболее выгоднейшего диаметра осложняется тем, что отдельные участки играют различную роль в работе сети и в формировании начального напора в точке питания. Кроме того, влияние отдельных участков на начальный напор определяется еще и рельефом местности, поэтому учет всех дополнительных факторов усложняет экономические расчеты сетей.

При назначении диаметра труб следует также учитывать другие возможности случаи работы сети – при пожаре, авариях на отдельных магистралях. На рисунке 10 поперечные линии, соединяющие основные продольные магистрали (участки 2–3 и 5–6, при нормальной работе несут сравнительно небольшие расходы, но при аварии на одной из магистралей в другую (участок 3–4 эти участки получают значительную нагрузку при переброске расхода воды из одной магистрали в другую, что учитывают при назначении диаметров.

После назначения диаметров труб задача расчета сети становится гидравлически определенной: при заданных диаметрах труб и узловых отборах расходы воды на участках распределятся таким единственным образом, при котором в каждом кольце будут сбалансированные потери, то есть сумма потерь напора на участках с движением воды в одном направлении (по часовой стрелке) будет равна сумме потерь напора на участках с движением воды в другом направлении (против часовой стрелки). Если считать при наблюдении изнутри кольца потери напора на участках с движением воды по часовой стрелке положительными, а против – отрицательными, то условие баланса потерь напора в кольцах выражается формулой $\sum h_i = 0$, которая доказывает, что разность напоров в точке выхода потоков и в точке их схода в кольце всегда равна потерям напора в ветвях труб, связывающих эти точки и выражает второе правило Кирхгофа.

Первоначально расходы на участках сети намечали до назначения диаметра труб, поэтому не было возможности учесть условие баланса потерь напора в кольцах, которое оказывается нарушенным:

$$\sum h_i = \pm \Delta h_i$$

где Δh_i – невязка.

Невязка означает, что при назначенных диаметрах расходы воды по участкам сети распределяются иначе, чем было намечено.

Гидравлический расчет кольцевой сети заключается в отыскании истинного распределения расходов на ее участках и соответствующих им потерь напора, при котором было соблюдено условие баланса потерь

напора в кольцах. Чем больше невязка, тем значительно отличаются первоначально намеченные расходы от истинных, так как допустимая величина невязки должна быть $\Delta h_i \leq 0,5\text{м}$.

Гидравлический расчет сети начинают с определения потерь напора на каждом расчетном участке по первоначально намеченным расходам и предварительно находят удельные сопротивления труб A и сопротивление участков $S=A \cdot l \cdot k$. Выражая потери напора по формуле

$$h = S \cdot q^2$$

Вычисляют алгебраическую сумму потерь напора в каждом кольце сети с учетом направления потоков воды в кольцах и составляют уравнения:

для I кольца

$$\sum_1 h = S_1 \cdot q_1^2 + S_2 \cdot q_2^2 - S_3 \cdot q_3^2 - S_4 \cdot q_4^2 = \pm \Delta h_1 \Delta$$

для II кольца

$$\sum_{II} h = S_5 \cdot q_5^2 + S_6 \cdot q_6^2 - S_2 \cdot q_2^2 - S_7 \cdot q_7^2 = \pm \Delta h_1$$

Если хотя бы в одном кольце невязка превысит допустимую величину, то сеть нужно увязывать и находить более близкое к истинному распределение расходов по участкам сети. Для этого первоначально намеченные расходы на участках исправляют на некоторую величину Δq , называемую поправочным расходом, который находят для каждого кольца в зависимости от значения невязки Δh . В кольце поправочный расход берут одинаковым для всех расчетных участков, так как в противном случае нарушится баланс расходов в узлах.

Задача увязки кольцевой сети усложняется тем, что все входящие в нее кольца, особенно смежные, гидравлически и взаимодействуют друг с другом. Изменение расхода на смежной линии при увязке одного кольца изменяет невязку соседнего кольца. Существует несколько методов увязки кольцевой сети.

Предположим, что в кольцевой сети, изображенной на рис. первоначально намеченные расходы дают недопустимые невязки: в I кольце $+\Delta h_I$, во II кольце $+\Delta h_{II}$, в III кольце $+\Delta h_{III}$.

Обозначим искомые поправочные расходы в кольцах соответственно через Δq_I , Δq_{II} , Δq_{III} . По знаку невязки можно определить, какие недогружены расходами и какие перегружены: например, положительная невязка $(+\Delta h)$ означает, что участки с положительным направлением токов перегружены, а с отрицательными – недогружены, и наоборот, при отрицательной невязке перегружены участки с отрицательным направлением токов воды и недогружены с положительным. Введем исправления в расчетные расходы на каждом участке, вычитая поправочный расход Δq на перегруженных участках кольца и прибавляя – на недогруженных и внося на смежных линиях две поправки со стороны каждого из смежных колец, после исправления расходов получим:

Для I кольца

$$S_1(q_1 - \Delta q_I)^2 + S_2(q_2 - \Delta q_I + \Delta q_{II})^2 - S_3(q_3 + \Delta q_I)^2 - S_4(q_4 + \Delta q_I)^2 = 0$$

Для II кольца

$$S_5(q_5 - \Delta q_{II})^2 + S_6(q_6 - \Delta q_{II} + \Delta q_{III})^2 - S_2(q_2 - \Delta q_I + \Delta q_{II})^2 - S_7(q_7 + \Delta q_{II})^2 = 0$$

Таких уравнений составляют столько, сколько колец в сети. Число неизвестных поправочных расходов Δq_I равно числу колец. Следовательно, из выше приведенных уравнений (2) можно найти поправочные расходы Δq_I , Δq_{II} , Δq_{III} для каждого кольца.

Решение системы квадратных уравнений (2) в общем виде при большом числе колец очень сложно, поэтому для их решения необходимо применять метод последовательных приближений (итерации). Он состоит в том, что достаточно точное решение достигается не сразу, а путем ряда последовательных операций, каждая из которых уточняет предыдущий результат.

Для преобразования уравнения (2) раскроем скобки, приведем подобные члены, а члены второго порядка, содержащие квадраты и произведения поправочных расходов (Δq_I^2 , Δq_{II}^2 , $\Delta q_I \cdot \Delta q_{II}$), в первом приближении опустим как сравнительно малые. Тогда в результате преобразования получим для I кольца

$$(S_1 q_1^2 + S_2 q_2^2 - S_3 q_3^2 - S_4 q_4^2) - 2\Delta q_I(S_1 q_1 + S_2 q_2 + S_3 q_3 + S_4 q_4) + 2S_2 q_2 \Delta q_{II} = 0$$

Первые четыре члена (взятые в скобки) есть невязка в первом кольце $+\Delta h_I$, а в скобках содержится сумма произведений Sq для всех участков

рассматриваемого I кольца. Обозначим ее $\sum_I (Sq)$ и тогда предыдущее уравнение

для I кольца примет вид

$$\Delta h_I - 2\Delta q_I \sum_I (Sq) + 2S_2 q_2 \Delta q_{II} = 0$$

Для II кольца

$$\Delta h_{II} - 2\Delta q_{II} \sum_{II} (Sq) + 2S_2 q_2 \Delta q_I + 2S_6 q_6 \Delta q_{III} = 0$$

Аналогично составляют уравнения для других колец.

В полученных линейных уравнениях члены, содержащие поправочные расходы смежных колец, отражают влияние этих колец на невязку рассматриваемого кольца. Для упрощения решения задачи в первом приближении эти члены можно опустить, хотя при этом точность результата первого приближения уменьшится. Из сокращенных уравнений в первом приближении уже легко получить выражения для определения поправочных расходов.

$$\Delta q_I = \frac{\Delta q_I}{2 \sum_I (Sq)} \quad \Delta q_{II} = \frac{\Delta q_{II}}{2 \sum_{II} (Sq)}$$

Вычислив $\Delta q_I, \Delta q_{II} \dots$, исправляют первоначальные расчетные расходы на участках и получают в первом приближении исправленные расходы.

Для I кольца

$$\Delta q'_1 = q_1 - \Delta q_I \quad q'_2 = q_2 - \Delta q_I + \Delta q_{II} \text{ и так далее}$$

Для II кольца

$$q'_5 = q_5 - \Delta q_{II} \quad q'_6 = q_6 - \Delta q_{II} + \Delta q_{III} \quad q'_2 = q_2 - \Delta q_I + \Delta q_{II}$$

По исправленным расходам первого приближения снова отыскиваем невязки в кольцах:

Для I кольца

$$S_1 q'^2_1 + S_2 q'^2_2 - S_3 q'^2_3 - S_4 q'^2_4 = \Delta h'_I$$

Для II кольца

$$S_5 q'^2_5 + S_6 q'^2_6 - S_2 q'^2_2 - S_7 q'^2_7 = \Delta h'_{II}$$

Если окажется, что невязки первого приближения все же превышают

допустимые, что вполне вероятно из-за допущенных неточностей, то вновь определяют поправочные расходы во втором приближении, пользуясь следующими формулами

$$\Delta q'_I = \frac{\Delta h'_I}{2 \sum_1^n (sq')}, \quad \Delta h'_{II} = \frac{\Delta h'_{II}}{2 \sum_1^n (sq')}$$

Так продолжают до тех пор, пока невязка во всех кольцах сети станет допустимой. Обычно после второго-третьего приближения сеть увязывается. Расчеты по увязке кольцевой сети сводят в таблицы. После увязки колец сети проверяют невязку по внешнему контуру сети, которая не должна превышать 1,5 м.

Расчетные расходы участков разветвленной сети находят следующим образом: на схеме сети показывают направление токов воды, потому что особенностью этой сети, является питание каждого узла, с одной стороны. Расходы определяют исходя из правила баланса, что сумма расходов, притекающих (+) к узлу, равна сумме расходов, вытекающих (–) из него. Пользуясь правилом баланса, вычисляют расчетные расходы на участках ($q_{\text{расч}}$), но если в тупиковой сети, кроме сосредоточенных расходов имеются распределенные, то расчетный расход на участках сети определяют по формуле

$$q_{\text{расч}} = q_{\text{тр}} + \alpha q_{\text{пут}}$$

где $q_{\text{тр}}$ – транзитный расход, который пропускается данным участком на последующие, л/с;

α – коэффициент, учитывающий соотношение путевого и транзитного расходов, $\alpha = 0,5$

$q_{\text{пут}}$ – путевой расход данного участка, л/с.

Для упрощения расчета путевые расходы приводят к узловым:

$$Q_{\text{узел}} = 0,5 \sum q_{\text{пут}} + \sum Q_{\text{соср}}$$

Определив расчетные расходы на участках, подбирают диаметры труб (d) и потери напора (h)/

3.3. Свободные напоры в водопроводной сети

Для определения напоров в начале сети и во всех ее узлах используют результаты расчета водонапорных сетей. Для определения напора в точках питания (у водонапорной башни, на насосной станции)

нужно знать требуемые напоры потребителей воды

Потребители воду разбирают в основном на некоторой высоте над поверхностью земли, чтобы обеспечить подачу воды на любой этаж, несмотря, что в зданиях водоразборные приборы установлены на каждом этаже. Для подачи воды на самый верхний этаж в зданиях в наружной водопроводной сети на вводе нужно иметь требуемую пьезометрическую высоту, зависящую от этажности здания.

Пьезометрическую высоту считают от поверхности земли и называют свободным напором (рис.3.2.1). Определяют пьезометрическую высоту по формуле

$$H_{\text{св}} = H_0 + h_{\text{и}} + \sum h$$

где H_0 – геометрическая высота расположения наивысшей точки водоразбора над поверхностью земли, м;

$h_{\text{и}}$ – свободный напор, который должен быть обеспечен у водоразборных приборов при изливе, м;

$\sum h$ – потери напора от наружной сети до точки водоразбора, м.

Максимальный напор у потребителей не должен превышать 60 м, а минимальный свободный напор в наружной сети хозяйственно-питьевого водопровода в соответствии с действующими нормами зависит от этажности зданий и составляет: одноэтажных – 10 м; двухэтажных – 14 м;

трехэтажных – 18 м, в то же время при работе водопровода во всех точках сети должен быть обеспечен свободный напор не менее нормативного.

Свободные напоры в любой точке сети определяют, как разность отметок пьезометрических линий и поверхности земли. Пьезометрические отметки для всех расчетных случаях (хозяйственно-питьевое водопотребление, при пожаре и др.) рассчитывают, исходя из обеспечения нормативного свободного напора в диктующей точке с учетом потерь напора на участках и геодезических отметок расположения точек водопроводной сети. При определении пьезометрических отметок задаются положением диктующей точки, которая имеет минимальный напор. Эта точка, как правило, располагается в наиболее неблагоприятных условиях, как по отношению удаленности от источника питания (сумма потерь напора будет наибольшая), так и в отношении геодезических отметок (высокие

геодезические отметки), поэтому в диктующей точке задаются напором равным нормативному.

В случае, если в какой-либо точке сети напор окажется меньше нормативного, это говорит о том, что положение диктующей точки расходов свободный напор, ее принимают за диктующую и расчет напоров в сети повторяют.

3.4. Расчет водопроводной сети при пожаре

Объединенные хозяйственно-питьевые и противопожарные водопроводы при возникновении пожара должны подавать сверх хозяйственно-питьевых и расход воды на тушение пожара. Во время пожара водопроводная сеть работает в форсированном режиме, а расчет сети в этом случае является проверочным – проверяют пропускную способность труб, диаметры которых подобраны из условия пропуска хозяйственного расхода и давления в трубах. Подача противопожарного расхода достигается усиленной работой водопроводных сооружений, созданием противопожарных запасов в резервуарах и резервных мощностей на насосных станциях, где устанавливают специальные противопожарные насосы. Исходными данными для расчета водопровода на случай пожара являются: противопожарные расходы и запасы воды, вероятное число одновременных пожаров, продолжительность пожаров и свободные напоры в сети при пожаротушении.

Во время пожара в сети идет не только противопожарный расход, но и максимальный хозяйственно-питьевой расход, за исключением расхода на поливы, на душевые и мойку полов и оборудования на предприятиях.

Объем неприкосновенного противопожарного и максимального хозяйственно-питьевого расхода воды в течение 3 часов. При расчетах допускают возможность пополнения резервуара во время пожара из источника при условии обеспечения бесперебойности подачи воды.

Свободный напор в водопроводной сети во время тушения пожара зависит от способа тушения. Существуют две системы пожаротушения: высокого и низкого давления.

По системе высокого давления пожар тушат непосредственно из сети с помощью пожарных рукавов, присоединенных к пожарным гидрантам. Свободный напор в сети водопровода высокого давления должен быть достаточным, чтобы подать воду на самую высокую точку

горящего здания по пожарному рукаву длиной 120 м и обеспечить вылет из ствола (брендспойта) компактной струи на высоту 10 м.

$$H_{\text{св.пож}} = H_{\text{з.л}} + 10 + \sum h \cong H_{\text{з.л}} + 28 \text{ м}$$

где $H_{\text{з.л}}$ – высота здания;

h – потери напора в рукаве и стволе.

Такой высокий напор создается в водопроводе специальными пожарными насосами, расположенными на насосной станции и готовыми к пуску через 5 минут после сигнала о пожаре.

По системе пожаротушения низкого давления вода из гидрантов забирается передвижными насосами, которыми оборудованы пожарные автомашины и нагнетается по рукавам к месту пожара с тем же напором, что и в случае использования системы высокого давления (рис.11.б) В водопроводной сети при пожаре поддерживается сравнительно небольшой свободный напор, равный 10 м.

Расчет водопровода на случай пожара состоит из поверочного расчета разводящей водопроводной сети и водоводов на подачу форсированного расхода при пожаре, определения подачи и напора противопожарных насосов на насосной станции, объема и места хранения противопожарных запасов воды. Противопожарный расход воды назначают в виде сосредоточенного узлового отбора в наиболее невыгодно расположенной точке (точках). При поверочном расчете сети на случай пожара диаметры труб на участках сети оставляют также, как и при расчете сети на максимальный хозяйственный расход. Первоначально расходы на участках сети назначают с учетом диаметра труб, но основные потоки направляют к месту пожара. После увязки сети вычисляют свободный напор при пожаре в точке питания (у водонапорной башни)

$$H_{\text{Б.пож}} = z_{\text{Д.пож}} + H_{\text{св.пож}} + \sum_B^{\text{Д}} h_{\text{пож}} - z_{\text{Б}}$$

Далее определяют свободные напоры во всех точках сети, которые не должны быть меньше свободного напора при пожаре, установленного нормами. Свободный напор в точке питания при пожаре $H_{\text{Б.пож}}$ отличается от высоты водонапорной башни $H_{\text{Б}}$, но если $H_{\text{Б.пож}} > H_{\text{Б}}$, то высота водонапорной башни не достаточна для создания нужных свободных напоров в сети в момент пожара. Увеличивать высоту башни, исходя из нужд пожаротушения невыгодно, потому что помимо повышения ее стоимости происходит и постоянный перерасход электроэнергии на подъем воды при нормальной работе водопровода. В

связи с этим при пожаре водонапорную башню выключают, а повышенный напор в точке питания

$H_{Б.пож}$ создают стационарным пожарным насосом, установленным на насосной станции (рис.3.4.1.а).

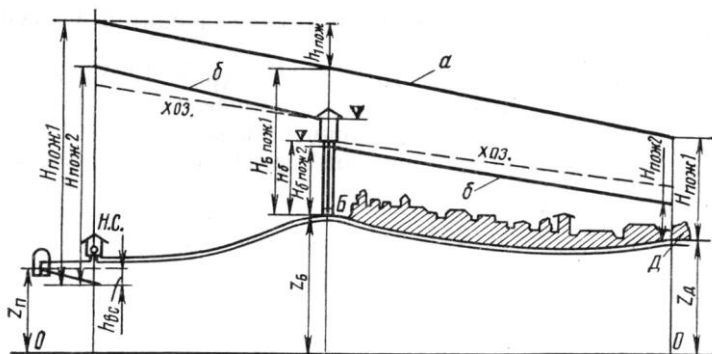


Рис.3.4.1 а Схема работы водопровода при пожаре:
а – пьезометрическая линия при пожаре с выключенной башней,
б – пьезометрическая линия при пожаре с включенной башней

При выключенной башне пожарный насос должен подавать полный расчетный расход сети при пожаре (рис.3.4.1.а)

$$H_{\text{пож}} = (z_{\text{б}} + H_{\text{Б.пож}}) + h_{\text{в.пож}} - (z_{\text{п}} - h_{\text{вс}})$$

где $h_{\text{в.пож}}$ – потеря напора в водоводе при пожаре;

$h_{\text{вс}}$ – полная высота всасывания насосов.

В башне хранят небольшой объем воды на первые 10 минут тушения пожара, пока не будет включен пожарный насос., а полный противопожарный запас воды рассчитанный на 3 часа тушения пожара хранят в подземном резервуаре при насосной станции.

В случае, когда $H_{\text{Б.пож}} \leq H_{\text{Б}}$ (рис.12.6), водонапорную башню не выключают, так как создаваемый ею напор достаточен для тушения пожара. Пожарный насос подбирают по полному расчетному расходу сети при пожаре, а напор насоса определяют по формуле

$$H_{\text{пож}} = (z_{\text{б}} + H_{\text{Б}} + H_{\text{п}}) + h_{\text{в.пож}} - (z_{\text{п}} - h_{\text{вс}})$$

где $z_{\text{б}}$ – отметка поверхности земли, на которой находится башня, м;

$H_{\text{Б}}$ – высота башни, м;

H_p – полный напор, м.

Противопожарный неприкосновенный запас воды в этом случае можно хранить как в резервуаре при насосной станции, так и в водонапорной башне.

4. Водоснабжение отдельных зданий

4.1. Системы и схемы водоснабжения зданий

Вид системы внутреннего водопровода в значительной степени зависит от соотношения гарантированного напора в наружной сети водопровода у ввода в здание и напора, требуемого для подачи воды к водоразборным устройствам. Гарантированный напор - минимальный напор в данной точке наружной водопроводной сети, который обеспечивается (гарантируется) при всех расчетных случаях. Гарантированный напор называют также избыточным, располагаемым или свободным.

По установленному оборудованию системы внутренних водопроводов различают:

- простые, обеспеченные напором воды из наружного водопровода без специальных водонапорных устройств;
- системы с водонапорными баками без повысительной насосной установки, работающими на подачу в сеть внутреннего водопровода в часы недостаточного напора в сети наружного водопровода;
- системы с водонапорным баком и местными периодически или непрерывно действующими насосными установками;
- системы с повысительной насосной установкой без водонапорного бака;
- зонные системы.

Простая система (4.1.), действующая под напором в наружном водопроводе, применяется в тех случаях, когда гарантированный напор в наружном водопроводе у места присоединения ввода постоянно больше требуемого напора, необходимого для нормальной работы всех водоразборных устройств, или равен ему. Такая система является самой простой и наиболее распространенной и характерна для зданий высотой до 5-6 этажей.

Система с водонапорным баком без повысительной насосной установки применяется в случаях, когда гарантированный напор в наружном водопроводе в часы наибольшего водопотребления ниже

требуемого напора для здания, а в другие часы суток - выше требуемого напора. В часы недостаточного напора потребители обеспечиваются водой из водонапорного бака, накапливающего ее в часы избыточного напора. Недостаток такой системы заключается в необходимости строительства технического этажа, расположенного выше последнего эксплуатируемого этажа.

Система с водонапорным баком и местными периодически или непрерывно действующими насосными установками (рис. 4.1.) применяется при недостаточности гарантированного напора, при отсутствии достаточного количества воды в наружном водопроводе и при неравномерном потреблении воды в здании в течение суток. Водонапорный бак, принимающий избыток воды или восполняющий ее недостаток при работе сети, включают в систему как регулирующую емкость для повышения экономичности работы повысительной насосной установки. При наличии бака работу повысительных насосов обычно автоматизируют.

Наружная сеть В 1

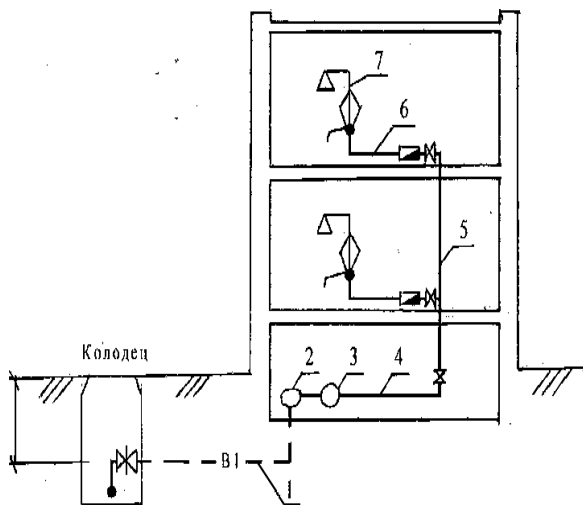


Рис. 4 1. Элементы хозяйственно-питьевого водопровода:
В1 – хозяйственно-питьевой водопровод; 1 – ввод водопровода;
2 – водомерный узел; 3 – насосная установка (при необходимости);
4 – разводящая сеть водопровода; 5 – водопроводный стояк;
6 – обратный клапан; 7 – водоразборная и смесительная арматура

Система с повысительной насосной установкой без водонапорного бака применяется, когда режим водопотребления в здании равномерен, а напор в наружном водопроводе постоянно или периодически ниже требуемого для здания. Повысительные насосы располагают в подвале здания или в центральном тепловом пункте при застройке города целыми микрорайонами.

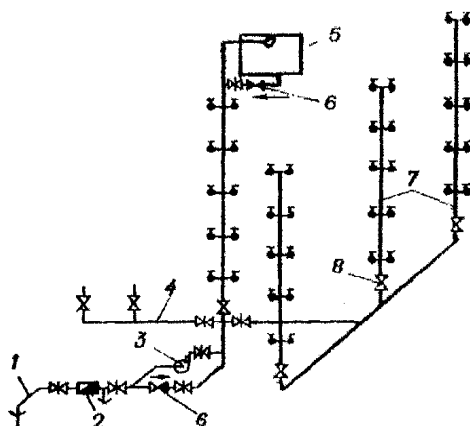


Рис.4.2. Система водоснабжения здания с водонапорным баком и повысительным насосом: 1 – ввод; 2 – водосчетчик; 3 – повысительный насос; 4 – магистральный трубопровод; 5 – водонапорный бак; 6 – обратный клапан; 7 – стояки; 8 – запорная арматура

Зонные системы водоснабжения применяются в высотных зданиях высотой более 50 м (17 и более этажей), когда напор в сети превышает максимально допустимый (60 м для хозяйственно-питьевого водопровода и 90 м - для противопожарного). При этом водопроводную сеть здания разделяют на самостоятельные зоны, не соединенные одна с другой. Высота зоны определяется максимально допустимым гидростатическим напором $H_{\text{доп}}$ в самой нижней точке сети (резьбового соединения или арматуры). Число зон n_3 в здании назначают в зависимости от числа этажей $n_э$ и высоты этажа $H_э$:

$$n_3 = \frac{n_э \cdot H_э}{H_{\text{доп}}}$$

Число этажей первой зоны $n_{з1}$, которая питается непосредственно от сети наружного водопровода, назначают в зависимости от гарантированного напора $H_{\text{гар}}$, принятого в ней у места присоединения внутренней водопроводной сети здания:

$$n_{з1} = \frac{H_{\text{гар}}}{4} - 1,5$$

Подача воды в водопроводные сети каждой последующей зоны производится отдельными повысительными насосами.

Если воду из водонапорного бака, размещенного в одном техническом этаже, передают насосами в бак, обслуживающий сеть другой зоны, то такая схема называется **последовательной** (рис. 4, *а*). Эта система имеет меньшую протяженность трубопроводов, но менее надежна в работе, требует установки насосных агрегатов на промежуточных этажах, что крайне нежелательно из-за вибрации и шума. Кроме того, к числу крупных недостатков подобной системы следует отнести неоднократное размещение регулирующих объемов, т.е. нерациональное распределение и использование строительного объема здания под инженерное оборудование.

Если воду подают в сеть каждой зоны повысительными насосами, размещенными централизованно в первом техническом этаже (в подвале), то такая схема называется **и параллельной** (рис. 4, *б*). Система отличается некоторым перерасходом труб, но централизованное размещение насосных агрегатов упрощает автоматизацию их работы и эксплуатацию. Увеличение длины труб, прокладываемых по этой схеме, не сопровождается значительным перерасходом металла (в весовых.)

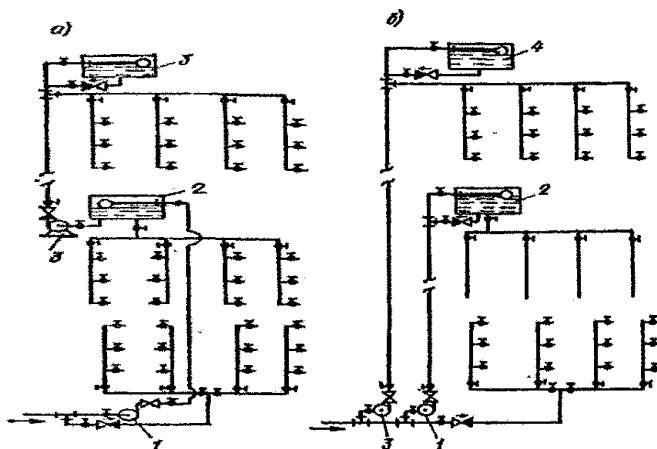


Рис. 4.3. Схемы зонного водоснабжения высотных зданий: а - последовательная; б - параллельная; 1 - центробежный насос 2-й зоны; 2 — напорно-запасный бак 2-й зоны; 3 - насос 3-й зоны; 4 – напорно-запасный бак 3-й зоны

Водопроводные сети состоят из магистральных и распределительных трубопроводов, распределительных стояков, а также подводов к водоразборной арматуре.

По устройству сети внутреннего водопровода бывают: тупиковые; кольцевые (рис. 4.4), делятся на кольцевание горизонтальное и вертикальное; комбинированные.

По расположению магистральных трубопроводов водопроводные сети бывают с верхней, нижней, горизонтальной (рис. 4.4) и вертикальной (рис. 4.6) разводкой.

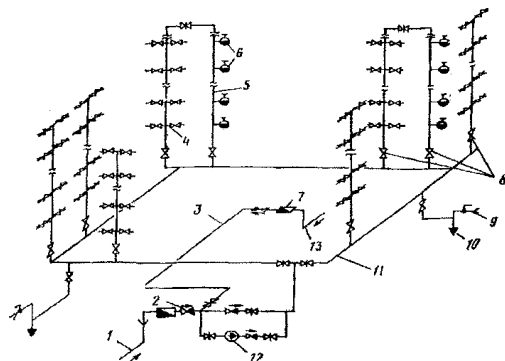


Рис. 4.4. Система водоснабжения здания с повысительной насосной установкой (сеть кольцевая с нижней разводкой): 1 - ввод №1; 2 - обратный клапан; 3 - перемычка; 4 - запорная арматура; 5 - пожарный стояк; 6 - пожарные краны; 7 - водомерный узел; 8 - запорные вентили; 9 - поливочный кран; 10 - спуск (пробка); 11 - кольцевая магистраль; 12 - насосная установка; 13 - ввод № 2

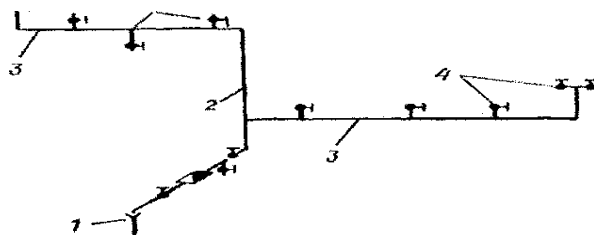


Рис.4.5. Система водоснабжения здания с повысительной насосной установкой (сеть кольцевая с нижней разводкой): 1 - ввод №1; 2 - обратный клапан; 3 - перемычка; 4 - запорная арматура; 5 - пожарный стояк; 6 - пожарные краны; 7 - водомерный узел; 8 - запорные вентили; 9 - поливочный кран; 10 - спуск (пробка); 11 - кольцевая магистраль; 12 - насосная установка; 13 - в

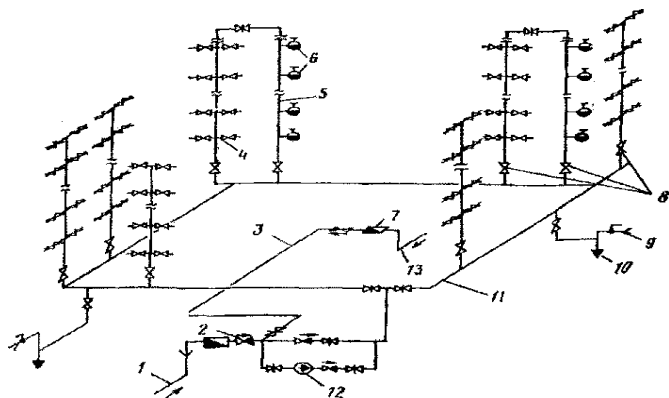


Рис.4.6. Схема водопроводной сети с вертикальной разводкой магистрали и с горизонтальными распределительными трубопроводами: 1 – ввод; 2 – магистральный трубопровод; 3 – распределительный трубопровод; 4 – подводки.

Тупиковые водопроводные сети предусматривают в зданиях, где допускается, перерыв в подаче воды при необходимости отключения отдельных участков для производства ремонтных работ, а также при числе пожарных кранов менее 12 (рис.4.7.). Это могут быть жилые, административные, а иногда и производственные здания.

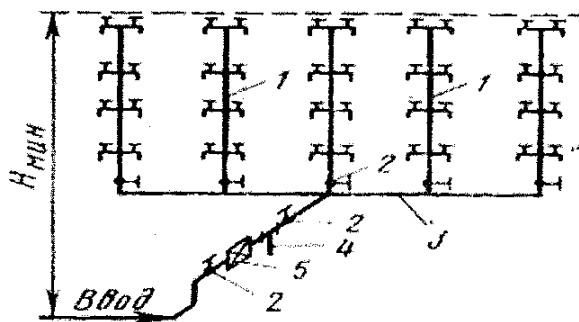


Рис. 4.7. Схема внутреннего водопровода с тупиковой разводкой: 1 – стояки; 2 – вентили; 3 – магистральный трубопровод; 4 – спускной кран

Кольцевые сети применяют в зданиях при необходимости обеспечения бесперебойного снабжения водой потребителей в

многоэтажных зданиях, в системах с 12 и более пожарными кранами, для жилых зданий с числом квартир более 400, клубов, театров и кинотеатров, для зданий, оборудованных автоматическими противопожарными системами.

Кольцевание сети может быть в горизонтальной (см. рис. 4) и вертикальной плоскостях (рис. 4.7). Кольцевые сети должны иметь не менее 2 вводов и запорную арматуру, дающую возможность произвести отключение отдельных участков сети без прекращения подачи воды другим потребителям.

Комбинированные водопроводные сети (см. рис. 4) состоят из кольцевых магистральных и тупиковых распределительных трубопроводов. Комбинированные сети применяют в зданиях с противопожарным водопроводом, оборудованным 12 и более пожарными кранами, в зданиях с большим разбросом водоразборных устройств.

Магистральные трубопроводы в сетях с нижней разводкой размещают в подвале или техническом подполье здания, а в сетях с верхней разводкой - под потолком верхнего этажа, на чердаке или в техническом этаже здания. При выборе места размещения магистрали внутреннего водопровода учитывают удобство монтажа и эксплуатации. Трубопроводы, прокладываемые в неотапливаемых помещениях, должны быть утеплены, если температура воздуха опускается ниже минус 2 °С. Устройство сети с верхней разводкой может быть дешевле, чем с нижней.

В то же время при прокладке магистралей на неотапливаемом чердаке требуются дополнительные расходы на утепление трубопроводов. В производственных зданиях, где имеется возможность прокладки магистральных трубопроводов по стенам под потолком верхнего этажа, а не на чердаке, верхняя разводка удобнее нижней в эксплуатационном отношении.

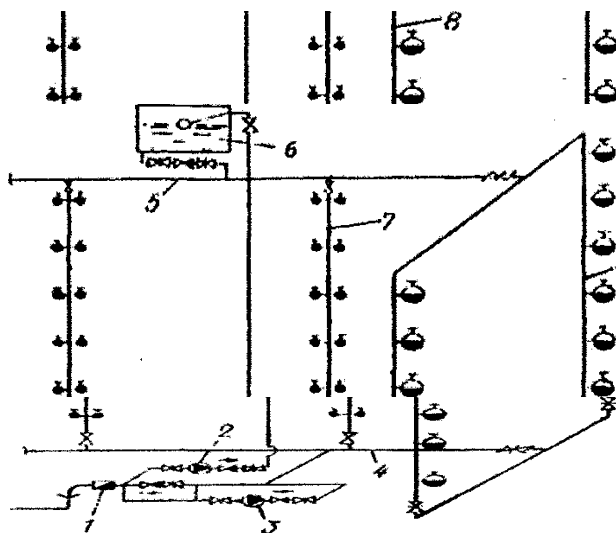


Рис.4.8. Схема комбинированной водопроводной сети с нижней и верхней разводками магистралей, с вертикальным кольцеванием объединенного хозяйственно-противопожарного водопровода: 1 - водосчетчик; 2 - хозяйственный насос; 3 - пожарный насос; 4 и 5 - нижняя и верхняя магистрали; 6 - водонапорный бак; 7 - распределительная сеть; 8 - вертикальное кольцевание пожарных стояков

Схема сети внутреннего водопровода выбирается с учетом размещения водоразборных устройств, режимов подачи и потребления воды, надежности снабжения потребителей водой, а также технико-экономической целесообразности. Особое внимание при проектировании уделяется рациональному размещению санитарно-технических устройств в здании. Например, санитарные узлы и водоразборную арматуру группируют поэтажно, располагая их друг над другом, трубопроводы прокладывают по кратчайшему расстоянию.

4.2. Основные элементы внутренних водопроводов

Системы внутреннего водопровода предназначены для бесперебойной подачи воды из наружной сети и распределения ее между потребителями внутри здания. Система внутреннего холодного водоснабжения состоит из следующих основных элементов: ввода, водомерного узла, установки для повышения давления, запасных и

регулирующих емкостей, внутренней водопроводной сети, трубопроводной и водоразборной арматуры.

Основным вводом внутреннего водопровода называется участок трубопровода, соединяющий наружный водопровод с внутренней водопроводной сетью до водомерного узла или запорной арматуры, размещенных внутри здания. К наружной водопроводной сети ввод присоединяют с помощью седелки (если нельзя отключить наружный водопровод), путем сварки трубы ввода, врезки тройника (при возможности отключения наружного водопровода) или с помощью заранее установленных соединительных частей. Седелка представляет собой чугунную фасонную деталь, которая крепится к трубе хомутом на резиновой прокладке для присоединения запорной арматуры (проходного крана или задвижки). По конструкции бывают резьбовые, фланцевые и раструбные. В месте присоединения ввода к сети наружного водопровода устраивают колодец диаметром не менее 700 мм, в котором размещают запорную арматуру (вентиль или задвижку) для отключения ввода при ремонте.

Глубина заложения труб вводов зависит от глубины заложения сети наружного водопровода, которая назначается с учетом глубины промерзания грунта. Наименьшая глубина укладки труб ввода (при отсутствии промерзания грунта) 1 м. Ввод укладывают с уклоном 0,005 в сторону наружной сети для возможности его опорожнения. Размер отверстия под ввод водопровода в стене фундамента или подвала должен быть не менее 400х400 мм. Кольцевой зазор между трубой ввода и стальной гильзой в сухих грунтах заделывают эластичным водогазонепроницаемым материалом, например, мятой глиной, смоляной прядью и цементным раствором марки 300, слоем 20-30 мм (рис. 8); в мокрых грунтах - с применением сальникового уплотнения или бетонного раствора марки 70. Устройство водопроводных вводов при грунтовых условиях типа II следует предусматривать в водонепроницаемых каналах с уклоном в сторону контрольных колодцев. Минимальную длину каналов следует принимать по таблице [] Допускается в просадочных грунтах устройство вводов в водонепроницаемых футлярах (при этом ввод водопровода и футляр выполняются из полимерных труб). В просадочных грунтах прокладка водопроводных вводов ниже подошвы фундаментов не допускается.

Число вводов определяется назначением и оборудованием зданий. Так, в зданиях (общественных, производственных), где недопустим перерыв в подаче воды, устраивают не менее двух вводов. Внутренние

водопроводы клубов, театров и досугово-развлекательных учреждений со сценой; зданий, оборудованных более чем 12 пожарными кранами, также присоединяют к сети наружного водопровода не делая в ту часть здания, где сосредоточено большое количество водоразборной арматуры. При равномерном распределении санитарно-технических приборов в здании предпочтительным является ввод в среднюю часть здания. Ввод прокладывают на расстоянии не менее 1,5 м от угла здания и несущих колонн. Между вводами хозяйственно-питьевого водопровода и выпусками канализации должно быть выдержано расстояние (по горизонтали) не менее 1,5 м при диаметре ввода до 200 мм включительно и не менее 3 м при диаметре более 200 мм. Вводы хозяйственно-питьевого водопровода, как правило, укладывают выше п канализационных линий. К наружной сети вводы присоединяют под прямым углом. С целью учета расхода воды непосредственно за вводом в зданиях устанавливают водомерные узлы, главным элементом которых являются водосчетчики воды (водомеры) или расходомеры – контрольно-измерительные интегрирующие приборы. менее чем двумя вводами.

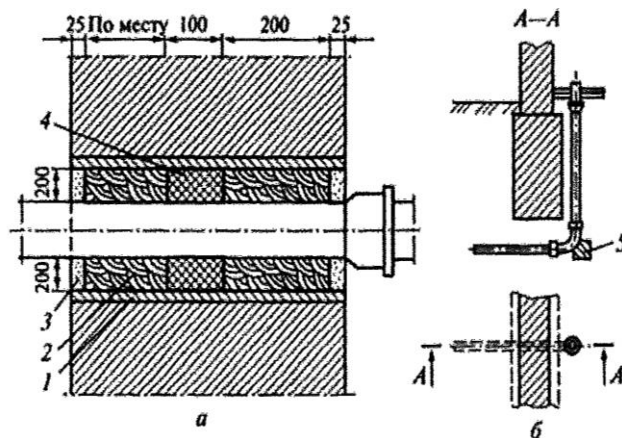


Рис.4.3.1. Конструкция ввода водопровода через стену подвала при сухих непросадочных грунтах: (а - через стену подвала в сухих грунтах; б под ленточным фундаментом): 1 - футляр из стальной трубы; 2 - мятая глина; 3 - заделка цементным раствором; 4 - смоляная прядь; 5 - бетонный упор

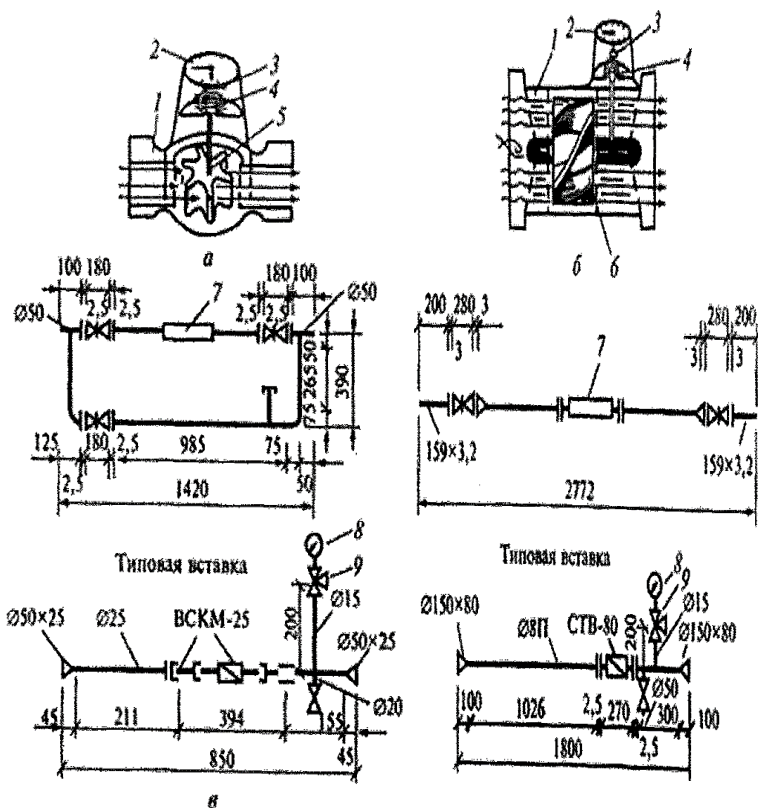


Рис. 4.3.2. Водомерные узлы унифицированных конструкций для крыльчатых и турбинных водомеров (а - водосчётчик крыльчатый; б - то же турбинный; в - водомерный узел с крыльчатым счётчиком; г - то же, с турбинным счётчиком): 1 - корпус; 2 - циферблат; 3 - счётный механизм; 4 - магнитная

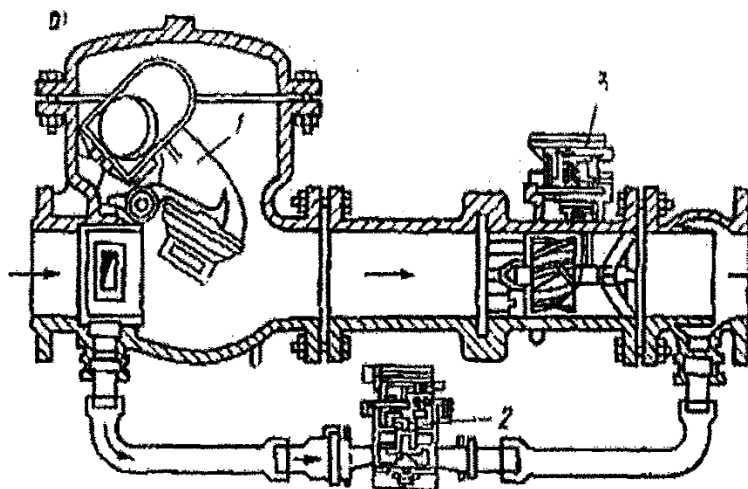


Рис. 4.3.3 Комбинированный скоростной счетчик воды: а - конструкция, б - схема параллельного соединения счетчиков; в - схема последовательного соединения счетчиков. 1 - клапан; 2 - крыльчатый счетчик; 3 - турбинный счетчик

При пересечении водопроводных и канализационных трубопроводов первые прокладывают выше вторых на 0,4 м (расстояние в свету); при меньшем расстоянии между ними водопроводные трубы должны быть уложены в металлическую гильзу с вылетом в сухих грунтах по 0,5 м в обе стороны от точки пересечения, а в мокрых грунтах - по 1 м.

Для предохранения трубопроводов от повреждения при осадке здания, при тепловых расширениях трубопровода между трубой и фундаментом здания должен быть зазор не менее 0,2 м. В этот зазор устанавливают сальник, который предохраняет попадание грунта и грунтовых вод трубопроводов в любые нежилые помещения, встроенные или пристроенные к жилым, производственным или общественным зданиям. На ответвлениях трубопроводов к отдельным помещениям, а также на подводках к отдельным санитарно-техническим приборам и к технологическому оборудованию счетчики воды устанавливаются по заданию на проектирование.

На раздельном противопожарном водопроводе счетчик воды

устанавливают. Счётчики воды делят на: крыльчатые, турбинные и комбинированные.

б), ось которой совпадает воды в здании для учета малых и больших расходов устанавливают скоростные комбинированные счетчики воды, состоящие из двух счетчиков: малого (крыльчатого) и большого (турбинного). Конструктивно комбинированные счетчики могут быть решены с параллельным и последовательным соединением путем установки переключающего клапана (рис. 10). Клапан (грузовой) комбинированного счетчика срабатывает при больших расходах воды, открывая доступ потоку к большому (турбинному) счетчику. Для определения общего расхода воды показания малого и большого счетчиков суммируются.

Диаметр условного прохода счетчика воды следует выбирать по среднечасовому расходу напора, которые регламентируются воды за период потребления (сутки, смену), который не должен превышать эксплуатационный расход по паспорту. При подборе счетчика воды следует учитывать его гидрометрические характеристики: средний часовой расход при длительной эксплуатации, предел чувствительности, область учета, а также допустимые значения потерь.

Потери напора в счетчике, м, определяют по формуле

$$h_{\text{вод}} = S \cdot q_{\text{расч}}^2$$

где S - гидравлическое сопротивление счетчика;

$q_{\text{расч}}$ - расчетный (максимальный) секундный расход воды, л/с.

Максимальный секундный расход воды определяют по формуле

$$h_{\text{сч}} = \frac{Q_{\text{hg}}^{\text{max}}}{Q_{\text{сч}}^{\text{max}}} \cdot 10,2$$

где $Q_{\text{hg}}^{\text{max}}$ - расчетный максимальный часовой расход, определяемый по секундному расходу, м³/ч;

$Q_{\text{сч}}^{\text{max}}$ - максимальный расход счетчика по паспорту при давлении 1 бар, м³/ч;

10,2 – коэффициент перевода бар в м водяного столба.

Выбранный счетчик следует проверять на выполнение следующих условий:

– на пропуск расчетного максимального часового или максимального секундного расхода; при этом потери напора в счетчиках воды не должны превышать для крыльчатых счетчиков 5 м, а для турбинных – 2,5 м;

– на пропуск расчетного максимального часового или максимального секундного расхода воды с учетом подачи расчетного противопожарного расхода воды; при этом потери напора в счетчике не должны превышать для крыльчатых счетчиков 10 м, а для турбинных - 5 м;

– на возможность измерения расчетных минимальных часовых расходов воды; при этом минимальный расход воды для выбранного счетчика (по паспорту прибора в зависимости от метрологического класса) не должен превышать расчетный минимальный часовой расход воды.

Если выбранный счетчик не соответствует условиям 1 или 2, то к установке следует принимать счетчик с ближайшим большим диаметром.

Если выбранный счетчик воды не соответствует условию 3, то к установке следует принимать счетчик с ближайшим меньшим диаметром.

Если счетчик не соответствует одновременно условиям 1 и 3 или 2 и 3, то следует предусматривать установку: комбинированного счетчика; счетчика метрологического класса С (по действующему стандарту на счетчики воды); нескольких счетчиков одинакового диаметра (устанавливаемых параллельно), число которых определяется расчетом.

Перед счетчиками (по ходу движения воды) следует предусматривать установку механических или магнитно-механических фильтров. Потери давления в фильтре не должны превышать 50 % потерь давления в счетчиках.

Счетчики на вводах в здания следует устанавливать в помещении с искусственным или естественным освещением и температурой воздуха не ниже 5 °С. Счетчики необходимо размещать так, чтобы к ним был доступ для считывания показаний, обслуживания, снятия и разборки на месте установки, для метрологической поверки. Для счетчиков с массой более 25 кг должно быть предусмотрено достаточное пространство над счетчиками для установки подъемного механизма и пол помещения для установки счетчика должен быть ровным и жестким.

Счетчики устанавливают на горизонтальных, вертикальных или наклонных участках трубопровода, если такая установка предусмотрена паспортом счетчика. При размещении квартирных счетчиков на вертикальных участках трубопроводов применяются счетчики, соответствующие метрологическому классу А.

При конструировании трубной обвязки узлов установки счетчиков

следует:

- с каждой стороны счетчика предусматривать установку запорной арматуры, обеспечивающей отключение воды на участке с установленным счетчиком; для квартирных счетчиков воды запорную арматуру устанавливают только до счетчиков (по ходу движения воды);
- с каждой стороны счетчиков предусматривать прямые участки трубопроводов, длина которых устанавливается в соответствии с требованиями паспортов приборов.

Различают водомерные узлы простые (без обводной линии) и с обводной линией. Обводную линию для общедомовых счетчиков холодной воды следует устраивать, если:

- имеется один ввод хозяйственно-питьевого или объединенного хозяйственно-противопожарного водопровода в здание или сооружение;
- счетчик воды не рассчитан на пропуск расчетного максимального секундного расхода воды (с учетом расхода на пожаротушение).

Все запорные устройства узлов установки счетчиков (водомерных узлов) должны быть опломбированы в открытом состоянии, а запорное устройство на обводной линии - в закрытом состоянии.

Запорное устройство на обводной линии счетчиков воды следует оборудовать электроприводом с пуском от кнопок, установленных у пожарных кранов, или от устройств (систем) противопожарной автоматики. При недостаточном для пожаротушения давлении воды от водопроводной сети здания или сооружения должно обеспечиваться открытие запорного устройства на обводной линии одновременно с пуском противопожарных насосов.

При двух вводах водопровода и установке счетчиков воды на каждом вводе обводные линии на счетчиках воды не предусматриваются.

Счетчики воды, устанавливаемые в жилых и общественных зданиях, должны иметь устройства формирования электрических импульсов, а также съемные или стационарные датчики электрических импульсов.

Счетчики воды, устанавливаемые в квартирах, при наличии диспетчерской системы учета водопотребления, должны иметь электронные устройства формирования считывания и передачи учетной информации, кроме радиопередатчиков.

Использование квартирных счетчиков воды в комплекте со встроенным обратным клапаном и дополнительной защиты от манипулирования показаниями счетчиков устанавливают по

требованиям организации, осуществляющей

Если выбранный счетчик воды не соответствует условию 3, то к установке следует принимать счетчик с ближайшим меньшим диаметром.

Если счетчик не соответствует одновременно условиям 1 и 3 или 2 и 3, то следует предусматривать установку:

- комбинированного счетчика; счетчика метрологического класса С (по действующему стандарту на водосчетчики);

- нескольких счетчиков одинакового диаметра (устанавливаемых параллельно), число которых определяется расчетом.

Перед счетчиками по ходу движения воды предусматривают установку механических или магнитно-механических фильтров. Потери давления в фильтре не должны превышать 50% потерь давления в счетчиках.

Счетчики на вводах в здания устанавливают в помещении с искусственным или естественным освещением и температурой воздуха не ниже 5 °С. Счетчики необходимо размещать таким образом, чтобы к ним был доступ для считывания показаний, обслуживания, снятия и разборки на месте установки, для метрологической поверки. Для счетчиков с массой более 25 кг предусматривают достаточное пространство над счетчиками для установки подъемного механизма. Пол помещения для установки счетчика должен быть ровным и жестким.

Счетчики устанавливают на горизонтальных, вертикальных или наклонных участках трубопровода, если такая установка предусмотрена паспортом счетчика. При размещении квартирных счетчиков на вертикальных участках трубопроводов применяются счетчики, соответствующие метрологическому классу А.

При конструировании трубной обвязки узлов установки счетчиков следует:

- с каждой стороны счетчика предусматривать установку запорной арматуры, обеспечивающей отключение воды на участке с установленным счетчиком; для квартирных счетчиков воды запорную арматуру устанавливают только до счетчиков (по ходу движения воды);

- с каждой стороны счетчиков предусматривать прямые участки трубопроводов, длина которых устанавливается в соответствии с требованиями паспортов приборов.

Различают водомерные узлы простые (без обводной линии) и с обводной линией. Обводную линию для общедомовых счетчиков

холодной воды следует устраивать, если:

- имеется один ввод хозяйственно-питьевого или объединенного хозяйственно-противопожарного водопровода в здание или сооружение;

- счетчик воды не рассчитан на пропуск расчетного максимального секундного расхода воды (с учетом расхода на пожаротушение).

Все запорные устройства узлов установки счетчиков (водемерных узлов) должны быть опломбированы в открытом состоянии, а запорное устройство на обводной линии - в закрытом состоянии.

Запорное устройство на обводной линии счетчиков воды следует оборудовать электроприводом с пуском от кнопок, установленных у пожарных кранов, или от устройств (систем) противопожарной автоматики. При недостаточном для пожаротушения давлении воды от водопроводной сети здания или сооружения должно обеспечиваться открытие запорного устройства на обводной линии одновременно с пуском противопожарных насосов.

При двух вводах водопровода и установке счетчиков воды на каждом вводе обводные линии на счетчиках воды не предусматриваются.

Счетчики воды, устанавливаемые в жилых и общественных зданиях, должны иметь устройства формирования электрических импульсов, а также съемные или стационарные датчики электрических импульсов.

Счетчики воды, устанавливаемые в квартирах, при наличии диспетчерской системы учета водопотребления, должны иметь электронные устройства формирования считывания и передачи учетной информации, кроме радиопередатчиков.

Использование квартирных счетчиков воды в комплекте со встроенным обратным клапаном и дополнительной защиты от манипулирования показаниями счетчиков устанавливают по требованиям организации, осуществляющей отпуск воды непосредственно абоненту, и согласовывают с органами местного самоуправления.

В системах внутренних водопроводов применяют неметаллические и металлические трубы и фасонные части к ним. В соответствии, с требованиями нормативных документов трубопроводные системы холодной воды должны выполняться из труб и соединительных деталей, срок службы которых при температуре воды 20 °С и нормативном давлении составляет не менее 50 лет, а при температуре 75 °С и нормативном давлении - не менее 25 лет. В объединенных

системах хозяйственно-противопожарного водопровода трубопроводы, предназначенные для подачи воды на пожаротушение, вводы и сети водопровода в подвалах, чердаках, технических этажах, противопожарные стояки и т.п., выполняют из металлических труб (кроме чугунных), а также из полимерных материалов. Систему раздельного противопожарного водопровода (вводы, сети, стояки) выполняют из металлических труб (кроме чугунных).

Для хозяйственно-питьевых и хозяйственно-противопожарных водопроводов устанавливают арматуру на давление 0,6 МПа, а для раздельных противопожарных водопроводов - на давление 0,9 МПа. В водопроводных сетях используют следующие типы арматуры: водоразборную (краны, смесители); запорную (вентили, шаровые краны, задвижки, затворы); регулировочную (регуляторы давления и расхода); предохранительную (обратные и предохранительные клапаны).

К трубопроводам арматуру присоединяют на резьбе или с помощью фланцев. Арматуру изготавливают из чугуна, стали, латуни, пластмассы. Для уплотнительных элементов клапанов используют прокладки и золотники из латуни, бронзы, резины, кожи, паронита и других материалов.

К водоразборной арматуре относятся краны водоразборные (рис. 12), туалетные, смесительные, лабораторные, банные, поливочные, писсуарные, смывные, пожарные и т.д. В зависимости от вида перемещения затвора водоразборную арматуру подразделяют на два типа: вентильную и пробковую. К водоразборной арматуре относятся также смесители, предназначенные для смешения холодной и горячей воды. Водоразборные пожарные краны диаметром 50 и 65 мм представляют собой вентили с наружной и внутренней резьбой на концах для ввертывания в тройники пожарного стояка и для присоединения быстросмыкающихся полугаек.

К запорной арматуре относятся пробковые проходные краны, запорные вентили (рис. 4.3.5) или задвижки - предназначены для отключения отдельных участков водопроводной сети. Поплавковые клапаны, как и смывные краны, являясь водоразборными устройствами, могут быть отнесены к самозапирающейся запорной арматуре. На трубопроводах диаметром более 50 мм в качестве запорной арматуры устанавливают задвижки, а на трубопроводах меньших диаметров - вентили или шаровые краны. Запорную арматуру устанавливают в следующих местах:

– у основания стояков хозяйственно-питьевой сети в зданиях, имеющих более двух этажей;

на всех ответвлениях от магистральных трубопроводов;

– на кольцевой магистральной сети;

– у основания пожарных стояков, на которых имеется пять пожарных кранов и более;

– на ответвлениях в каждую квартиру;

– на подводках к промывным канализационным устройствам (бачкам, смывным кранам, писсуарам);

– на подводках к водонагревательным приборам;

– перед приборами и аппаратами специального назначения;

на ответвлениях, питающих более пяти водоразборных устройств.

Регулировочная арматура предназначена для регулирования расхода и для поддержания определенного напора в сети.

К регулировочной арматуре относятся регуляторы давления

Регулировочная арматура предназначена для регулирования расхода и для поддержания определенного напора в сети.

К регулировочной арматуре относятся регуляторы давления (рис. 4.3.5),

регулировочные вентили и т. п. Регуляторы давления (напора)

понижают давление и поддерживают его "после себя", поэтому их

устанавливают на вводах в здания, в квартиры, на этажах многоэтажных

зданий.

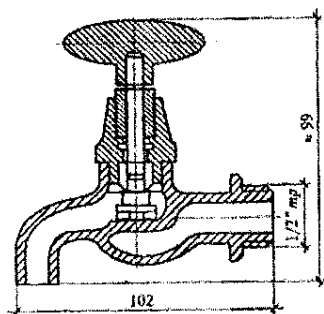


Рис.4.3.4. Кран водоразборный

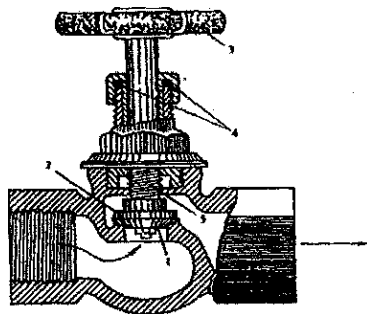


Рис. 4.3.5. Запорный вентиль: 1 - прокладка;
2 - золотник; 3- маховик; 4 - сальник;
5 - шток

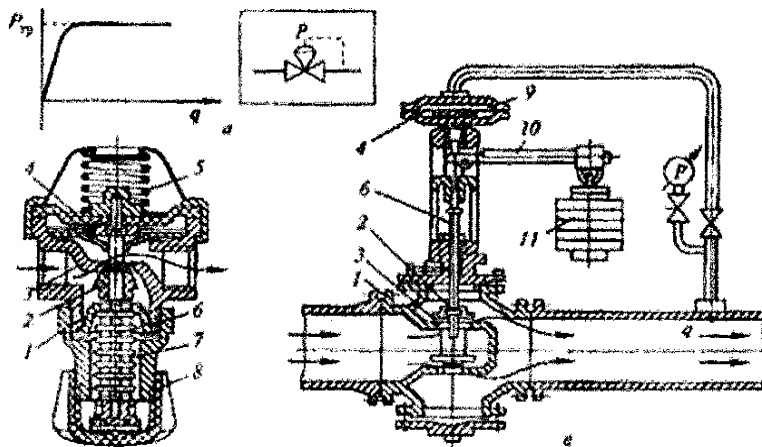


Рис. 4.3.6. Регуляторы давления: *а* - гидравлическая характеристика; *б* - стабилизатор давления; *в* - регулятор давления «после себя»; 1 - корпус; 2 клапан; 3 - седло; 4 - мембрана; 5 - пружина; 6 - шток; 7 - сифон; 8 - маховичок; 9 - камера; 10 - рычаг; 11 - груз

К предохранительной арматуре относятся предохранительные клапаны, обеспечивающие в сети или перед приборами напор, не превышающий заданный, а также обратные клапаны (рис. 4.3.7), обеспечивающие движение воды в трубопроводе только в одном направлении. Излишнее повышение напора в трубопроводах может привести к повреждению сети или присоединенного к ней оборудования. Обратные клапаны устанавливают, например, на вводах при наличии повысительных насосов на обводной линии, а также при наличии в системе водонапорного бака. При движении воды в трубопроводе в обратном направлении клапан прижимается водой к седлу и закрывает проход.

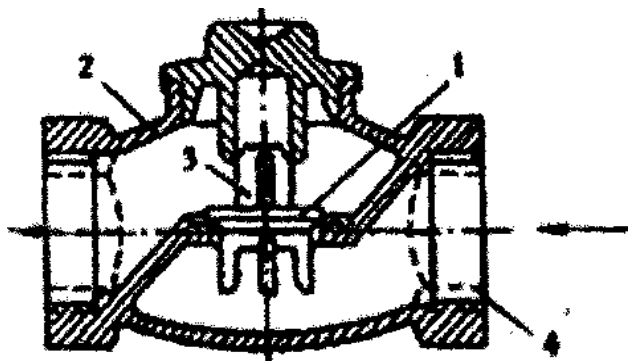


Рис. 4.3.7. Обратный клапан к золотникам: 1- золотник; 2 - корпус; 3 - шток; 4 - резьбовое соединение входа

Выполнение одних и тех же функций может осуществляться различными типами арматуры, имеющими одну или другую принципиальную конструкцию затвора.

Прокладку магистральных и разводящих сетей производят открыто или скрыто. Магистральные трубы рекомендуется прокладывать по поверхностям внутренних стен подвалов. Скрытая прокладка нежелательна в штробах и каналах наружных стен во избежание замерзания воды в трубах. Стояки и разводки прокладывают в шахтах, штробах, открыто по стенам. Скрытую прокладку производят в помещениях с повышенными требованиями к отделке.

Прокладка пластмассовых труб должна предусматриваться преимущественно скрытой: в плинтусах, бороздах, штробах, шахтах, каналах и в полах помещений. Допускается открытая прокладка подводок к водоразборной арматуре, а также в местах, исключаящих механическое повреждение труб.

Горизонтальные трубопроводы прокладывают с уклоном 0,002-0,005 в сторону стояков, вводов и других пониженных точек. В точках сходов уклонов устраивают тройник с заглушкой для спуска воды. В жилых зданиях, в квартирах допускается применение коллекторной системы с присоединением каждой водоразборной арматуры к стояку отдельными гибкими пластмассовыми подводками, которые прокладывают между стеной и фальшперегородками и в полах помещений.

4.3. Напоры в системах внутреннего водоснабжения зданий

Для нормальной работы внутреннего водопровода на вводе в здание должен быть создан такой напор (требуемый), который обеспечивал бы подачу нормативного расхода воды к наиболее высокорасположенному и наиболее удаленному от ввода (диктующему) водоразборному устройству и покрывал бы потери напора на преодоление сопротивлений по пути движения воды.

Напор в наружном водопроводе у места присоединения ввода может быть больше, равен или меньше напора, который требуется для внутреннего водопровода. Система водоснабжения должна обеспечить подачу воды ко всем водоразборным устройствам (арматуре). При этом потребитель должен получить расход воды не меньше нормированного.

Минимальный напор в наружном водопроводе у места присоединения ввода (в точке присоединения к городскому водопроводу) называют гарантийным. Гарантийный напор не должен быть менее 10 м вод. ст. При периодическом или постоянном недостатке напора в наружном водопроводе до требуемого для здания применяют установки для повышения напора: насосы (постоянно или периодически действующие), водонапорные баки, пневматические установки.

Требуемый напор должен обеспечить подъем воды до диктующего водоразборного устройства, возместить потери напора на преодоление всех сопротивлений по пути движения воды и создать необходимый рабочий (свободный) напор обеспечивающий нормативный расход:

$$H_{\text{тр}} = h_c + H_{\text{вд}} + H_f$$

где $H_{\text{г}}$ – геометрическая высота подъема воды, определяемая как разность отметок диктующего водозаборного устройства и отметки в точке подключения ввода к наружной сети, м;

h_c – сумма потерь напора по диктующему направлению, включая потери напора на вводе в здание;

$H_{\text{вд}}$ – потеря напора в счетчике, м;

H_f – свободный напор перед диктующим водоразборным устройством (рабочий напор), м, принимается по справочной литературе.

Величину требуемого напора ($H_{\text{тр}}$) сравнивают с величиной гарантийного напора в уличной сети ($H_{\text{гар}}$): если $H_{\text{тр}} < H_{\text{гар}}$ постоянно, то система водоснабжения принимается без насосов и баков. Расчет

водопровода на этом заканчивается.

Если $H_{тр} > H_{гар}$ в часы максимального водоразбора и $H_{тр} < H_{гар}$ часы минимального потребления воды, то применяют напорные или пневматические баки.

Если величина требуемого напора незначительно превышает гарантированный на (2-5 м), то можно увеличить диаметры труб на отдельных участках и обойтись без баков.

Если $H_{тр} > H_{гар}$ постоянно, то необходимо применять насосные повысительные установки с баками или без них.

Давление, которое должны создавать насосы (недостающий напор), равен разнице между требуемым напором и минимальным (гарантированным) напором в наружной сети:

$$H_{нас} = H_{тр} - H_{гар}$$

Максимальный напор или гидростатическое давление в системе хозяйственно-питьевого или хозяйственно-противопожарного водопровода на отметке наиболее низко расположенного санитарно-технического прибора не должен превышать 45 МПа (для зданий, проектируемых в сложившейся застройке не более 0,6 МПа).

В системе хозяйственно-противопожарного водопровода на время тушения пожара допускается повышать давление до 0,6 МПа на отметке наиболее низко расположенного санитарно-технического прибора.

В двух зонной системе хозяйственно-противопожарного водопровода (в схемах с верхней разводкой трубопроводов), в которой пожарные стояки используются для подачи воды на верхний этаж, напор не должно превышать 0,45 МПа на отметке наиболее низко расположенного санитарно-технического прибора потребителя второй зоны и 0,9 МПа на отметке наиболее низко расположенного пожарного крана.

4.4. Установки для повышения давления во внутренних водопроводах

Если гарантированное давление в сети наружного водопровода ниже требуемого значения, тогда устанавливают повысительные установки. К повысительным установкам для внутренних водопроводов относятся:

- насосные повысительные водонапорные установки;
- гидропневматические установки;
- водонапорные баки.

Насосные повысительные водонапорные установки. В системе водоснабжения применяются центробежные (консольные) и моноблочные насосы. Марка и количество рабочих насосов определяются расчётом, а число резервных в зависимости от категории системы водоснабжения зданий. Так, при питании внутренней сети водоснабжения от городского водопровода относится ко второй категории, поэтому рабочие агрегаты должны иметь по одному резервному агрегату для каждой группы насосов. Для увеличения производительности насосов применяют параллельные соединения насосов, а для увеличения давления в сети последовательные соединения насосов. Насосная установка (рис. 18) состоит из насоса, двигателя, всасывающего и напорного трубопроводов с задвижками, обратными клапанами и контрольно-измерительными приборами (манометры и термометры). Центробежные насосы крепят на одном валу с электродвигателем и устанавливают на фундаментной плите, возвышающейся над полом на 20 см. Расстояние между фундаментными плитами составляет 70 см, а до стен – 1 м.

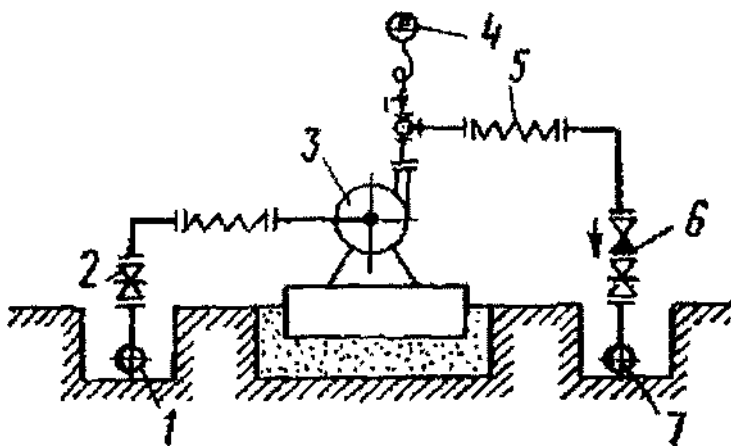


Рис. 4.5.1. Схемы обвязки насосов трубопроводами: 1— всасывающий трубопровод; 2 - запорное устройство (вентиль, задвижка); 3 - насос; 4 - манометр; 5 - вибровставка; 6- обратный клапан; 7 - напорный трубопровод

Для надёжной звукоизоляции под насосными агрегатами (насос, электродвигатель) устанавливают амортизаторы, эластичные подкладки и вставки против вибрации из эластичных патрубков длиной

не менее 1 м на всасывающем и напорном трубопроводах, а сам насосный агрегат подсоединяют к фундаментной плите болтами.

Насосы присоединяют к сети после водомерного узла по ходу движения воды (рис. 19), а насосы подающие воду на хозяйственно-питьевые, противопожарные и циркуляционные нужды размещают в тепловых пунктах бойлерных и котельных в сухих и тёплых изолированных помещениях высотой не менее 2,2 м. Не допускается размещать хозяйственные насосные установки кроме противопожарных под жилыми помещениями, аудиториями учебных заведений, больничными помещениями и детскими комнатами. Насосные установки противопожарного назначения допускается располагать на первых и подвальных этажах здания первой и второй степени огнестойкости при условии, что эти помещения отапливаются и огорожены не сгораемыми перегородками и имеют отдельный выход наружу или на лестничную клетку.

Требуемый напор повысительной насосной установки H_p , м, определяют по формуле

$$H_p = H_{geom} + \sum H_{l.tot} + H_f - H_d$$

где H_g – геометрическая высота подачи воды от насоса до наиболее высоко расположенного водоразборного прибора, м;

$\Sigma H_{l.tot}$ – сумма потерь давления в сети водопровода холодной или горячей воды (в узле ввода, счётчика, оборудовании, арматуре трубопроводов) по диктующему направлению до наиболее высоко расположенного водоразборного прибора, м вод. ст.;

H_f – свободный напор (давление на изливе) санитарно-технического прибора, принятый по паспорту производителя, м вод. ст.

H_d – наименьшее гарантированное давление в наружной водопроводной сети на вводе в здание, м вод. ст.;

1,2 – коэффициент запаса.

Производительность насосов выбирают в зависимости от схемы водоснабжения и системы станции подкачки.

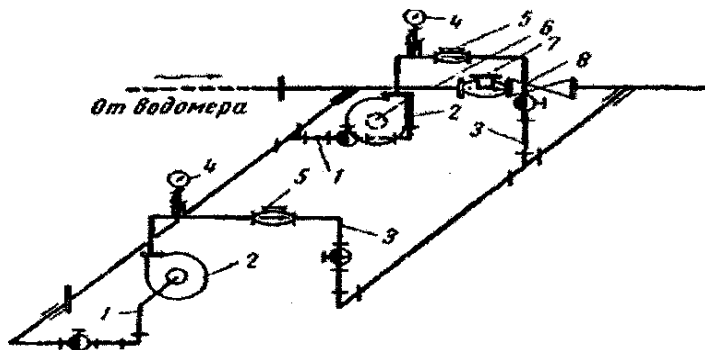


Рис. 4.5.2. Схема повысительной насосной установки: 1 - всасывающая труба; 2 - насос; 3 - напорная труба; 4 - манометр; 5, 7 - обратные клапаны; 6 - обводная линия; 8 - задвижка

Если насос работает в системе водоснабжения без водонапорного бака, то его подача должна соответствовать максимальному расчетному секунднему расходу воды л/с. В системах с водонапорным или гидропневматическим баком подача насоса должна соответствовать максимальному расчетному часовому расходу воды ζ , м³/ч. Режим работы насоса при этом определяют по интегральному или ступенчатому суточному графику водопотребления, стремясь к получению наименьшего регулирующего объема водонапорного бака.

Гидропневматические установки в зданиях служат для повышения давления во внутренней сети водопровода и создания запаса воды на случай пожара, а также для подачи части этой воды в домовую сеть в случае недостаточного давления в городской сети

Целесообразность применения гидропневматических установок должна быть обоснована соответствующим технико-экономическим расчетом. Пневматические установки бывают с переменным и постоянным давлением (рис. 4.4.3).

Пневматическая установка с переменным давлением состоит из двух герметических резервуаров (один предназначен для воды, второй для воздуха) и соединяющей их трубы. Для разъединения резервуаров на соединяющей их трубе установлен вентиль. В воздушный резервуар сжатый воздух подается с помощью компрессора, в водяной — вода из водопроводной сети. Под давлением сжатого воздуха (при открытом вентиле на соединяющей трубе) вода из резервуара выдавливается в разводящую сеть. В водяном резервуаре для поддержания

определенного уровня воды и предотвращения попадания воздуха в водопроводную сеть устанавливается поплавковый клапан. Для обеспечения необходимой высоты воздушной подушки и предотвращения попадания воды в воздушный резервуар в водяном резервуаре установлен воздушный клапан. Компрессор работает периодически для компенсации утечки воздуха через не плотности в соединениях.

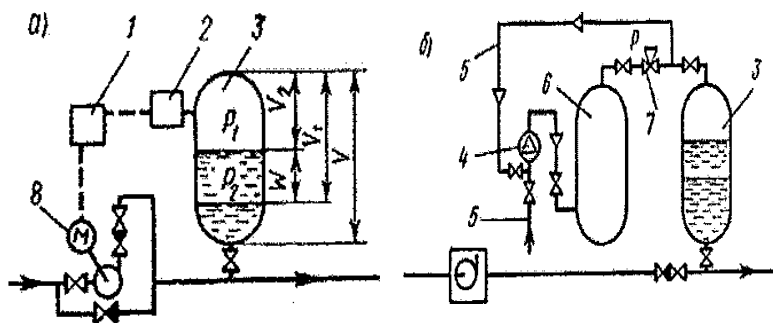


Рис. 4.5.3. Схемы гидропневматических установок: а - установка переменного давления; б - установка постоянного давления; 7 - шкаф управления; 2 реле давления; 3 - гидропневматический бак; 4 - компрессор; 5 - воздухопровод; 6 - воздушный бак; 7 - регулятор давления воздуха; 8 - двигатель насоса

В гидропневматических установках постоянного давления на трубе, соединяющей воздушный бак с гидропневматическим баком (гидробак), ставят редукционный клапан. Этот клапан при понижении уровня воды в гидропневматическом баке пропускает в него воздух под постоянным заданным давлением. При подъеме уровня воды в гидробаке воздух из него выпускается через специальный предохранительный клапан, также отрегулированный на заданное давление. Таким образом, в гидробаке может поддерживаться постоянное давление, что обеспечивает возможность надлежащего подбора насосов и их работы при оптимальных значениях КПД. Пневматические установки постоянного давления требуют непрерывной работы компрессора для восполнения сбросов воздуха при каждом наполнении водяного котла. Установки постоянного давления менее экономичны и используются в тех случаях (относительно редких), когда колебание напора в сети не может быть допущено, например в некоторых системах производственного

водоснабжения, где изменение напора воды вызывает недопустимые колебания расходов.

качестве альтернативы пневматическим установкам постоянного давления используют насосные установки с частотным приводом, где подача и давление насоса могут регулироваться в широком диапазоне в зависимости от изменения частоты вращения электродвигателя.

Водонапорные баки (резервуары) устанавливают с целью бесперебойного снабжения зданий водой (при постоянном или периодическом недостатке напора в наружной сети) и с целью создания неприкосновенного запаса воды на пожарные или технологические нужды.

Водонапорные баки (резервуары) устанавливают с целью бесперебойного снабжения зданий водой (при постоянном или периодическом недостатке напора в наружной сети) и с целью создания неприкосновенного запаса воды на пожарные или технологические нужды.

Полный объем водонапорного бака складывается из регулирующего и запасного объемов. Регулирующий объем воды в баках предназначен для аккумуляции воды, при колебании расходуемой потребителями, а запасной объем для сохранения запаса воды необходимого на противопожарные или технологические нужды. Регулирующий объем бака, м^3 , для системы без насосной установки определяется по формуле

$$V_p = Q \cdot T$$

где V_p – регулирующий объем бака, м^3 ;

Q – среднечасовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$, в здании за время питания сети внутреннего водопровода из бака;

T – время, ч, в течение которого вода при недостаточном напоре в наружной сети поступает в сеть внутреннего водопровода из бака.

Обычно регулирующая емкость составляет от 50 до 80 % суточного расхода воды в здании.

Регулирующий объем воды для водонапорного бака с насосной установкой при её производительности равной или превышающей максимальный часовой расход определяется по формуле

$$V_p = \frac{q}{4n}$$

где q – часовой расход воды, подаваемый насосами, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n – допустимое число включений насосной установки.

Запасной объем бака определяется противопожарными или производственными требованиями. Неприкосновенный противопожарный запас воды определяют из расчета 10-минутной продолжительности тушения пожара при максимальном водопотреблении, а при автоматическом пуске насосов - 5-минутной продолжительности тушения пожара. Запас воды в баке для хозяйственно-питьевых нужд должен составлять при ручном пуске насосов не менее 20 % и при автоматическом пуске насосов не менее 5 % суточного расхода воды в здании,

Если в здании имеется объединенный хозяйственно-питьевой и противопожарный водопровод, а наружное пожаротушение предусматривается из водоемов, то емкость водонапорного бака определяется из расчета хранения в нем неприкосновенного запаса воды, необходимого для обеспечения работы диктующего внутреннего пожарного крана в течение 1 ч, при однократном расходе воды на другие нужды, но без учета расхода воды на групповые душевые установки.

Водонапорные баки размещают в специальных пристройках, башнях, на чердаках, технических этажах. Помещение для баков должно быть изолировано, оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией, освещением и отоплением.

Объем баков составляет 0,5-20 м³ в зависимости от объема здания, режима водопотребления и режима подачи воды в баки. В здании используют не менее двух баков, чтобы обеспечить бесперебойную подачу воды на случай чистки и ремонта. Водонапорные баки могут быть круглыми или прямоугольными в плане. Изготавливают их из листовой стали и во избежание коррозии окрашивают внутри и снаружи масляной краской, приготовленной по рецептуре, согласованной с органами санитарного надзора. Сверху баки закрывают крышками, в которых устраивают люки для доступа внутрь баков. На рис. 21 показаны принципиальные схемы обвязки баков трубопроводами.

Под баком на расстоянии не менее 50 см от его дна устанавливают поддон для сбора конденсирующейся влаги. Расстояние между баком и перекрытием принимают не менее 0,6 м, между баком и стенами - не менее 0,7-1 м. Подающий трубопровод оборудуется, как правило, двумя поплавковыми клапанами. Диаметр подающего трубопровода определяется расчетом. Если подающий трубопровод объединяют с отводящим, то на отводящем участке устанавливают обратный клапан и задвижки. Переливной трубопровод подводят с разрывом струи к

промежуточному бачку, соединенному гидравлическим затвором (сифоном) с канализационным или водосточным стояком. Диаметр переливного трубопровода в 2 раза больше диаметра подающего трубопровода. Диаметр спускного трубопровода равен 40-50 мм, сливного с поддона – 25 мм, сигнального 15-20 мм. Сигнальный трубопровод присоединяется к баку на 5 см ниже переливной трубы.

При проектировании внутреннего водопровода с баками следует учитывать их существенные недостатки: необходимость в специальных помещениях, значительные нагрузки на перекрытие и, как следствие - его удорожание, необходимость в периодической чистке баков и обеспечении циркуляции воды с целью предотвращения ухудшения ее качества.

4.5 Внутреннее холодное водоснабжение

4.5.1. Классификация систем холодного водоснабжения зданий

Внутренним водопроводом называются водопроводные системы, получающие воду из наружного водопровода и подающие ее к водоразборным устройствам, расположенным внутри здания или в группе зданий под требуемым напором, в необходимом количестве и соответствующего качества.

Снабжение водой зданий и отдельных объектов может осуществляться от наружной водопроводной сети (населенного пункта, предприятия) - централизованное водоснабжение или от собственного местного (подземного или поверхностного) источника водоснабжения - децентрализованное водоснабжение.

Системы внутренних водопроводов по сфере обслуживания, учитывая качество потребляемой воды, а также санитарно-гигиенические, технологические и технико-экономические требования бывают:

- единые, подающие воду на все нужды: хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные;
- отдельные, не связанные друг с другом;
- объединенные (полураздельные): хозяйственно-противопожарные, производственно-противопожарные.

Для поливки дворов, тротуаров, мостовых, газонов и территорий промышленных предприятий иногда устраивают поливочный водопровод. Чаще всего для этих целей, а также для мытья полов

производственных и вспомогательных помещений зданий на сетях внутридомовых водопроводов устанавливают поливочные краны.

По способу использования воды системы внутреннего водопровода промышленных предприятий бывают:

- прямооточные системы водоснабжения: предусматривают полное использование воды на технологические нужды или частичное использование с последующим сбросом в канализацию;

- оборотные системы: обеспечивают многократное использование одной и той же воды с восстановлением ее первоначальных качественных характеристик (например, система водоснабжения автомоек);

- системы с повторным использованием воды: предусматривают подачу воды к одной группе потребителей с частичным использованием ее качественных характеристик, после чего эта вода передается другой группе потребителей для дальнейшего ее использования.

В системах внутренних водопроводов применяют неметаллические и металлические трубы и фасонные части к ним. В соответствии, с требованиями нормативных документов трубопроводные системы холодной воды должны выполняться из труб и соединительных деталей, срок службы которых при температуре воды 20 °С и нормативном давлении составляет не менее 50 лет, а при температуре 75 °С и нормативном давлении - не менее 25 лет. В объединенных системах хозяйственно-противопожарного водопровода трубопроводы, предназначенные для подачи воды на пожаротушение, вводы и сети водопровода в подвалах, чердаках, технических этажах, противопожарные стояки и т.п., выполняют из металлических труб (кроме чугунных), а также из полимерных материалов. Систему раздельного противопожарного водопровода (вводы, сети, стояки) выполняют из металлических труб (кроме чугунных).

Водомерный узел предназначен для контроля работы внутренней сети (для измерения расхода воды и давления во внутренней сети). Водомерный узел располагают в сухом, теплом и нежилом помещении (подвал или центральный тепловой пункт) в доступном для осмотра месте и иметь высоту не менее 2,2 метра.

4.5.2. Определение диаметров и потерь напора в водопроводной сети холодного водоснабжения.

Зная расход воды, протекающей по трубопроводу, выбирают его

диаметр, но для этого нужно знать минимума приведенных затрат РЗ на строительство Р_{ст} и эксплуатацию Р_{эк} за расчетный срок Т_{ок}. Приведенные затраты.

Величина Р_{ст} определяется стоимостью труб, их транспортировки, разработки траншей, укладки и т. д. Эксплуатационные затраты Р_{эк} — сумма двух составляющих: стоимости электроэнергии Р_{эл}, затрачиваемой на преодоление потерь напора в трубопроводе и подъем воды на заданную отметку, а также затрат Р_а, представляющих суммарную стоимость работ по ремонту и отчислений на амортизацию.

Величина Р_а принимается как процент R от стоимости Р_{ст},

$$P_a = \frac{R \cdot P_{ст}}{100} \quad (4.1.2.1)$$

В этом случае

$$P_{пр} = \frac{P_{ст}}{T_{ок}} + \frac{P_{ст} \cdot R}{100} + P_{эл} = P_{ст} \left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R}{100} \right) + P_{эл} \quad (4.1.2.2)$$

Расход воды, идущий по трубам определяют по формулам

$$Q = \omega \cdot v \quad Q = \frac{\pi \cdot d^2 V}{4} \quad (4.1.2.3)$$

где ω — площадь поперечного сечения трубы, м²;

d — диаметр трубы, м;

v — скорость движения воды.

Скорость определяет взаимосвязь между диаметром трубопровода d и расходом воды Q.

При расчете расхода воды идущему по трубопроводу возрастание скорости приводит к уменьшению диаметра трубопровода и, наоборот, увеличение диаметра приведет к уменьшению скорости движения воды. Это изменение оказывает влияние на приведенные затраты.

Потери напора в напорных трубопроводах определяют по формулам гидравлики:

$$h = \frac{\lambda v^2 l}{2gd} \quad \text{или} \quad h = \frac{K \cdot Q^2 l}{d^m}$$

где λ , и K — коэффициенты потерь напора);

l — длина трубопровода;

β и m — показатель степени при расходе и диаметре;

g — ускорение свободного падения.

Коэффициент потерь напора определяют по формуле

$$K = \frac{8\lambda}{q \cdot \pi^2}$$

С возрастанием скорости движения воды в трубопроводе потери напора растут. Это приводит к увеличению требуемой мощности насосных агрегатов, подающих воду:

$$N = \frac{Q(H_o + h)}{102\eta}$$

где H_o — геометрическая высота подъема воды;

η — КПД насосных агрегатов.

В результате растут затраты энергии на подъем воды $P_{эл}$. Одновременно с увеличением скорости (v) происходит уменьшение требуемого диаметра (d) труб для транспортирования расхода Q , а следовательно, уменьшается строительная стоимость трубопровода $P_{ст}$. Приведенная стоимость может быть представлена как в функция скорости v , так и в функция диаметра d .

Характер изменения величины $P_{пр}$ и ее составляющих в функции указанных величин

$$P_{ст}\left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R}{100}\right) \text{ и } P_{эл} \text{ приведен на рис. 3.5.}$$

Скорость и диаметр, отвечающие минимуму приведенных затрат, определяются наименьшими ординатами кривых $P_{пр}$.

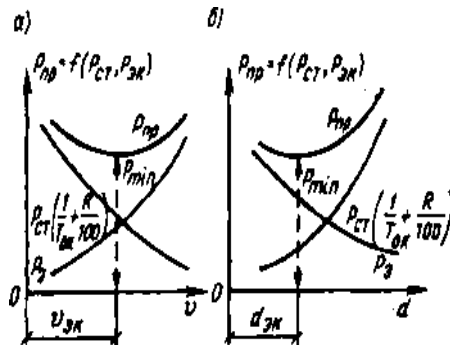


Рис. 4.1.2.1. Характер изменения приведенных затрат в функции скорости (а) и диаметра (б)

Диаметры труб на участках сети зависят от средней экономической скорости, соответствующей минимальным строительным и эксплуатационным затратам. Так как скорость может изменяться в широких пределах, то расчет по определению экономического диаметра труб будет не точным, поэтому его определяют по приведенным затратам.

Для отыскания оптимальных значений d_{jk} каждого участка необходимо функцию приведенных затрат $R_{пр}$ продифференцировать по d_{jk} и приравнять нулю. В результате получим

$$q_{ik} = \frac{1}{\alpha+m} \cdot Q^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot q_{ik}^{\frac{\beta}{\alpha+m}}$$

Здесь экономический фактор

$$\mathfrak{Z} = \frac{8760 \cdot \sigma \cdot \gamma \cdot K \cdot}{102\eta \cdot \alpha \cdot b \left(\frac{1}{T_{ок}} + \frac{R}{100} \right)}$$

характеризует условия строительства и эксплуатации системы

Для условий водоснабжения диаметры труб(м) определяют по формуле с цифровыми значениями, предложенной Н.А.Карамбиновым

$$d_{эк} = \mathfrak{Z}^{0,15} \cdot q^{0,43} \cdot C^{0,28}$$

Вычисленные экономически наивыгоднейшие диаметры, как правило, не соответствуют ближайшим стандартным диаметрам труб, выпускаемых промышленностью. При применении труб стандартных диаметров приведенные затраты тем больше, чем значительнее отклонение принятого сортаментного диаметра от оптимального.

Для возможности выбора наивыгоднейших стандартных диаметров необходимо найти значения «предельных» расходов, при которых приведенные затраты для труб ближайших сортовентов будут равноценны. Их находят путем сопоставления единичных приведенных затрат для двух труб смежных по сортаменту диаметров.

График для определения предельных расходов приведен на рис. 4.1.2.2. По оси ординат отложены отношения приведенных затрат $R_{пр}$ для труб стандартного диаметра к приведенным затратам $R_{пронт}$ для труб оптимального диаметра; по оси абсцисс – значения расхода Q . Каждому сортаментному диаметрам d_1 , d_2 и т. д. соответствует

оптимальное значение Q_2 и Q_3 т. д.

$$d_{ik} = \left(\frac{K}{H} \cdot \sum d_{ik}^{\alpha\beta(\alpha+m)} \cdot l_{ik} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot q_{ik}^{\frac{\beta}{\alpha+m}}$$

где q_{ik} – расход воды, протекающей по участку;

$\mathcal{E}$ – экономический фактор, определенный для конкретных условий строительства и эксплуатации;

$\mathcal{E}_T$ – экономический фактор, принятый при составлении таблицы предельных расходов.

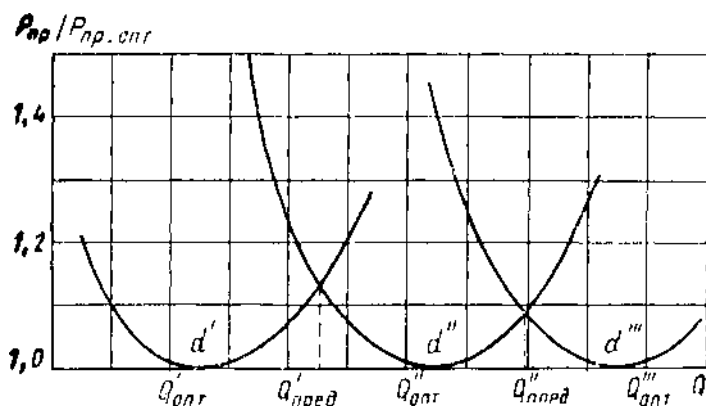


Рис. 4.1.2.2. График определения предельных расходов

Диаметры, полученные расчетом, округляют до ближайшего стандартного. В практике проектирования водопроводных сетей при определении экономически наивыгоднейших диаметров и потерь напора пользуются таблицами Ф.А.Шевелева, в которых приведены значения экономического фактора $\mathcal{E}$ и соответствующие им параметры гидравлического расчета сетей.

Экономически наиболее выгоднейшие диаметры водопроводной сети могут быть найдены аналитически для любых конфигураций сети и условий питания.

4.5.3. Гидравлический расчет внутреннего холодного водопровода

Системы холодного водопровода должны обеспечивать подачу воды (расход), соответствующую расчетному числу водопотребителей или установленных санитарно-технических приборов [1].

Для гидравлического расчета холодного водопровода и выбора оборудования используются следующие расчетные расходы холодной воды:

q^c – максимальный секундный расход холодной воды, л/с;

q_{hr}^c – максимальный часовой расход холодной воды, м³/ч;

q_T^c – средний часовой расход холодной воды, м³/ч;

$q_{hr,min}^c$ – минимальный часовой расход холодной воды, м³/ч;

Q^{max} – расход холодной воды в сутки со средним за год водопотреблением, м³/сут.

Расчетные расходы воды в водопроводах холодной воды определяются в зависимости от:

q_o^c – секундного расхода воды, л/с водоразборной арматурой, отнесенной к одному прибору, определяется для отдельных приборов в соответствии с [1, прилож. А, табл.А];

q_{hr}^c – часового расхода воды): для одинаковых водопотребителей - по [1]); для различных водопотребителей в зависимости от вероятности использования санитарно-технических приборов для каждой группы водопотребителей;

$q_{hr,u}^c$ – норм расхода воды разными видами потребителей в сутки со средним за год водопотреблением - по [1, табл];

– вида и общего числа потребителей воды или от вида и общего числа санитарно-технических приборов для водопровода в целом или для отдельных участков расчетной схемы сети водопровода для различных приборов, используемых разными водопотребителями в зависимости от P_i^c вероятности действия санитарно-технических приборов.

При неизвестном числе санитарно-технических приборов (мест водоразбора) допускается принимать число приборов равным числу потребителей.

Величина секундного расхода (q_o^c) которого, принимается: для отдельных приборов или для различных приборов, обслуживающих одинаковых водопотребителей по [1];

для различных приборов, используемых разными

водопотребителями - в зависимости от P_i^c вероятности действия санитарно

Секундный расход холодной воды, л/с, водоразборной арматурой, отнесенный к одному прибору, определяется: для отдельных приборов в соответствии с [1, приложение А (таблица А.1)]; для различных приборов, обслуживающих одинаковых водопотребителей на расчетном участке тупиковой сети в соответствии с [1, приложение А (таблица А.2)]; для различных приборов, используемых разными водопотребителями, на расчетном участке тупиковой сети по формуле

$$q_o^c = \frac{\sum_i^m N_i \cdot P_i^c \cdot q_{oi}^c}{\sum_i^m N_i \cdot P_i^c}$$

где N – количество санитарно-технических приборов;

m – количество групп водопотребителей;

q_{oi}^c – секундный расход холодной воды, л/с, водоразборной арматурой (прибором), принимаемый для каждой группы водопотребителей в соответствии с [1, приложением А (таблица А.2)].

При устройстве кольцевой сети расход воды Q_o следует определять для сети в целом и принимать одинаковый расход воды для всех ее участков; P_j^c - вероятность действия санитарно-технических приборов, определяемая по формулам:

- при одинаковых водопотребителях:

$$P_i^c = \frac{q_{hr,u}^c \cdot U}{3600 \cdot q_o^c \cdot N}$$

$$\frac{K}{N} \cdot \sum d_{ik}^{\alpha\beta(\alpha+m)} \cdot l_{ik}$$

где $q_{hr,u}^c$ — норма расхода холодной воды потребителем в час наибольшего водопотребления, определяется по [1, приложение А (таблица А.2)]; и - количество водопотребителей.

U – при разных потребителях

$$P_i^c = \frac{\sum_i^m N_i \cdot P_i^c}{\sum_i^m N_i}$$

В жилых и общественных зданиях, по которым отсутствуют данные о расходах воды и технических характеристиках санитарнотехнических

приборов, секундные расходы холодной воды допускается принимать равными:

$$q_o^c = 0,2 \text{ л/с.}$$

Максимальный секундный расход холодной воды на расчетном участке сети q_o^c , л/с, вычисляют по формуле

$$q = 5 \cdot q_o^c \cdot \alpha$$

где q_o^c – секундный расход холодной воды, л/с, идущий от водоразборной арматурой (прибором), величина которого принимается по [1, табл. А.2)];

α – коэффициент, определяемый в соответствии с [1, табл. Б.1 и Б.2)] в зависимости от общего числа приборов N и P_{hr}^c вероятности их действия на расчетном участке.

$$NP_{hr}^c = \frac{q_{hr}^c \cdot U}{3600 \cdot q_o^c}$$

При отсутствии данных о числе санитарно-технических приборов при одинаковых водопотребителях для определения коэффициента α используется значение NP_{hr}^c вычисляемое по формуле

$$NP_{hi}^c = \frac{q_{hr,u}^c \cdot U}{3600 \cdot q_o^c}$$

При отсутствии данных о числе санитарно-технических приборов при разных водопотребителях для определения коэффициента α используется значение NP_{hr}^c вычисляемое по формуле

$$NP^c = \sum_i^m N_i \cdot P_i^c$$

Расход воды на концевых участках сети принимают по расчету, но не меньше максимального секундного расхода воды одним из установленных санитарно-технических приборов.

Максимальный часовой расход холодной воды q_{hr}^c , м³/ч, рассчитывают по формуле

$$q_{hr}^c = 0,005 q_{ohr} \cdot \alpha_{hr}$$

где q_{hr}^c – часовой расход холодной воды величина которого

принимается:

при одинаковых водопотребителях в соответствии [1, прилож. А, табл. А1)], для каждой группы водопотребителей;

– при различных водопотребителях его определяют по формуле

$$q_{ohr}^c = \frac{\sum_i^m N_i \cdot P_{hr}^c \cdot q_o^c}{\sum_i^m N_i \cdot P_{hr,i}^c}$$

где N_i – число санитарно-технических приборов для каждой группы водопотребителей; t – количество групп водопотребителей;

P_i^c – вероятность использования санитарно-технических приборов, определяемая для каждой группы водопотребителей по формуле

$$P_{hr}^c = \frac{3600 \cdot N \cdot P_o^c}{q_{o,hr}^c}$$

где q_{ohr}^c – часовой расход воды санитарно-техническим прибором, для каждой группы водопотребителей, принимаемый в соответствии с [1, приложА]

α_{hr} – коэффициент, определяемый в соответствии с [1, приложение Б (таблицы БЛ и Б.2)] в зависимости от общего числа приборов N и вероятности их действия P на расчетном участке. При отсутствии данных о числе санитарно-технических приборов для определения коэффициента α используют значение NP_{hr}^c , вычисляемое по формуле

$$NP_{hr}^c = \frac{3600 \cdot N \cdot P^c \cdot q_o^c}{q_{hr}^c}$$

Средний часовой расход холодной воды q_T^c м³/ч, за период (сутки, смена) недопотребления вычисляют по формуле

$$q_T^c = \frac{Q_{сут,m}^c}{T}$$

где $Q_{сут,m}^c$ – расчётный (средн. за год) суточн. расход холодной воды, м³/сут.

T – период воупотребления (сутки, смена).

Минимальный часовой расход холодной воды вычисляется по формуле:

$$q_{hr,min}^c = q_T^c \cdot K_{min}$$

Максимальный коэффициент неравномерности определяется по формуле

$$K_{max} = \frac{q_{hr}^c}{q_T^c}$$

Суточный расход воды со средним за год водопотреблением $Q_{сут,m}^c$, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды в населённом пункте вычисляются по формуле

$$Q_{сут,m}^c = \frac{\sum_i^m q_{m,u,i}^c \cdot U}{1000}$$

где $q_{m,u,i}^c$ – норма расхода холодной воды водопотребителем в сутки (смену), л/сут, принимается по нормам, установленным региональными органами власти. При отсутствии норм – по [1, прилож.];

m – количество групп водопотребителей

N – число водопотребителей различного типа.

4.6 Внутреннее горячее водоснабжение

4.6.1 Системы горячего водоснабжения

Системы горячего водоснабжения подразделяют

- по способу получения горячей воды: с непосредственным нагревом воды в котлах; с нагревом ее в подогревателях с применением теплоносителя (пар, перегретая вода);

- по способу подачи горячей воды: система без баков-аккумуляторов, обеспечивающая подачу горячей воды потребителям без разрыва струи (под давлением городского водопровода); система с баками-аккумуляторами, обеспечивающая подачу воды потребителям через напорные баки, высота расположения которых создает нужное давление в системе;

- по способу использования перегретой воды от теплоэлектроцентралей (ТЭЦ): закрытая система, использующая воду от ТЭЦ в качестве теплоносителя для нагрева в подогревателях; открытая система с непосредственным водоразбором при условии сохранения качества воды, отвечающего требованиям СанПин 10-124

РБ99; – по способу движения воды в системе: с естественной циркуляцией под действием гравитационного давления, когда движение горячей воды обусловлено изменением ее плотности вследствие изменения температуры; с искусственной циркуляцией – побудительно с помощью циркуляционного насоса.

В систему центрального горячего водоснабжения входят следующие элементы: генератор теплоты; водоподогреватель; трубопроводы теплоносителя, соединяющие генератор теплоты с водонагревателем; трубопроводы, разводящие горячую воду потребителям; сетевые устройства (компенсаторы линейных удлинений, воздухоотводчики); арматура (водоразборная, предохранительная, запорная); бака-аккумуляторы; насосные установки; контрольно-регулирующие и измерительные устройства (регуляторы расхода воды, регуляторы температуры, водосчетчики).

Тупиковые сети горячего водопровода с подающими трубопроводами применяют внебольших малоэтажных зданиях с короткими стояками и в бытовых помещениях промышленных зданий, а также в зданиях с длительным (более или менее) стабильным потреблением горячей воды (бани, прачечные).

Циркуляция в системе горячего водоснабжения служит для сохранения постоянства температуры у наиболее удаленного водоразборного крана, в противном случае наблюдается значительное нарастание нерационального потребления воды из-за сброса остывшей воды. Наиболее неблагоприятным режимом в системе горячего водоснабжения является полное отсутствие водоразбора горячей воды из нее, за исключением начальных участков до первого водоразборного стояка, поэтому все системы центрального горячего водоснабжения проектируют с циркуляционными трубопроводами, которые функционируют круглосуточно (в жилых домах, больницах) или только перед началом водоразбора (за полчаса или час). Если потребление горячей воды происходит периодически – душевые промышленных предприятий.

Сеть горячего водопровода в жилых зданиях состоит из горизонтальных подающих магистралей и вертикальных распределительных трубопроводов-стояков, от которых устраивают поквартирные разводки. Стояки горячего водопровода прокладывают как можно ближе к приборам.

В жилых зданиях высотой до 4-х этажей при отсутствии полотенцосушителей циркуляцию воды осуществляется только в

магистральных трубах, до начала водоразборных стояков. Тупиковые сети горячего водопровода без циркуляции разрешается применять в системах с длительным непрерывным разбором воды (банных) или в системах с регламентированным по времени потреблением горячей воды, если температура ее в это время в местах водоразбора не будет ниже указанной в нормах.

Для подающих и циркулирующих трубопроводов систем горячего водоснабжения, включая стояки (кроме подводок к водоразборным приборам) применяют тепловую изоляцию, которая снижает тепловые потери в окружающую среду и увеличивает долговечность труб, предохраняет их поверхность от коррозии.

Для выпуска воздуха и впуска воды трубопроводы прокладывают к тепловому пункту с уклоном $i = 0,002$ и более. В системах с нижней разводкой не устраивают специальных устройств для выпуска воздуха, а с верхней при отсутствии баков-аккумуляторов устанавливают автоматические воздухоотводники.

Трубопроводы горячего водоснабжения выполняют из стальных оцинкованных водогазопроводных труб при диаметрах до 150 мм и их неоцинкованных при больших диаметрах, а также из пластмассовых, металлопластиковых и медных труб.

Циркуляционный трубопровод при размещении водонагревателя в нижней части системы таким образом, чтобы создавалась естественная циркуляция воды в трубах. Для этого циркуляционный трубопровод присоединяют к концевым точкам распределительной сети, а в нижней части систем — к водонагревателю. Циркуляционные трубы прокладывают параллельно распределительным сетям горячего водопровода, на горизонтальных участках ниже их. Горизонтальные трубопроводы прокладывают с уклоном $i = 0,002 \dots 0,005$ в сторону ввода или спускных кранов для обеспечения спуска воды и удаления воздуха, скапливающегося в верхних точках системы.

Для предотвращения поступления горячей воды в сеть холодного водопровода и наоборот на подводках холодной воды к водонагревателям и групповым смесителям, на циркуляционном трубопроводе перед присоединением его к водонагревателям, в обвязке циркуляционного насоса устанавливают обратные клапаны.

В зданиях высотой до четырех этажей и в зданиях с отсутствием возможности прокладки кольцуемых перемычек, допускается устанавливать полотенцесушители на циркуляционных стояках системы горячего водоснабжения или на системе отопления ванных

комнат круглогодичного действия. Водоразборные стояки и разводящие трубопроводы прокладывают совместно с трубопроводами отопления в общей изоляции. В случае установленных полотенцесушителей, подключенных к системе горячего водоснабжения на верхнем этаже их присоединяют к стояку на 100 мм ниже квартирной разводки.

4.6.2. Виды схем внутренних сетей и их применение

Схема центрального горячего водоснабжения с циркуляцией (рис.4.2 1) применяется в зданиях, где не допускается снижение температуры воды ниже требуемой. Для восполнения теплопотерь предусматривают циркуляцию воды, для чего рядом с подающим трубопроводом прокладывают циркуляционный, по которому остывшая вода возвращается в водонагреватель.

Схема центрального горячего водоснабжения с аккумуляторами теплоты (рис.4.2.2) используется при неравномерном потреблении воды и тепла для уменьшения мощности водонагревателей и выравнивания графика потребления воды. Аккумуляторы создают запас горячей воды, устраняют резкие колебания температуры воды.

Схема центрального горячего водоснабжения с регуляторами температуры (рис.4.2.3) автоматически в течение всего периода эксплуатации обеспечивает наиболее экономичное распределение циркуляционных расходов при сохранении высокой температуры во всех точках схемы. Регуляторы температуры, установленные у основания стояков или на вводе в здание, автоматически поддерживают постоянную температуру циркуляционной воды 35...38°C, сокращая циркуляционный расход на 18...25% при одновременном повышении температуры у потребителя на 10...12°C.

Схема центрального горячего водоснабжения с насосными установками (рис.4.2.4.) применяется, когда гарантийное давление в наружной сети постоянно или периодически ниже давления, требуемого для систем центрального горячего водоснабжения.

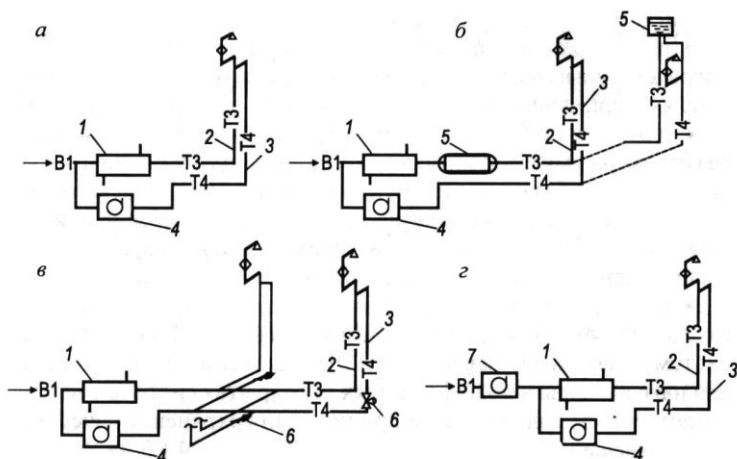


Рис.4.2.2.1. Схемы централизованного горячего водоснабжения:

- 1 – водонагреватель; 2 – распределительная сеть; 3 – циркуляционная сеть;
 4 – циркуляционный насос; 5 и 5' – соответственно напорный и безнапорный
 аккумуляторы теплоты; 6 – регуляторы температуры;
 7 – насосная установка для повышения давления.

Сеть горячего водопровода в жилых зданиях состоит из горизонтальных подающих магистралей и вертикальных распределительных трубопроводов-стояков, от которых устраивают поквартирные разводки. Стояки горячего водопровода прокладывают как можно ближе к приборам.

В жилых зданиях высотой до 4-х этажей при отсутствии полотенцесушителей циркуляцию воды осуществляется только в магистральных трубах, до начала водоразборных стояков. Тупиковые сети горячего водопровода без циркуляции разрешается применять в системах с длительным непрерывным разбором воды (банных) или в системах с регламентированным по времени потреблением горячей воды, если температура ее в это время в местах водоразбора не будет ниже указанной в нормах.

Сеть горячего водопровода в жилых зданиях состоит из горизонтальных подающих магистралей и вертикальных распределительных трубопроводов-стояков, от которых устраивают поквартирные разводки. Стояки горячего водопровода прокладывают как можно ближе к приборам.

Сеть горячего водопровода подразделяют: на двухтрубные (с закольцованными стояками) и однотрубные (с тупиковыми стояками).

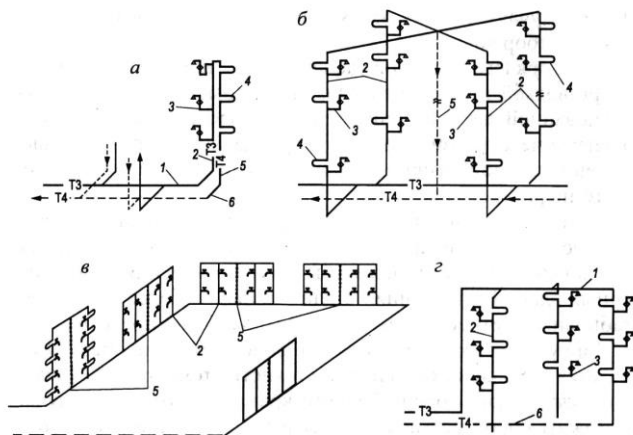


Рис.4.2.2.2. Схемы сетей горячего водопровода: 1 – распределительная магистраль; 2 и 5 стояки (распределительный, циркуляционный); 3 – разводка; 4 – полотенцесушитель; 6 – циркуляционная магистраль.

При проектировании сетей горячего водопровода в большинстве случаев получили сети с нижней разводкой (рис.3.2. а). При этой схеме циркуляционную сеть прокладывают параллельно распределительной. Магистраль прокладывают в подвалах или подпольных каналах.

Схема с секционными узлами (рис.3.2. б) позволяет сократить длину циркуляционных стояков из условия, что на 3-8 подающих стояков прокладывают один циркуляционный трубопровод.

Схема с кольцевой однотрубной магистралью и закольцованными стояками (рис.3.2. в) применяется при большом количестве потребителей, длинных магистралях и кольцевом расположении зданий. Циркуляция в магистрали поддерживается циркуляционными насосами.

Схема с верхней разводкой (рис.3.2. г) используется при установке безнапорных баков-аккумуляторов. Распределительную магистраль прокладывают при этой схеме по чердаку здания, а циркуляционную магистраль – в подвале или канале.

4.6.3. Нормы и режим потребления горячей воды

Нормы расхода горячей воды водоразборными приборами определяют по секундной q_o^h (дм³/с) и часовой $q_{o,hr}^h$ (дм³/ч) производительности при минимальных свободных давлениях по таблице 1.

Нормы расхода воды одним потребителем в сутки и час наибольшего водопотребления, установленные при средней температуре систем горячего водоснабжения воды в водоразборных стояках 55°C, принимаются по таблице 1.

Указанные нормы расхода воды представляют собой средние величины, которые определяют устойчивые уровни потребления воды, характерные для каждой группы потребителей, в зданиях и сооружениях данного назначения.

В системе горячего водоснабжения с непосредственным разбором воды среднюю температуру воды в водоразборных стояках следует принимать равной 65°C, а нормы расхода горячей воды по таблице 2. с коэффициентом 0.85. Расчетные расходы горячей воды и теплоты зависят от потребления горячей воды, которую используют для смешения до требуемой температуры. Известно, что расход горячей воды зависит от температуры: чем ниже температура горячей воды у смесительного водоразборного крана, тем больше ее доля в составе смешанной воды.

Методика расчета расходов горячей воды сетей горячего водоснабжения в режиме водопотребления аналогична методики расчета водопровода холодной воды.

Параметрами расхода горячей воды являются:

q_o^h – расход горячей воды санитарно-техническим прибором, дм³/с;

$q_{hr,u}^h$ – норма расхода горячей воды потребителем в час наибольшего водопотребления, дм³/ч;

$q_{u,m}^h$ – норма расхода горячей воды потребителем в сутки, дм³/сут.

Суточные расходы горячей воды рассчитывают по формуле

$$q_u^h = \frac{q_{u,m}^h \cdot U}{1000}$$

Средний часовой расход воды определяют по формуле

$$q_{hr,u}^h = \frac{q_u^h}{T}$$

где T – продолжительность потребления горячей воды, ч.

Суточный расход теплоты определяют по следующей формуле

$$Q_u^h = q_u^h \cdot C\rho(t_m^h - t^c)(1 + K), \text{ кДж}$$

Часовой расход теплоты определяют по формуле

$$Q_{hr,u}^h = q_{hr,u}^h \cdot C\rho(t_m^h - t^c)(1 + K), \text{ кДж}$$

где Q_u^h и $Q_{hr,u}^h$ – суточная и часовая нормы расхода теплоты;

$C\rho(t_m^h - t^c)$ – количество теплоты, необходимое для нагрева 1 дм³ воды до расчетной температуры;

C – теплоемкость воды; $C = 4,19 \text{ кДж/кг}\cdot\text{C}^\circ$;

ρ – плотность воды, $\rho = 1000 \text{ кг/дм}^3$;

t_m^h – средняя температура горячей воды, при которой определена норма (для закрытых систем 55°C);

K – коэффициент теплопотерь в системе горячего водоснабжения;

t^c – расчетная температура холодной воды (5°C).

Таблица 4.2.3.1 Значения коэффициента теплопотерь K в системе горячего водоснабжения

Вид системы горячего водоснабжения	Значения K для систем	
	С квартальными сетями от центрального теплового пункта	Без квартальных сетей
Без полотенцесушителей	0,15	0,1
С полотенцесушителями	0,25	0,2
С неизолированными стояками и полотенцесушителями	0,35	0,3

Максимальный часовой расход теплоты определяется по формуле

$$Q_{hr}^h = q_{hr}^h \cdot C\rho(t_m^h - t^c) + \frac{Kq_{hr,u}^h}{1+K}, \text{ кДж}$$

Максимальный часовой расход воды определяется по формуле

$$q_{hr}^h = \frac{Q_{hr}^h}{C\rho(t_m^h - t^c)}, \text{ дм}^3/\text{ч}.$$

Водонагреватели рассчитываются в следующем порядке:

- определяют площадь поверхности нагрева;
- устанавливают основные конструктивные размеры и подбирают водонагреватель;
- производят гидравлический расчет

Площадь поверхности нагрева водонагревателей определяют по формуле

$$F = \frac{\beta \cdot Q_p^T}{\mu \cdot k \cdot \Delta t \cdot 3,6}, \text{ м}^2$$

где β – коэффициент запаса на неучтенные теплотери, $\beta = 1,1$;

Q_p^T – расчетное количество теплоты, кДж/ч;

μ – коэффициент снижения теплопередачи через теплообменную поверхность из-за отложений на стенках, $\mu = 0,7$;

k – коэффициент теплопередачи нагревательной поверхности, Вт/м²·°С (табл.8);

Δt – расчетная разность температур теплоносителя и нагреваемой воды, °С;

Для скоростных водонагревателей расчетная разность температур определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{T_H + T_k}{2} - \frac{t_H + t_k}{2},$$

где T_H и T_k – начальная и конечная температуры теплоносителя;

t_H и t_k – начальная и конечная температуры нагреваемой воды, °С;

При расчете принимаются температуры теплоносителя в летний период, когда они имеют меньшие значения, тогда Δt меньше, а площадь поверхности нагрева F больше.

Таблица 8 Значения коэффициента теплопередачи

Тип водонагревателя	Теплоноситель (при скорости нагреваемой вода, м/с)	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·°С	
		из стали, чугуна	из латуни
Скоростной	Пар давлением 0,07...0,02 Мпа (0,75...1,5 м/с)	–	2520 – 3400
	Вода температурой 80...115°С (0,5...2,5 м/с)	–	1163 – 3000
Емкостной	Пар давлением 0,07...0,02 Мпа (менее 0,1 м/с)	700	840
	Вода температурой 80...115°С (менее 0,1 м/с)	290	348

Исходя из того, что работа водонагревателей в летние месяцы значительно отличается от работы в зимние месяцы (вне отопительного и в отопительном сезонах года), а водонагреватели горячего водоснабжения подключаются по двухступенчатой схеме нагрева, расчет поверхности нагрева производим на два режима.

Первый режим соответствует отопительному сезону и работе отопительной системы. В этот период принимается расчетная начальная температура теплоносителя $T_H = 130^\circ\text{C}$, а конечная – $T_K = 70^\circ\text{C}$.

Второй режим соответствует летнему периоду, когда начальная температура теплоносителя $T_H = 70^\circ\text{C}$, а конечная $T_K = 30^\circ\text{C}$. В летний период водонагреватели подключаются к сети теплоснабжения по одноступенчатой схеме, а зимой – по двухступенчатой.

Количество секций водонагревателя определяют по формуле

$$n = \frac{F}{f}$$

где f – площадь теплообмена одной секции или гребенчатого змеевика, м^2 .

Площадь трубок водонагревателя определяется по формуле

$$F_T = \frac{q_{hr}^h}{3600\vartheta}, \text{ м}^2$$

где ϑ – скорость нагреваемой воды, м/с ;

Потери давления в водонагревателе

$$h_b = \beta \cdot F \cdot \vartheta^2 \cdot n, \text{ Мпа}$$

Аккумулирующий объем емкостного водонагревателя определяют по формуле

$$V_{\text{ак}} = \frac{\Delta Q^T}{C\rho(t_m^h - t^c)}$$

где ΔQ^T – аккумулирующий запас теплоты, кДж .

4.6.4 Гидравлический расчет водопроводных сетей горячего водоснабжения

Гидравлический расчет сети внутреннего горячего водоснабжения ведется в той же последовательности, что и гидравлический расчет внутреннего водопровода холодного водоснабжения.

Аксометрическая схема внутреннего водопровода горячего водоснабжения составляется аналогично схеме внутреннего водопровода холодного водоснабжения. В длину расчетного участка входит также длина полотенцесушителя (2м). Общее количество приборов (N) для горячего водоснабжения определяется без учета смывных бачков унитазов.

Расчет подающих трубопроводов

Диаметры труб для сети горячего водопровода по расчетным расходам определяют так же, как и для сети холодного водопровода, но с учетом уменьшения диаметров вследствие отложения накипи и зарастания труб в системах горячего водоснабжения.

Потери давления в подающем трубопроводе определяются по секундным расходам горячей воды (q , $\text{дм}^3/\text{с}$) на хозяйственно- бытовые нужды с учетом циркуляционного расхода (при наличии циркуляции)

Потери давления на отдельных участках трубопроводов систем горячего водоснабжения определяют по формуле

$$\Delta H_{\text{уч}} = i l (1 + k_l), \text{ Мпа}$$

где i – удельные потери давления, Мпа/км;

l – длина участка трубопровода, м;

k_l – коэффициент местных потерь давления, принимаемых равным 0,2 для подающих (распределительных) трубопроводов, и 0,5 для трубопроводов в пределах тепловых пунктов и для трубопроводов водоразборных стояков с полотенцесушителями и 0,1 для трубопроводов водоразборных стояков без полотенцесушителей.

Общая потеря давления в подающем трубопроводе расчетного направления (от водонагревателя до самой высокой точки водоразбора наиболее удаленного стояка) определяется как сумма потерь давления на каждом из расчетных участков:

$$\Delta H_{\text{под}} = \sum_i \Delta H_{\text{уч}}, \text{ МПа}$$

где i – номер участка

$\Delta H_{\text{уч}}$ – потери давления на участках, Мпа.

Увеличение шероховатости труб из-за накипи учитывают с помощью коэффициента 1,2.

Требуемое давление в точке присоединения системы горячего водоснабжения к городскому водопроводу определяется по формуле

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{геом}} + h_{\text{сч}} + H_f + \Delta H_{\text{под}}, \text{ МПа}$$

где $H_{\text{геом}}$ – геометрическая высота подъема воды от оси трубопровода на вводе до оси диктующего водоразборного прибора (определяется по аксонометрической схеме горячего водопровода);

$$H_{\text{геом}} = (z_{\text{д.пр}} - z_{\text{вв}}) \cdot 0,01, \text{ МПа}$$

где $z_{\text{д.пр}}$ – геодезическая отметка оси диктующего прибора, м;

$z_{\text{вв}}$ – геодезическая отметка ввода, м;

$h_{\text{сч}}$ – потери давления в водомере;

для крыльчатых счетчиков $h_{\text{сч}} = S \cdot q^2 < 0,025 \text{ МПа}$

q – расход воды на вводе без учета циркуляционного расхода, $\text{дм}^3/\text{с}$;

S – гидравлическое сопротивление счетчика, $\text{Мпа}/\text{дм}^3/\text{с}$;

H_f – свободное давление перед диктующим прибором (для умывальника, кухонной мойки – 0,02 МПа, для ванны со смесителем – 0,03 МПа;

$\Delta H_{\text{под}}$ – потери давления в подающих трубопроводах системы горячего водоснабжения, МПа (принимаются по результатам гидравлического расчета с учетом повышения шероховатости труб из-за накипи, коэффициент 1,2);

При недостаточном давлении в наружной водопроводной сети в системах горячего водоснабжения жилых зданий в качестве дополнительных повысительных насосов используют циркуляционные насосы, установленные на подающем трубопроводе.

Требуемое давление повысительных насосов определяют по формуле

$$H_{\text{пов}} = H_{\text{тр}} - H_{\text{гор}} + h_{\text{н.у}}, \text{ МПа}$$

где $H_{\text{тр}}$ – давление в городском водопроводе, МПа;

$h_{\text{н.у}}$ – потери давления в насосной установке, $h_{\text{н.у.}} = 0,015 \dots 0,025 \text{ МПа}$.

Производительность насоса принимаем равной расходу на горячее водоснабжение с учетом циркуляции:

$$q_{\text{сир нас}} = q + q_{\text{сир}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

Предусматриваем не менее двух насосов, один из которых резервный. Размещаются эти насосы в центральном или индивидуальном тепловом пункте.

Расчет циркуляционных трубопроводов

Требуемый циркуляционный расход (q_{cir} , $\text{дм}^3/\text{ч}$) в системах трубопроводов горячего водоснабжения при отсутствии водоразбора определяют по количеству теплоты, необходимому для возмещения тепловых потерь в подающих трубопроводах по формуле

$$q_{cir} = \frac{Q_n}{\Delta t}, \text{дм}^3/\text{ч}$$

где Q_n – потери теплоты подающими трубопроводами, определяемые при одной для трубопроводов всех стояков системы средней температуре горячей воды, $\text{кДж}/\text{ч}$;

Δt – разность температур горячей воды в трубопроводах водоразборных стояков, принимаемая равной от 5 до 15°

Теплопотери на участках трубопроводов определяют по формуле

$$Q_i = k \cdot \pi \cdot d_n \cdot l_i (t_{cp} - t_o) \cdot (1 - \eta), \text{кДж}/\text{ч}$$

где k – коэффициент теплопередачи неизолированной трубы, принимаемый равным 42 $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

d_n – наружный диаметр трубопровода, м (табл.9);

l_i – длина расчетного участка, м;

t_{cp} – средняя температура воды на участке, °C;

t_o – температура окружающей среды, принимая в бороздах и каналах равной 40°C, в неотапливаемых подвалах +5°C, на чердаках +10°C, в помещениях +20°C;

η – коэффициент полезного действия изоляции, принимаемый равным 0,6–0,8; для неизолированных труб $\eta = 0$.

Таблица 9 Расчетные параметры стальных водогазопроводных труб

Диаметр условного прохода d_v , мм	15	25	25	32	40	50	65	80
Наружный диаметр d_n , мм	21,3	26,8	33,5	42,3	48,0	60,0	75,5	88,5

Суммарные потери теплоты всей системы трубопроводов

$$Q = \sum_i^i Q_i$$

Общий циркуляционный расход между участками магистралей и стояками, определенный по формуле $q_{\text{cir}} = Q/\Delta t$ распределяется пропорционально потерям теплоты на этих участках. По полученным циркуляционным расходам диаметры циркуляционных трубопроводов и потери давления определяются также, как и при расчете подающих трубопроводов.

Диаметрами циркуляционных трубопроводов задаются и принимают в системах с насосной циркуляцией на 1–2 размера меньше, чем на соответствующих участках подающих трубопроводов. При выборе диаметров циркуляционных стояков необходимо увязать потери давления в трубопроводах водоразборных и циркуляционных стояков с располагаемым перепадом давлений в точках их присоединения к подающим и циркуляционным трубопроводам, разница в потерях давления циркуляционных колец не должна превышать 10%.

Потери давления в водоразборном и циркуляционном стояках по абсолютной величине должны составлять 19,6–39,2 кПа.

При невозможности увязки давлений путем соответствующего подбора диаметров труб на циркуляционном трубопроводе устанавливают диафрагмы.

Расчет подающих трубопроводов

Диаметры труб для сети горячего водопровода по расчетным расходам определяют так же, как и для сети холодного водопровода, но с учетом уменьшения диаметров вследствие отложения накипи и зарастания труб в системах горячего водоснабжения.

Потери давления в подающем трубопроводе определяются по секундным расходам горячей воды (q , $\text{дм}^3/\text{с}$) на хозяйственно-бытовые нужды с учетом циркуляционного расхода (при наличии циркуляции)

Потери давления на отдельных участках трубопроводов систем горячего водоснабжения определяют по формуле

$$\Delta H_{\text{уч}} = i l (1 + k_l), \text{ Мпа}$$

где i – удельные потери давления, Мпа/км;

l – длина участка трубопровода, м;
 k_l – коэффициент местных потерь давления, принимаемых равным 0,2 для подающих (распределительных) трубопроводов, и 0,5 для трубопроводов в пределах тепловых пунктов и для трубопроводов водоразборных стояков с полотенцесушителями и 0,1 для трубопроводов водоразборных стояков без полотенцесушителей.

Общая потеря давления в подающем трубопроводе расчетного направления (от водонагревателя до самой высокой точки водоразбора наиболее удаленного стояка) определяется как сумма потерь давления на каждом из расчетных участков:

$$\Delta H_{\text{под}} = \sum_i \Delta H_{\text{уч}}, \text{ МПа}$$

где i – номер участка

$\Delta H_{\text{уч}}$ – потери давления на участках, Мпа.

Увеличение шероховатости труб из-за накипи учитывают с помощью коэффициента 1,2.

Требуемое давление в точке присоединения системы горячего водоснабжения к городскому водопроводу определяется по формуле

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{геом}} + h_{\text{сч}} + H_f + \Delta H_{\text{под}}, \text{ МПа}$$

где $H_{\text{геом}}$ – геометрическая высота подъема воды от оси трубопровода на вводе до оси диктующего водоразборного прибора (определяется по аксонометрической схеме горячего водопровода);

$$H_{\text{геом}} = (z_{\text{д.пр}} - z_{\text{вв}}) \cdot 0,01, \text{ МПа}$$

где $z_{\text{д.пр}}$ – геодезическая отметка оси диктующего прибора, м;

$z_{\text{вв}}$ – геодезическая отметка ввода, м;

$h_{\text{сч}}$ – потери давления в водомере;

для крыльчатых счетчиков $h_{\text{сч}} = S \cdot q^2 < 0,025 \text{ МПа}$

q – расход воды на вводе без учета циркуляционного расхода, $\text{дм}^3/\text{с}$;

S – гидравлическое сопротивление счетчика, $\text{Мпа}/\text{дм}^3/\text{с}$;

H_f – свободное давление перед диктующим прибором (для умывальника, кухонной мойки – 0,02 Мпа, для ванны со смесителем – 0,03 Мпа;

$\Delta H_{\text{под}}$ – потери давления в подающих трубопроводах системы горячего водоснабжения, Мпа (принимаются по

результатам гидравлического расчета с учетом повышения шероховатости труб из-за накипи, коэффициент 1,2);

При недостаточном давлении в наружной водопроводной сети в системах горячего водоснабжения жилых зданий в качестве дополнительных повысительных насосов используют циркуляционные насосы, установленные на подающем трубопроводе.

Требуемое давление повысительных насосов определяют по формуле

$$H_{\text{пов}} = H_{\text{тр}} - H_{\text{гор}} + h_{\text{н.у.}}, \text{ МПа}$$

где $H_{\text{тр}}$ – давление в городском водопроводе, МПа;

$h_{\text{н.у.}}$ – потери давления в насосной установке, $h_{\text{н.у.}} = 0,015 \dots 0,025$ МПа.

Производительность насоса принимаем равной расходу на горячее водоснабжение с учетом циркуляции:

$$q_{\text{cir нас}} = q + q_{\text{cir}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

Предусматриваем не менее двух насосов, один из которых резервный. Размещаются эти насосы в центральном или индивидуальном тепловом пункте.

Расчет циркуляционных трубопроводов

Требуемый циркуляционный расход (q_{cir} , $\text{дм}^3/\text{ч}$) в системах трубопроводов горячего водоснабжения при отсутствии водоразбора определяют по количеству теплоты, необходимому для возмещения тепловых потерь в подающих трубопроводах по формуле

$$q_{\text{cir}} = \frac{Q_n}{\Delta t}, \text{ дм}^3/\text{с}$$

где Q_n – потери теплоты подающими трубопроводами, определяемые при одной для трубопроводов всех стояков системы средней температуре горячей воды, $\text{кДж}/\text{ч}$;

Δt – разность температур горячей воды в трубопроводах водоразборных стояков, принимаемая равной от 5 до 15°

Теплопотери на участках трубопроводов определяют по формуле

$$Q_i = k \cdot \pi \cdot d_n \cdot l_i (t_{\text{ср}} - t_o) \cdot (1 - \eta), \text{ кДж}/\text{ч}$$

где k – коэффициент теплопередачи неизолированной трубы, принимаемый равным $42 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

- d_n – наружный диаметр трубопровода, м (табл.9);
 l_i – длина расчетного участка, м;
 t_{cp} – средняя температура воды на участке, °C;
 t_o – температура окружающей среды, принимая в бороздах и каналах равной 40°C, в неотапливаемых подвалах +5°C, на чердаках +10°C, в помещениях +20°C;
 η – коэффициент полезного действия изоляции, принимаемый равным 0,6–0,8; для неизолированных труб $\eta = 0$.

Таблица 9 Расчетные параметры стальных водогазопроводных труб

Диаметр условного прохода d_y , мм	15	25	25	32	40	50	65	80
Наружный диаметр d_n , мм	21,3	26,8	33,5	42,3	48,0	60,0	75,5	88,5

Суммарные потери теплоты всей системы трубопроводов

$$Q = \sum_i^i Q_i$$

Общий циркуляционный расход между участками магистралей и стояками, определенный по формуле $q_{cir} = Q/\Delta t$ распределяется пропорционально потерям теплоты на этих участках. По полученным циркуляционным расходам диаметры циркуляционных трубопроводов и потери давления определяются также, как и при расчете подающих трубопроводов.

Диаметрами циркуляционных трубопроводов задаются и принимают в системах с насосной циркуляцией на 1–2 размера меньше, чем на соответствующих участках подающих трубопроводов. При выборе диаметров циркуляционных стояков необходимо увязать потери давления в трубопроводах водоразборных и циркуляционных стояков с располагаемым перепадом давлений в точках их присоединения к подающим и циркуляционным трубопроводам, разница в потерях давления циркуляционных колец не должна превышать 10%.

Потери давления в водоразборном и циркуляционном стояках по абсолютной величине должны составлять 19,6–39,2 кПа.

При невозможности увязки давлений путем соответствующего подбора диаметров труб на циркуляционном трубопроводе устанавливают диафрагмы.

Диаметр диафрагм следует принимать не менее 10мм, но если по расчету получается менее 10 мм, то вместо диафрагм предусматривают регулировочные краны.

Диаметр диафрагмы определяют по формуле

$$d_d = 11,3 \sqrt{\frac{q_{cir}}{\Delta H_d}}, \text{ мм}$$

где q_{cir} – циркуляционный расход воды, м³/с;

ΔH_d – перепад давлений в диафрагме, который необходимо погасить, Мпа.

Вероятность действия приборов определяется по формуле

$$P = \frac{q_{hr,u}^h \cdot U}{q_o^h \cdot N \cdot 3600}$$

где $q_{hr,u}^h$ – норма расхода горячей воды потребителем в час наибольшего потребления душами для жилых домов квартирного типа с ваннами длиной 1500 до 1700мм, оборудованными душами, $q_{hr,u}^h = 10$ дм³/с (табл. 2.);

q_o^h – секундный расход горячей воды прибором для жилых домов квартирного типа с тем же оборудованием, $q_o^h = 0,2$ дм³/с;

N – общее количество санитарно-технических приборов, потребляющих горячую воду в здании, $N = 60$ шт;

U – общее количество водопотребителей в здании.

Расчет циркуляционных расходов начинается с определения потерь теплоты на участках и во всей системе горячего водоснабжения.

Потери теплоты на участке трубопроводов определяют по формуле

$$Q_i = k \cdot \pi \cdot d_n \cdot l_i (t_{cp} - t_o) (1 - \eta)$$

где $\eta = 0$;

t_o – температура в помещении, $t_o = 20^\circ\text{C}$;

k – коэфф. теплопередачи неизолированной трубы, $k = 42 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$

4.6.5. Воздухоудаление в системах горячего водоснабжения

Воздухоудаление в системах горячего водоснабжения – это процесс удаления воздуха из системы, который может скапливаться в трубах снижая эффективность работы системы. Для удаления воздуха используют различные методы: автоматические и механические воздухоотводчики, а также продувку через краны Маевского. Воздухоотводчик является вспомогательным элементом, предназначенный для выпуска воздуха из системы водоснабжения и одновременно частью безопасности системы, поэтому очень важно правильно его выбрать, использовать и провести его монтаж.

Устройство воздухоотводчика и принцип его работы достаточно прост. Внутренняя полость корпуса представляет собой камеру, которая заполняется теплоносителем внутри которой находится поплавков. Если в системе отсутствует воздух, то поплавков плавает в среде теплоносителя. С воздушным клапаном поплавков связан шарниром и удерживает его закрытым. По мере попадания в поплавковую камеру воздуха в ней растет давление, заставляющее поплавков погружаться вниз и в этот момент шарнирное соединение открывает калиброванное отверстие клапана, выпуская скопившийся воздух. Освобожденная от воздуха поплавковая камера вновь наполняется теплоносителем и поплавков всплывает, закрывая отверстие клапана. Автоматические воздухоотводчики обеспечивают автоматическое удаление воздуха и продлевают срок службы системы.

Основными причинами завоздушивания являются:

- неправильный монтаж труб в результате неравномерного уклона в трубах, наличие петель приводят к образованию воздушных карманов;
- утечки, происходящие в соединениях труб, куда проникает воздух;
- кавитация, возникающая при работе насоса, когда одновременно с водой в систему засасывается воздух;
- при полном спуске воды из системы в трубах все же остается воздух.

В систему горячего водоснабжения воздух помимо указанных выше причин, может попасть во время установки новых сантехнических приборов, при замене труб куда воздух попадает и выйти свободно не может.

Наличие воздуха в системе водоснабжения указывает неравномерный поток, громкие звуки, странные лязги в трубах, звук, похожий на слив или текущую из труб воду, брызги из кранов. Причиной наличия воздуха с подачей горячей воды является пространство в верхней зоне водонагревателя, до которого не доходит трубка для забора горячей воды. При определенных условиях в этом пространстве может скапливаться до десятка литров сжатого воздуха из-за чего после открытия крана горячая вода выходит «плевками» из смесителя. Для спуска воздуха из стояка горячей воды необходимо открыть кран и дождаться, когда из отвода выйдет воздух и появится вода и потом закрыть кран, после чего циркуляция горячей воды по стояку возобновится по всем этажам. Для избавления воздушных пробок в системе водоснабжения является установка механического клапана, который быстро устраняет пробки и пузырьки воздуха из системы.

Для повышения эффективности работы системы горячего водоснабжения нужно регулярно проводить развоздушивание системы, особенно после ремонта или переустановки оборудования, так как удаление воздуха продлевает срок службы оборудования, уменьшает коррозию металла и без воздуха сама система работает более эффективно.

5. Водоподъемные устройства

5.1. Подбор водоподъемное оборудование на водозаборе

Суточную подачу насосной станции принимают равной максимальному суточному водопотреблению. Если насосная станция подает воду на очистные сооружения, то прибавляют еще расход воды на промывку скорых фильтров и другие нужды очистной станции, который составляет приблизительно 8...10% полезного суточного расхода. При наличии в системе водоснабжения противопожарных запасов воды предусматривают дополнительно подачу воды на их пополнение (для сельскохозяйственных водопроводов в течение 72 ч).

Часовую подачу насосной станции вычисляют по максимальной ординате принятого суточного графика ее работы. Для насосных станций I подъема, качающих воду на очистные сооружения, как правило, принимают равномерный график подачи воды.

Расчетную часовую производительность водозабора при заборе воды из подземного водоисточника определяют по формуле

$$Q_{\text{вод}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{max}}^{\text{сист}}}{T_{\text{нcl}}} + \frac{W_{\text{пож}}}{T_{\text{вос}}} \text{ м}^3/\text{час}$$

где α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды системы, $\alpha = 1,05 \dots 1,10$;

$T_{\text{нcl}}$ – продолжительность работы водозабора (насосной станции 1-го подъема) в течение суток, $T_{\text{нcl}} = 24$ часа;

$T_{\text{вос}}$ – время восстановления пожарного запаса, $T_{\text{вос}} = 72$ часа;

$W_{\text{пож}}$ – запас воды на пожаротушение, $\text{м}^3/\text{час}$;

Запас воды на пожаротушение определяют по формуле

$$W_{\text{пож}} = n(q_{\text{н}} + q_{\text{в}}) \cdot T_{\text{пож}} \cdot 3,6$$

где n – количество одновременных пожаров, принимается в зависимости от размера населенного пункта (числа жителей) и т.д.;

$q_{\text{н}}$ и $q_{\text{в}}$ – расход воды соответственно на внутреннее и наружное пожаротушение;

$T_{\text{пож}}$ – продолжительность пожаротушения, ч.

Напор насоса определяют по формуле

$$H_{\text{нас}} = H_{\text{г}} + \sum h$$

где $H_{\text{г}}$ – геодезическая высота подъема, м:

$\sum h$ – потери напора в сборных водоводах, м.

Геодезическая высота подъема равна разности отметок уровня воды в РЧВ при полном его заполнении и отметки динамического уровня.

$$H_{\text{г}} = Z - Z_{\text{дин}}$$

где $Z_{\text{дин}}$ – отметка динамического уровня в скважине.

По расчетным расходу и напору $Q_{\text{н}}$ и $H_{\text{н}}$ принимается погружной насос. Резервный насос принимают из условия: 1 насос на (1...10) скважин.

5.2. Типы водоподъемного оборудования

В состав водоподъемных устройств входит водоподъемное оборудование, которое обеспечивает забор воды из водоисточника, прохождение ее через очистные сооружения (если необходимо для потребителя), запасные емкости, обеспечивающие постоянство давления в водопроводной сети (водонапорные башни, пневматические баки и др).

Водоподъемное оборудование (водоподъемники) – устройство или рабочая гидравлическая машина, изменяющая положение жидкости. В качестве водоподъемного оборудования используют журавль, черпаковый подъемник, чигирь, архимедовый винт, насос и др.

В качестве водоподъемного оборудования в водоснабжении используют насосы. Насос – это гидравлическая машина, в которой подводимая извне энергия (механическая, электрическая и др) преобразуется в энергию потока жидкости.

Насосы классифицируют по разным признакам: принципу действия, виду подводимой энергии, конструкции, назначению, роду перекачиваемой жидкости и др.

По принципу действия насосы делят на две группы: динамические и объемные.

В объемных насосах жидкость приобретает энергию в результате воздействия на нее рабочего органа, периодически изменяющего объем рабочей камеры, попеременно сообщаемой с их входом и выходом. К этой группе относят: поршневые, плунжерные, роторные, крыльчатые и др.

В динамических насосах жидкость приобретает энергию в результате силового воздействия на нее рабочего органа в рабочей камере, постоянно сообщаемой с их входом и выходом. К этой группе относят следующие насосы: лопастные (центробежные, диагональные и осевые), в которых постоянное силовое воздействие на протекающую через насос жидкость оказывают обтекаемые лопасти вращающегося колеса, вихревые, струйные, вибрационные, воздушные водоподъемники (эрлифты).

5.3. Параметры насосной установки

В центробежных насосах жидкость подается за счет центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. Перед пуском

насоса всасывающую трубу и корпус насоса заполняют водой. Схема центробежного насоса показана на рис. 4.1.

Рабочее колесо 1 состоит из двух дисков, отстоящих на некотором расстоянии друг от друга. Между дисками, соединяя их в единую конструкцию, находятся лопасти, плавно изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Внутренние поверхности дисков и боковые поверхности лопастей образуют межлопастные каналы колеса (рис. 4.2). В этих насосах жидкость при входе в рабочее колесо движется в осевом направлении, а затем в самом колесе – в радиальном.

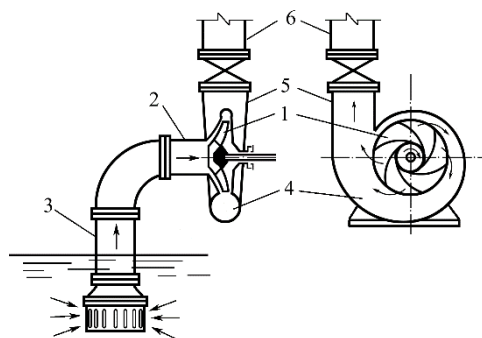


Рис. 5.1. Схема центробежного насоса:

- 1 – рабочее колесо; 2 – всасывающий патрубок; 3 – всасывающий трубопровод;
4 – спиральный канал; 5 – напорный патрубок; 6 – напорный трубопровод

При вращении колеса под действием центробежной силы жидкость непрерывно движется по межлопастным каналам от центра к периферии, приобретая при этом большую скорость.

Вода, выходя из каналов, создает у входа в рабочее колесо разрежение. Жидкость подводится через отверстие в переднем диске рабочего колеса 1 с помощью всасывающего патрубка 2 и всасывающего трубопровода 3 (см. рис. 5.1). Движение жидкости по всасывающему трубопроводу происходит за счет разности давлений над свободной поверхностью жидкости в водоисточнике (атмосферное) и в центральной (входной) части рабочего колеса (разрежение). Отвод жидкости из рабочего колеса осуществляется через спиральный канал 4, который переходит в короткий диффузор, образующий напорный патрубок 5, соединяемый обычно с напорным трубопроводом 6

посредством задвижки.

Насосная установка – это устройство, перекачивающее жидкость от источника к потребителю с помощью насоса. Насос, двигатель и устройство для передачи мощности от двигателя к насосу, собранные в единый узел называют насосным агрегатом.

Насосная установка состоит из всасывающего трубопровода, насоса, напорного трубопровода, запорной (задвижки, обратные клапаны и др) и измерительной (вакуумметры, манометры, расходомерные устройства) арматурой (рис.5.2.)

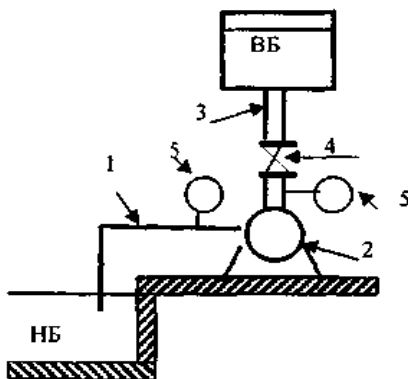


Рис.5.2. Схема насосной установки: 1 – всасывающий трубопровод; 2 – насос; 3 – напорный трубопровод; 4 – задвижка; 5 – манометр, вакуумметр.

К основным параметрам насосной установки относят следующие:

– **Расход (подача) Q** , л/с, м³/с, м³/час – количество жидкости, прошедшее в единицу времени через насос;

– **Напор H** , м – разность полных удельных энергий на выходе и входе, выраженная в метрах водяного столба перекачиваемой жидкости. Тратится эта энергия на преодоление высоты подъема и сопротивления трубопровода

$$H = H_r + \sum h_{тр}$$

где H_r – высота подъема жидкости или геодезический напор, м;

$\sum h_{тр}$ – сумма потерь напора (по длине и местные) во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, м.

– **Мощность насосной установки (N)**, кВт может быть потребляемой (эффективной, **Ne**) то есть полученной от двигателя и полезной, (**N_{пол}**), отдаваемой жидкости.

Потребляемая мощность определяется при помощи ваттметра, а эффективная – по графику $N = f(W)$, а полезная по формуле

$$N_{\text{пол}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000}, \text{ кВт}$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

Q – расход жидкости, м³/с;

H – напор, м.

– **Коэффициент полезного действия (η)** показывает долю энергии, отданной жидкости насосом, по отношению к полученной по формуле

$$\eta = \frac{N_{\text{пол}}}{N_e} \cdot 100\%$$

Коэффициент полезного действия (к.п.д) может выражаться и в долях единицы.

К дополнительным параметрам относятся:

– **Геометрическая высота всасывания (h_b)** – это расстояние от уровня воды в нижнем бьефе до оси насоса. Если насос расположен выше уровня воды, то высота всасывания будет положительной и отрицательной, если его ось расположена ниже уровня воды нижнего бьефа, то есть насос расположен «под заливом» (рис. 5.3).

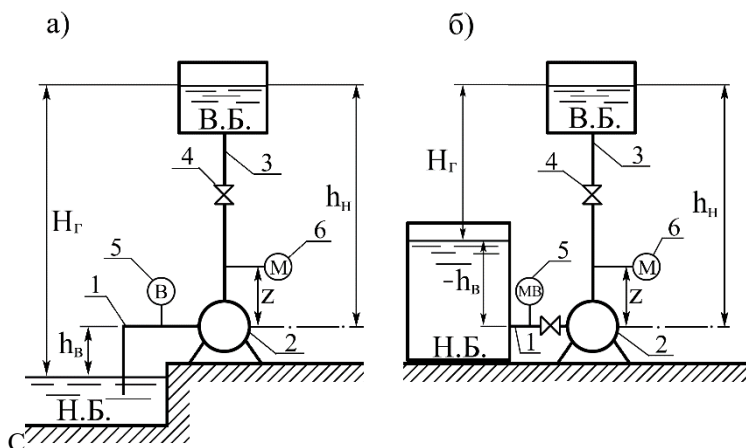


Рис. 5.3. Схемы насосной установки: а – с положительной высотой всасывания; б – отрицательной высоты всасывания

Приведенная геометрическая высота всасывания – это сумма высоты всасывания и потерь напора во всасывающем трубопроводе

$$H_{в.п.} = h_{в.} + h_{т.в.}$$

Вакуумметрическая высота – сумма приведенной геометрической высоты всасывания и скорости и потерь напора во всасывающем трубопроводе

$$H_{вак} = H_{в.п.} + \frac{v^2}{2g}$$

Геометрическая высота нагнетания ($h_{н.}$) – расстояние от оси насоса до уровня воды в верхнем бьефе. Она может быть положительной (рис.5.2.а) и отрицательной (рис.5.2.б.).

Приведенная высота нагнетания – сумма высоты нагнетания и потерь напора в нагнетательном трубопроводе

$$H_{н.п.} = h_{н.} + h_{т.н.}$$

5.4. Характеристики насосов

Характеристиками насосов называют графики зависимостей напора H , мощности N и η (К.П.Д) от подачи Q при определенной частоте вращения ротора n насосного агрегата.

Для лопастных насосов в идеальных условиях (перекачивается идеальная жидкость рабочим колесом с бесконечным количеством лопаток) теоретическая связь параметров (напора, подачи, мощности КПД) – линейная. Реальные условия делают эту связь криволинейной, не поддающейся математическому описанию формулами. Поэтому ее устанавливают экспериментально, путем испытаний на специальных стендах при постоянном числе оборотов рабочего колеса. Результаты испытаний изображают в виде графиков зависимости напора, мощности и КПД насоса от его подачи, которые называются **частными характеристиками**. Они строятся на одном поле с соответствующими шкалами (рис. 5.4.) и заносятся в каталог, с помощью которого определяют насос.

Зависимость напора от подачи, выраженная графически, называется напорной характеристикой насоса $Q - H$. Графики, выражающие зависимости потребляемой мощности N и коэффициента полезного действия η от подачи Q при постоянном числе оборотов n называют мощностью и графической характеристикой К.П.Д.

Потребляемая мощность (мощность на валу) насоса в Вт равна

$$N = \frac{9,8\rho \cdot Q \cdot H}{\eta_n}$$

где η_n – полный коэффициент полезного действия, принимается по паспорту насоса;

ρ – плотность, кг/м³;

Q – подача, м³/с;

H – напор, м.

Мощность электродвигателя в Вт определяют по формуле

$$N_3 = \frac{9,8\rho \cdot Q \cdot H}{\eta} K$$

где K – коэффициент запаса мощности двигателя.

Для построения графических характеристик насоса его подвергают испытаниям на стенде и экспериментальным путем определяют действительную (рабочую) характеристику насоса.

В процессе испытания определяют напоры при соответствующих им подачах. Одновременно во время испытания насоса при установленном режиме замеряют расходуемую мощность на валу насоса и для каждой подачи определяют полезную мощность, подсчитывают значения коэффициента полезного действия. Полученные кривые $Q - H$, N и η называют **рабочими характеристиками** центробежного насоса.

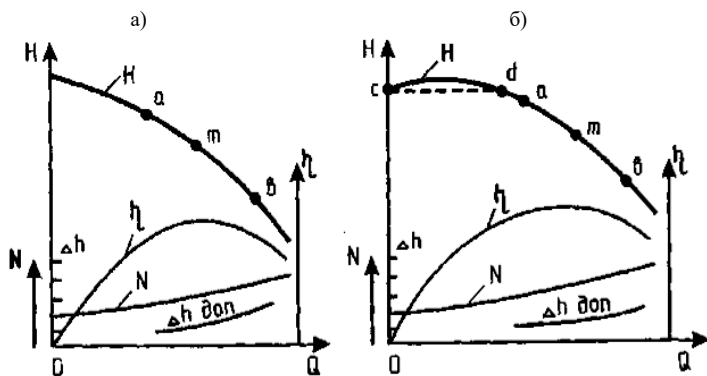


Рис. 5.4. Характеристики центробежного насоса:
а – стабильная; б – нестабильная

На рис. 5.4 буквой H обозначена напорная характеристика $H = f(Q)$, которая показывает, что с увеличением подачи от 0 на графике «а» напор плавно уменьшается, в то же время на втором графике «б» напор сначала несколько увеличивается, а потом уже плавно уменьшается.

Первый случай свидетельствует о стабильной работе насоса, так как одной подаче соответствует одно значение напора, на втором, в зоне $c - d$ одной подаче соответствует два напора, что делает работу насоса нестабильной и эксплуатировать его в этой зоне нельзя.

Наиболее эффективно насос будет работать в зоне между точками «а» и «б», соответствующая наибольшим значениям КПД (кривая $\eta = f(Q)$) и носит название «рабочая область насоса».

Рабочая область насоса – это диапазон изменений подачи и напора, соответствующий КПД, которые отличаются от максимального значения (точка m на рис. 5.3.1) не более чем на 10 % (зона $a - б$).

Кривая, обозначенная буквой N (рис. 5.3.1), называется мощностной характеристикой и показывает функциональную связь мощности и подачи $N = f(Q)$. При закрытой задвижке на напорном трубопроводе ($Q = 0$)

потребляемая насосом мощность — минимальная и это облегчает пуск электродвигателя, так как он не будет испытывать перегрузок.

На рис. 5.5 показаны частные характеристики центробежных насосов типа Д, которые получены при заводских испытаниях и помещены в каталог насосов, поэтому их называют **типовыми**.

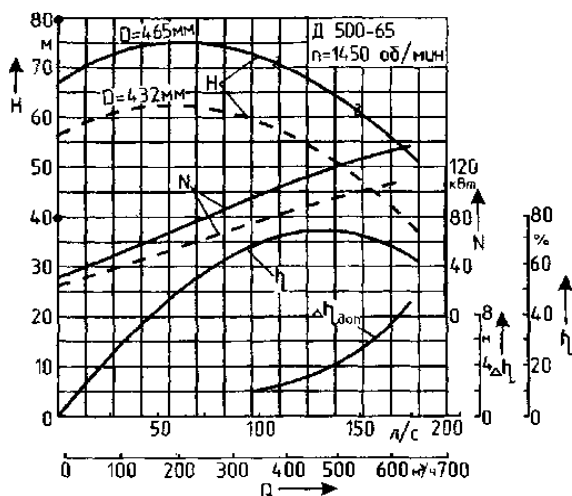


Рис. 5.5. Типовые частные характеристики центробежных насосов

Подобрать насосы с параметрами, точно соответствующими заданным: подаче Q и напору H , часто бывает невозможно, поэтому в этих случаях изменяют их характеристики. Один из способов изменения характеристик лопастных насосов — использование для их привода двигателей с другими частотами вращения. Характеристики центробежных насосов можно изменить, уменьшая диаметр рабочего колеса, обтачивая его лопасти или уменьшая частоту его вращения. КПД насоса при обтачивании немного уменьшается, но чем меньше, значение n (частота вращения) насоса, тем больше можно обточить его рабочее колесо.

Универсальные характеристики центробежных насосов, имеющих различные частоты вращения, приведены на рисунке 5.6. Они построены в соответствии с законом подобия лопастных насосов. По ним легко определить наивыгоднейшие значения Q , H , η . Они

позволяют судить о подаче (Q), напоре (H) и КПД при всех практически возможных частотах вращения рабочего колеса.

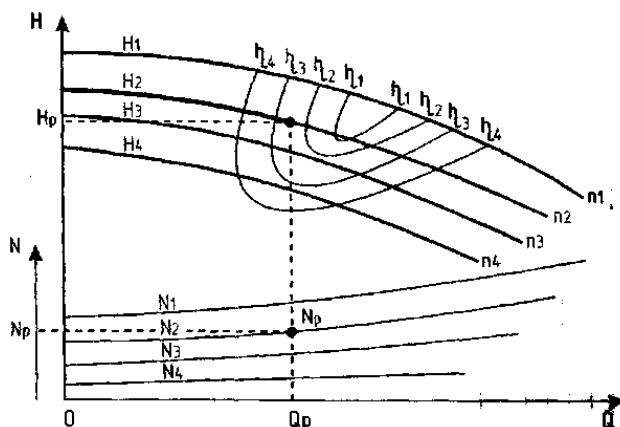


Рис. 5.6 Универсальная характеристика центробежного насоса

В связи с тем, что напор и расход осевого насоса изменяются в зависимости от изменения числа оборотов n , диаметра рабочего колеса D и угла установки лопаток θ° , нужно иметь свою частную характеристику число которых станет очень большим, что создает неудобства пользования ими. Поэтому переходят к универсальным характеристикам, которые бывают размерные и безразмерные. Размерные универсальные характеристики строятся на основе частных.

5.5. Производительность и напор пожарных насосов

Подачу и напор противопожарного насоса определяют в соответствии с принятой схемой пожаротушения и противопожарными нормами.

Во время пожара, помимо противопожарного расхода, должен одновременно подаваться и максимальный хозяйственно-питьевой расход. При пожаре водонапорная башня (и водоподъемная установка) отключается и напор противопожарных насосов определяется без учета ее высоты.

Напор насосной станции – это сумма геодезического напора плюс потери напора по пути движения воды, определяемый по формуле

$$H_{п.н.} = H_{г} + \sum h$$

где $H_{г}$ – геодезическая высота подъема воды;

$\sum h$ – сумма потерь напора при совместном пропуске максимального хозяйственно-питьевого и пожарного расходов.

$$H_{г} = (z_{дт} + H_{св}) - z_{д}$$

где $z_{дт}$ – отметка дна резервуара чистой воды;

$H_{св}$ – свободный напор равный 10 м;

Для диктующей точки, находящейся на тупике потери напора определяют по формуле

$$\sum h = h_{вод} + \sum h_{с}$$

где $h_{вод}$ – потери напора в водоводе при пропуске;

$\sum h_{с}$ – потери напора в сети при пропуске расчетного расхода.

Расчетный расход определяется по формуле

$$q_{расч} = q_{тахчас}^{сист} + q_{пож}$$

Производительность противопожарных насосов

$$Q_{пн} = q_{тахчас}^{сист} + 3,6q_{пож}$$

где $q_{пож}$ – противопожарный расход, л/с.

По полученным значениям напора и расхода подбирается насос.

5.6. Режимы работы насосной установки

При постоянном или периодическом недостатке напора в системах водоснабжения, а также при необходимости поддержания принудительной циркуляции в централизованных системах горячего водоснабжения необходимо предусматривать устройство насосных установок.

Тип насосной установки и режим её работы определяется на основании технико-экономического сравнения разработанных вариантов:

- непрерывно или периодически действующих насосов при отсутствии регулирующих ёмкостей;
- насосов производительностью, равной или превышающей максимальный часовой расход воды, работающих в повторно-кратковременном режиме совместно с гидропневматическими или водонапорными баками;
- непрерывно или периодически действующих насосов производительностью менее максимального часового расхода воды, работающих совместно с регулирующей ёмкостью.

Насосные установки, подающие воду на хозяйственно-питьевые, противопожарные и циркуляционные нужды, устанавливаются в помещениях тепловых пунктов, бойлерных и котельных. Не допускается располагать насосные установки (кроме пожарных) непосредственно под жилыми квартирами, групповыми комнатами детских садов, классами общеобразовательных школ, больничными помещениями, рабочими комнатами административных зданий, аудиториями учебных заведений и другими подобными помещениями.

В отдельных случаях по согласованию с местными органами санитарно-эпидемиологической службы допускается располагать насосные установки рядом с перечисленными помещениями, при этом суммарный уровень шума в помещениях на должен превышать 30 дБ.

Насосные установки, обслуживающие отдельные кварталы городской застройки, а также производственные насосные установки проектируются в соответствии со СНиП 2.04.02-84*.

Производительность хозяйственно-питьевых и производственных насосных установок принимается:

- при отсутствии регулирующей ёмкости – не менее максимального секундного расхода воды;
- при наличии водонапорного или гидропневматического бака и насосов, работающих в повторно-кратковременном режиме, – не менее максимального часового расхода воды.

При наличии в зданиях и сооружениях систем холодного и централизованного горячего водоснабжения при закрытой системе теплоснабжения, как правило, предусматривается повысительная насосная установка для подачи общего расхода воды на холодное и горячее водоснабжение.

В местной повысительной установке необходимо предусматривать **параллельную** работу насосов.

При колебаниях давлений в наружной сети водопровода более 0,2 МПа для жилых зданий необходимо предусматривать последовательную работу насосов с автоматическим включением в зависимости от требуемого давления.

При давлении в наружной сети водопровода менее 0,05 МПа перед насосной установкой необходимо предусматривать устройство приемного резервуара, емкость которого определяется согласно разделу 13 СНиП 2.04.01-85*.

Проектирование насосных установок и определение числа резервных агрегатов выполняется согласно СНиП 2.04.02-84 с учетом параллельной или последовательной работы насосов в каждой ступени. Наименьшее число агрегатов в насосной установке два - рабочий и резервный.

На напорной линии у каждого насоса необходимо предусматривать обратный клапан, задвижку и манометр, а на всасывающей - установку задвижки и манометра (рис. 5.7).

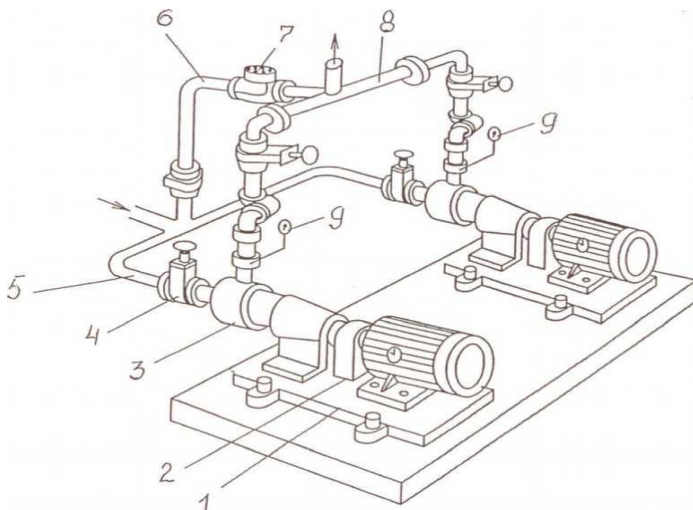


Рис 5.7. Насосная установка:

- 1 - насосный агрегат; 2 - двигатель насоса; 3 - насос; 4 - задвижка;
- 5 - всасывающий трубопровод; 6 - обводная линия; 7 - обратный клапан;
- 8 - напорный трубопровод; 9 - манометр

Насосные установки систем холодного водоснабжения, циркуляционные и циркуляционно-повысительные насосные системы горячего водоснабжения проектируют: с ручным, дистанционным или автоматическим управлением.

5.7. Понятие о кавитации. Причины возникновения кавитации и меры ее предупреждения

Кавитация представляет собой процесс нарушения сплошности потока жидкости, который начинается на тех участках, где давление понижается до критического (давления парообразования) и заканчивается на участках с давлением больше критического. Для обычной воды это давление зависит практически только от ее температуры и не превышает для естественных условий ($t \leq 30^\circ\text{C}$) 0.004 Мпа. В месте понижения давления жидкость вскипает с образованием многочисленных пузырьков-каверн, заполненных паром и небольшим количеством газа, находившегося в ней до возникновения явления кавитации в растворенном состоянии. Первые каверны двигаются вместе с потоком жидкости и попадают в область, в которой статическое давление превышает давление насыщенных паров. Пар в кавернах мгновенно конденсируется, образуется глубокий вакуум, и жидкость устремляется к центрам каверн и разрушает их. Процесс кавитации, или нарушения и восстановления сплошности потока, завершается. Скорости частиц жидкости, устремляющиеся к центру каверн, довольно высокие. Поэтому при смыкании каверн происходит местный гидравлический удар, сопровождаемый шумом и вибрациями. В момент его возникновения мгновенные местные давления могут достигать нескольких десятков мегапаскалей. При возникновении кавитации резко возрастают потери напора в жидкости. Если каверны исчезают вблизи какой-либо стенки, то следующие с большой частотой местные гидравлические удары через некоторый промежуток времени начинают разрушать ее поверхность, действуя как гидравлические клинья, образовавшиеся в результате проникновения мельчайших частиц в поры материала. Выделившееся из жидкости в каверну небольшое количество газа (воздуха) при быстром ее смыкании не успевает раствориться вновь. Поэтому газ сжимается, давление в нем, а следовательно, и его кратковременная температура значительно возрастают, развиваются электролитические процессы. Все это приводит к возникновению у стенки химических, тепловых и

электролитических процессов, повышающих разрушительное воздействие кавитации на ее материал. Повехность стенки приобретает характерный «изъявленный» вид. Такой тип разрушения материала получил название **кавитационная эрозия**.

В лопастных насосах кавитация возникает в той области их проточной части, где статическое давление в перекачиваемой жидкости наименьшее: у входа на лопасть с тыльной стороны на максимальном диаметре. При дальнейшем движении жидкости благодаря передаче ей лопастями энергии статическое давление в ее потоке возрастает, что приводит к разрушению каверн. В зоне разрушения каверн происходит кавитационная эрозия стенок лопастей и дисков центробежного рабочего колеса. При развитой кавитации изменяются напор, потребляемая мощность и КПД насоса (обычно падает). А при сильно развитой кавитации нарушается его работа. Кавитация в насосе сождается шумом, вибрациями. Кавитация может быть профильной, возникающей из-за неверно очерченного профиля проточной части, щелевой, возникающей из-за конструктивных недоработок, и шероховатой, которая возникает из-за чрезмерной шероховатости стенок проточной части насоса. При эксплуатации насосов возникновение кавитации возможно по следующим причинам: завышенная высота всасывания, что обначает установку насоса на большом удалении от воды; низкое атмосферное давление на поверхности воды; высокая температура перекачиваемой жидкости; большие сопротивления во всасывающей трубе из-за неверно подобранного ее диаметра или из-за большой длины и местных сопротивлений; негерметичность всасывающей линии.

Основная мера предупреждения кавитации – правильный выбор геометрической высоты всасывания. Дополнительными мерами – являются: увеличение давления на поверхности воды в нижнем бьефе, понижение температуры жидкости, уменьшение длины всасывающих труб и т.д.

5.8. Всасывающие, подводящие и напорные трубопроводы

Всасывающие трубопроводы подводят воду от камер водозаборных сооружений к всасывающим патрубкам насосов. Давление в них, может быть меньше атмосферного, поэтому они должны быть герметичны. Всасывающие трубопроводы прокладывают только стальные. Если насосы работают только с отрицательной

высотой всасывания (находятся под заливом), то трубы, транспортирующие воду к насосам, называют **подводящими**.

Прокладывают трубы с подъемом к насосам для того, чтобы не образовывались воздушные мешки. Входная часть заглубляется под минимальный уровень воды настолько, чтобы не попадал воздух через воронку, формирующуюся при работе насоса. Всасывающие трубопроводы проектируют по возможности короткими (до 30 м) с минимальным числом стыков, поворотов и переходов (резкие переходы и повороты не допускаются), чтобы потери напора в них были небольшими. Число таких трубопроводов принимают равное числу насосов. Всасывающие трубопроводы вне здания насосной станции прокладывают на опорах, устанавливаемых с учетом глубины промерзания грунта. Внутри здания всасывающие трубопроводы диаметром более 300 мм прокладывают выше пола, а диаметром до 300 мм – как выше, так и ниже (в специальных каналах) пола. Заполняют их водой перед пуском основных насосов с помощью вакуумных насосов с водовоздушными баками. Для предотвращения опорожнения при отключении насосов на всасывающих трубопроводах диаметрами до 400 мм допускается устанавливать специальные приемные клапаны сеткой, работающие как обратные, хотя это и приводит к возрастанию гидравлического сопротивления. Если насос в отдельные периоды работает с отрицательной высотой всасывания, то для возможности его отключения или замены всасывающие трубопроводы оснащают запорной арматурой (укороченными задвижками, имеющими меньшие габаритные размеры и массу, чем обычные), или дисковыми затворами, рассчитанными на небольшое давление.

Расчет всасывающих труб заключается в определении размеров ее отдельных элементов (рис. 5.8.).

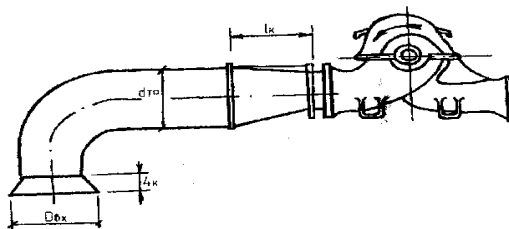


Рис. 5.8. Схема всасывающей трубы насоса

Расчетная формула для определения диаметров

$$D = 1,13 \cdot \frac{Q_p}{V_{оп}}$$

где: Q_p – расчетный расход насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

$V_{оп}$ – оптимальная скорость движения воды.

На входе в всасывающую трубу скорость принимается равной 0,6–0,8 м/с, а в трубе она равна 1,0–1,5 м/с. Переход от большого диаметра к меньшему осуществляется при помощи одностороннего конуса с горизонтальной верхней образующей, что препятствует заземлению воздуха.

Длина переходного конуса определяется по формуле

$$\ell_k = (3 - 4) \cdot (d_{тр} - d_{в.п.})$$

где: $d_{тр}$ – диаметр трубы;

$d_{в.п.}$ – диаметр всасывающего патрубка.

Подводящие трубопроводы находятся всегда под избыточным давлением воды, и поэтому выполняются не только стальными, но и железобетонными (сборными и монолитными) как с подъемом, так и с понижением к насосу.

Напорные трубопроводы отводят воду от насосов и транспортируют до водовыпускного сооружения. Различают внутростанционные и внестанционные напорные трубопроводы. На трубопроводах расположенных внутри здания насосной станции размещают: запорную (задвижки), предохранительную (обратные клапаны), измерительную (водомеры) арматуру.

Число внестанционных напорных трубопроводов может быть меньше количества установленных насосов, то есть 2 – 3 насоса объединяют для работы на одну нитку напорного трубопровода (рис. 5.9).

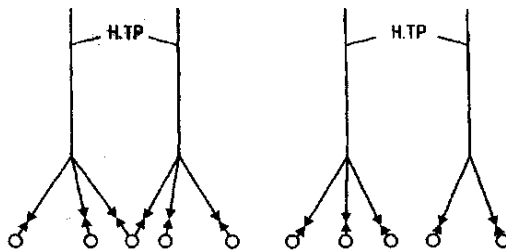


Рис. 5.9. Схемы объединения напорных трубопроводов

Материал трубопроводов выбирают в зависимости от расчетного давления и диаметра. Расчетное давление определяет, исходя из высоты подъема воды и потерь напора в трубопроводе с учетом повышения давления при возможном возникновении гидравлического удара.

5.9. Запорная (затвора) и контрольно-измерительная аппаратура

К основным параметрам трубопроводной арматуры относят диаметр условного прохода (D_y) и условное давление рабочей среды (p_y).

Диаметром условного прохода (D_y) называют номинальный внутренний диаметр трубопровода, на котором устанавливают арматуру.

Условным давлением (p_y) является наибольшее избыточное рабочее давление при температуре рабочей среды 20 °С.

В каталогах трубопроводной арматуры обычно указывают и ее рабочее и пробное давления. **Рабочим** называют наибольшее избыточное давление, при котором арматура работает длительное время при рабочей температуре жидкой среды, а **пробным** – избыточное давление, при котором арматуру и соединительные части трубопроводов подвергают гидравлическим испытаниям на прочность и плотность. При температуре рабочей среды 20 °С рабочее давление равно условному значению. При определении условного давления и подборе необходимой арматуры допускается превышение до 5 % фактического давления над указанным значением условным.

Запорная арматура предназначена для перекрытия потока воды в трубопроводах. К ней относят: задвижки, дисковые затворы, вентили, краны.

Задвижки служат для частичного или полного закрытия трубопровода. Проход задвижки перекрывают запорными дисками, управляемыми винтовым шпинделем. Задвижки по конструкции запоров дисков делят на параллельные и клиновые, а по конструкции шпинделя – с выдвижным и не выдвижным шпинделем (рис. 5.10.1, а, б и 5.10.2). В параллельных задвижках проход корпуса перекрывается двумя дисками, которые при полном закрытии отверстия раздвигаются в стороны опорным клином и уплотняют зазоры. В клиновых задвижках уплотнение прохода достигается за счет клинообразной формы запорного диска.

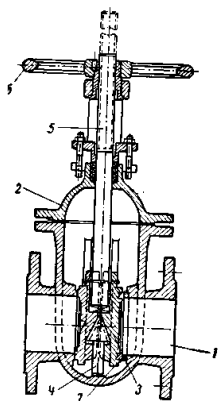


Рис. 5.10.1. Параллельная задвижка:
а) с выдвижным шпинделем;
б) с невыдвижным шпинделем

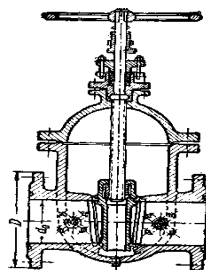
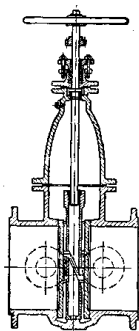


Рис. 5.10.2. Клиновая задвижка с невыдвижным шпинделем

Задвижки по форме могут быть плоскими, овальными, круглыми.

При низких значениях давления жидкости применяют плоские задвижки, а при средних значениях – овальные, круглые задвижки применяют при высоких давлениях жидкости.

Достоинство задвижек любой конструкции – хорошая герметичность при перекрытии трубопроводов. К недостаткам относятся значительные габаритные размеры и их масса, неравномерное изменение гидравлического сопротивления при закрытии.

Дисковые поворотные затворы в отличие от задвижек имеют меньшие габаритные размеры и массу, лучшие гидравлические

характеристики, более высокую надежность в работе. Коэффициент гидравлического сопротивления ξ при полностью открытом затворе несколько больше, чем при полностью открытой задвижке. Это объясняется тем, что в открытом состоянии диск несколько уменьшает проходное сечение трубопровода. При закрытии затвора значение коэффициента гидравлического сопротивления ξ изменяется незначительнее, чем при закрытии задвижки. Поэтому при равномерном закрытии задвижки и затвора одинаковых диаметров за одно и то же время давление в трубопроводе, оснащённом задвижкой, повышается на большие значения, чем в трубопроводе, оснащённом затвором. Дисковые поворотные затворы выпускают диаметрами $D_y = 100 - 2800$ мм как с уплотнением по диску, так и с уплотнением по корпусу. Затворы с уплотнением по диску обеспечивают одностороннюю герметизацию при направлении потока жидкости к диску со стороны вала. Затворы с уплотнением по корпусу обеспечивают двустороннюю герметизацию.

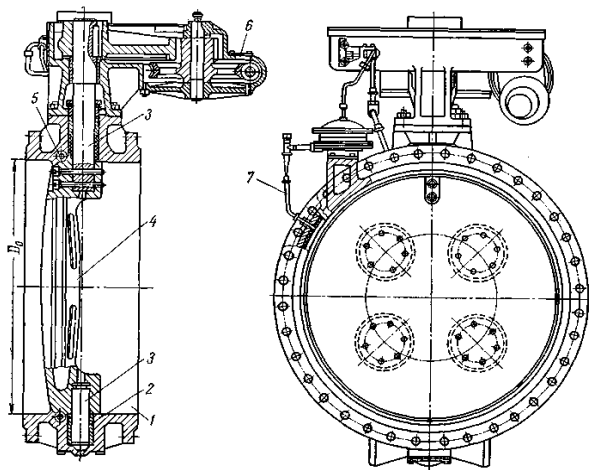


Рис. 5.10.3. Поворотный дисковый затвор (дроссель) с электроприводом:
1 – корпус; 2 – опора; 3 – полуось; 4 – поворотный диск; 5 – шланг уплотнения;
6 – электропривод; 7 – подача сжатого воздуха для уплотнения

Вентили изготавливают относительно небольших диаметров. Их открывают и закрывают с помощью золотника, насаженного на

шпindel. Степень открытия можно определить по высоте подъема шпindelа. Для подъема и опускания золотника на шпindelе имеется резьба.

Пробковые краны выпускают небольших размеров. Сечение трубопровода перекрывает поворачивающийся на 90° конусный вкладыш (пробка), притертый к внутренней поверхности корпуса. Поскольку сечение перекрывается очень быстро, процесс перекрытия может сопровождаться гидравлическим ударом.

Обратные клапаны (рис. 5.10.4) предназначены для автоматического предотвращения обратного тока воды в трубопроводе, например при остановке насосов. Обратные клапаны могут быть подъемные и поворотные.

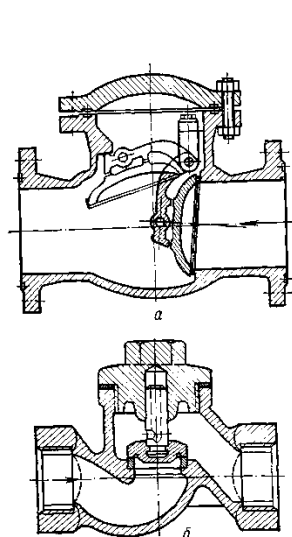


Рис. 5.10.4. Обратные клапаны:
а – поворотный; б – подъемный

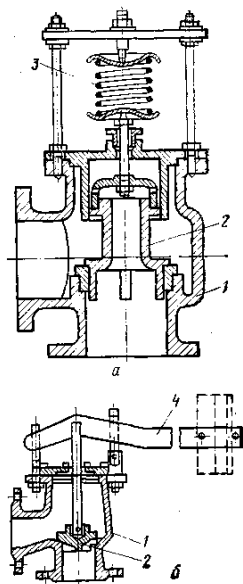


Рис. 5.10.5. Предохранительные клапаны:
а – пружинный; б – рычажно-грузовой;
1 – корпус; 2 – клапан; 3 – пружина; 4 – рычаг

Предохранительные клапаны (рис. 5.10.5.) устанавливают на трубопроводах в случае опасности возникновения очень высоких

давлений. При повышении давления сверх допустимого значения клапан открывается, давая выход из трубопровода в атмосферу, чем предотвращается дальнейшее его повышение. Для борьбы с гидравлическими ударами, возникающими вследствие внезапной остановки насосов, устанавливают специальные клапаны – гасители удара, открывающиеся при возникновении волны пониженного давления.

Контрольно-измерительная аппаратура служит для осуществления полной или частичной автоматизации работы насосной станции. Она контролирует состояние оборудования и уровня режима, верхнего и нижнего бьефа, а также подает сигналы в систему автоматики. Для этих целей служат сигнализаторы, датчики уровней, расходомеры.

5.1. Насосные станции в системе водоснабжения

5.1.1. Классификация насосных станций для водоснабжения

Насосной станцией называется совокупность сооружений, машин и аппаратов, служащих для подъема воды.

Водопроводные насосные станции разделяют на:

- станции I подъема, поднимающие воду из водозабора;
- станции II подъема, подающие воду из резервуаров (чистой воды или других) в водопроводную сеть или в водонапорную башню.

При зонировании сетей и водоводов могут устраиваться насосные станции (перекачки) — III подъема, IV и т. д. При использовании подземных вод, не требующих очистки, можно ограничиться одним подъемом. Небольшие насосные станции I и II подъема иногда объединяют в одном здании.

. Водисточником насосной станции I подъема служат воды поверхностных и сточников (реки, озера, водохранилища, пруды) и подземных водоносных пластов. Конструкция головной насосной станции зависит от типа водисточника и от места его расположения. Схема головной насосной станции I подъема может быть берегового типа или русловой тип. Конструкция насосной станции I подъема при заборе подземных вод для водоснабжения зависит от глубины их расположения, а, значит, от типа сооружения, которое эти воды собирает. Если подземные воды расположены сравнительно на небольшой глубине, то в качестве водозаборного сооружения служит

шахтный колодец. В случае, когда грунтовые воды залегают глубоко, забор их осуществляется буровыми скважинами, в которые опускаются погружные насосы.

Для подкачки воды (увеличения напора) строят насосные станции подкачки, в которых насосы, забирая воду из участка трубопровода, где напор недостаточен, подают ее в последующий участок с увеличенным напором.

В зависимости от глубины положения уровня воды в вод источнике:

- наземные (не заглубленные) – насосные станции располагают на поверхности земли;

- заглубленные – их заглубляют для обеспечения допустимой высоты всасывания насосов.

При низком состоянии динамического уровня воды во избежание заглубления всей насосной станции применяют вертикальные, в частности скважинные центробежные насосы.

По надежности действия подразделяются на три категории.

К I категории относятся насосные станции, в которых не допускается перерывов в подаче воды.

На станциях II категории возможны кратковременные перерывы в подаче на время включения резервного электроснабжения.

На станциях III категории – перерывы продолжительностью до одних суток на время ликвидации аварии.

Насосные станции сельскохозяйственных водопроводов относятся ко II, а при числе жителей до 5000 человек в поселке – к III категории.

5.1.2. Режимы работы насосных станций I и II подъема

Режим работы насосной станции первого подъема определяется совокупностью факторов, включающих в себя потребление воды, характеристики источника водоснабжения и технические параметры насосного оборудования. Основной задачей является обеспечение бесперебойной подачи воды требуемого качества и в необходимом объеме потребителям.

Режим работы насосной станции может быть постоянным или переменным. Постоянный режим характеризуется стабильной производительностью насосов и применяется при относительно равномерном водопотреблении. Переменный режим, напротив,

предполагает изменение производительности насосов в зависимости от колебаний водопотребления в течение суток, недели или года. Регулирование производительности осуществляется путем включения и выключения насосов, изменения частоты вращения электродвигателей, а также применением регулирующей арматуры.

Оптимизация режима работы насосной станции первого подъема включает в себя минимизацию энергопотребления, снижение износа оборудования и предотвращение аварийных ситуаций. Для этого используются различные методы, такие как автоматическое управление насосами на основе данных о давлении и расходе воды, а также применение систем диспетчеризации и мониторинга.

Эффективное управление режимом работы насосной станции первого подъема требует точного прогнозирования водопотребления. Прогнозы основываются на статистических данных, анализе динамики водопотребления за предыдущие периоды и учете факторов, влияющих на изменение потребления, таких как сезонность, время суток, дни недели и наличие промышленных потребителей. На основе прогнозов разрабатываются графики работы насосов, определяющие оптимальное количество работающих агрегатов и их производительность.

Важным аспектом является поддержание оптимального давления в системе водоснабжения. Слишком высокое давление может привести к повреждению трубопроводов и арматуры, а слишком низкое – к недостаточному водоснабжению потребителей. Регулирование давления осуществляется путем изменения производительности насосов и использования регуляторов давления. Необходим постоянный мониторинг давления в различных точках системы для оперативного реагирования на отклонения от заданных параметров.

Для обеспечения надежной работы насосной станции необходимо регулярное техническое обслуживание оборудования. Обслуживание включает в себя проверку состояния насосов, электродвигателей, трубопроводов, арматуры и контрольно-измерительных приборов. Проводятся профилактические работы, такие как смазка подшипников, очистка фильтров и проверка герметичности соединений. Своевременное выявление и устранение неисправностей позволяет предотвратить аварийные ситуации и продлить срок службы оборудования.

В современных насосных станциях первого подъема широко используются автоматизированные системы управления. Автоматизация позволяет оптимизировать режим работы насосов,

поддерживать заданные параметры водоснабжения, контролировать состояние оборудования и оперативно реагировать на аварийные ситуации. Системы диспетчеризации и мониторинга обеспечивают централизованное управление насосной станцией и позволяют оперативно получать информацию о ее работе.

Режим работы насосной станции второго подъема определяется несколькими ключевыми факторами, включая требуемый расход воды в системе водоснабжения, характеристики насосного оборудования и объем резервуаров чистой воды (РЧВ). Целью является обеспечение надежного и бесперебойного водоснабжения потребителей при минимальных энергетических затратах.

Обычно, насосные станции второго подъема работают в автоматическом режиме, управляемом сигналами датчиков уровня воды в РЧВ. При снижении уровня воды до заданного минимального значения включаются насосы для поддержания необходимого объема. Использование частотно-регулируемого привода (ЧРП) позволяет плавно регулировать производительность насосов, оптимизируя энергопотребление в зависимости от текущей потребности в воде.

Для определения оптимального режима работы проводят гидравлические расчеты сети водоснабжения, учитывая пиковые и минимальные расходы воды, а также потери напора в трубопроводах. На основании этих расчетов выбираются параметры насосного оборудования и разрабатываются алгоритмы управления. Важным аспектом является обеспечение резервирования насосов для поддержания работоспособности станции в случае выхода из строя одного или нескольких агрегатов.

Эффективность работы насосной станции второго подъема контролируется посредством мониторинга основных параметров, таких как расход воды, давление в системе и потребляемая электроэнергия. Полученные данные используются для анализа работы оборудования, выявления возможных проблем и оптимизации режимов работы. Современные системы диспетчеризации позволяют осуществлять удаленный мониторинг и управление насосной станцией, что повышает надежность и эффективность водоснабжения.

Оптимизация режима работы насосной станции второго подъема также включает в себя анализ графиков потребления воды в течение суток, недели и года. Эти данные позволяют адаптировать работу насосов к изменяющимся потребностям, снижая энергозатраты в периоды минимального водопотребления. Внедрение

интеллектуальных систем управления, использующих алгоритмы прогнозирования водопотребления, позволяет более точно регулировать производительность насосов и поддерживать оптимальный уровень воды в РЧВ.

Важным аспектом является поддержание насосного оборудования в исправном состоянии. Регулярное техническое обслуживание, включающее в себя проверку и замену изношенных деталей, позволяет предотвратить аварийные ситуации и продлить срок службы оборудования. Также необходимо проводить периодическую диагностику насосов с использованием специализированного оборудования для выявления скрытых дефектов и оптимизации их работы. Внедрение систем учета и контроля воды позволяет выявлять и устранять утечки в системе водоснабжения, что также способствует снижению общих затрат на электроэнергию. Регулярный анализ данных учета воды позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы и предотвращать потери воды.

5.1.3. Согласование режимов работы насосных станций первого и второго подъема

Согласование режимов работы насосных станций первого и второго подъема является важной задачей при проектировании и эксплуатации систем водоснабжения. Неправильное согласование может привести к нестабильной работе всей системы, повышенному износу оборудования, аварийным ситуациям и неэффективному использованию электроэнергии.

Основная цель согласования режимов – обеспечение подачи требуемого объема воды потребителям с заданным напором при минимальных эксплуатационных затратах. Для достижения этой цели необходимо учитывать ряд факторов, включая: графики водопотребления, характеристики насосного оборудования, гидравлические параметры трубопроводов и емкостей, а также требования к качеству воды.

Согласование режимов осуществляется путем подбора оптимальных параметров работы насосов первого и второго подъемов, таких как частота вращения, число работающих агрегатов и время их включения/выключения. Важным этапом является разработка алгоритмов управления насосными станциями, обеспечивающих поддержание заданного давления в системе и уровня воды в

резервуарах. Существуют различные методы управления, включая поддержание постоянного давления, поддержание постоянного расхода, каскадное управление и управление по графику.

Эффективное согласование режимов требует применения современных методов математического моделирования и оптимизации. Использование специализированного программного обеспечения позволяет анализировать работу системы водоснабжения в различных режимах, прогнозировать ее поведение при изменении параметров и выбирать оптимальные стратегии управления. Важным аспектом является также внедрение систем автоматизированного управления (САУ), обеспечивающих оперативный контроль и регулирование работы насосных станций в режиме реального времени.

Воду из источника водоснабжения захватывают с помощью водозаборных сооружений и насосной станции первого подъема подают на очистную станцию. Очищенная вода поступает в резервуары чистой воды.

Режим работы насосной станции II подъема выбирают по графику водопотребления. Насосные станции II подъема подают воду в водопроводную часть и водонапорную башню, когда водопотребление меньше, чем водоподача, когда же водопотребление превышает подачу насосной станции, вода поступает одновременно от насосной станции и из конреервуара.

В заключение, согласование режимов работы насосных станций первого и второго подъема – это сложная и многогранная задача, требующая комплексного подхода и учета множества факторов. Правильное согласование позволяет обеспечить надежное и экономичное водоснабжение, снизить эксплуатационные затраты и продлить срок службы оборудования.

5.1.4. Водоподъемное оборудование на насосной станции 2-го подъема и его подбор

На насосной станции 2-го подъема устанавливаются насосы для подачи воды в сеть при хозяйственном водопотреблении и насосы для подачи воды в сеть при пожаротушении.

Для обеспечения бесперебойной подачи воды на насосной станции, кроме рабочих, устанавливают резервные насосные агрегаты. Число резервных насосных агрегатов устанавливают в зависимости от

категории надежности насосной станции и числа рабочих насосов, включая противопожарный.

Таблица 5.1. **Число резервных насосов в зависимости от категории надежности насосных станций и числа рабочих насосов**

Число рабочих насосов	I категория	II категория	III категория
От 1 до 3	2	1	1
От 4 до 6	2	2	1
От 7 до 9	3	3	2

Хозяйственные насосы.

Часовая производительность насосной станции 2-го подъема

$$Q_{nc2} = \frac{Q_{max}^{сист}}{T_{nc2}} \text{ м}^3/\text{час}$$

где T_{nc2} – оптимальный период работы насосной станции 2-го подъема, обеспечивающий минимальный регулирующий объем бака водонапорной башни. Определяется в результате согласования режимов водопотребления и водоподачи.

Напор насосов станции второго подъема при схеме питания сети:

с проходным резервуаром

$$H_{nc2} = H_{вб} + H_{б} + h_{вод} + (Z_{вб} - Z_{пз})$$

с контррезервуаром

$$H_{nc2} = H_{вб} + H_{б} + h_{вод} + \sum h + (Z_{вб} - Z_{пз})$$

где $H_{вб}$ – высота ствола башни, м;

$H_{б}$ – высота бака, м;

$Z_{вб}$ – отметка поверхности земли в месте расположения водонапорной башни, м;

$Z_{пз}$ – отметка уровня пожарного запаса в РЧВ, м;

$h_{вод}$ – потери напора в водоводе при пропуске расчетного расхода, м;

$\sum h$ – потеря напора в сети, м.

По полученным значениям напора и расхода подбирается насос.

Пожарные насосы

Подачу и напор противопожарного насоса определяют в соответствии с принятой схемой пожаротушения и противопожарными нормами.

Во время пожара, помимо противопожарного расхода, должен одновременно подаваться и максимальный хозяйственно-питьевой расход. При пожаре водонапорная башня (и водоподъемная установка) отключается и напор противопожарных насосов определяется без учета ее высоты.

Напор насосной станции – это сумма геодезического напора плюс потери напора по пути движения воды, определяемый по формуле

$$H_{п.н.} = H_{г} + \sum h$$

где $H_{г}$ – геодезическая высота подъема воды;

$\sum h$ – сумма потерь напора при совместном пропуске максимального хозяйственно-питьевого и пожарного расходов.

$$H_{г} = (z_{дт} + H_{св}) - z_{д}$$

где $z_{дт}$ – отметка дна резервуара чистой воды;

$H_{св}$ – свободный напор равный 10 м;

Для диктующей точки, находящейся на тупике потери напора определяют по формуле

$$\sum h = h_{вод} + \sum h_c$$

где $h_{вод}$ – потери напора в водоводе при пропуске;

$\sum h_c$ – потери напора в сети при пропуске расчетного расхода.

Расчетный расход определяется по формуле

$$q_{расч} = q_{тахчас}^{сист} + q_{пож}$$

Производительность противопожарных насосов

$$Q_{пн} = q_{тахчас}^{сист} + 3,6q_{пож}$$

где $q_{пож}$ – противопожарный расход, л/с.

По полученным значениям напора и расхода подбирается насос.

5.2. Регулирующие сооружения в системе водоснабжения

5.2.1 Регулирующие емкости

Регулирующие емкости позволяют обеспечить более или менее равномерную работу насосных станций, так как отпадает необходимость в подаче ими пиковых расходов воды, а также уменьшить диаметр, а, следовательно, и стоимость водоводов и транзитных магистралей водопроводной сети.

Запасные емкости способствуют повышению надежности систем водоснабжения.

Емкости, используемые в системах водоснабжения, классифицируются следующим образом.

1. По назначению: регулирующие; запасные; запасно-регулирующие.

2. По способу подачи воды из них в сеть: напорные; безнапорные.

Напорные емкости в зависимости от конструкции подразделяют на следующие основные типы:

- водонапорные башни (напор обеспечивается установкой резервуара на поддерживающей конструкции требуемой высоты);
- напорные резервуары (напор обеспечивается установкой резервуара на естественных возвышенностях с требуемыми отметками);
- водонапорные колонны (занимают промежуточное положение между наземными резервуарами и башнями);
- пневматические водонапорные установки (напор создается давлением сжатого воздуха на поверхность воды в герметически закрытых резервуарах).

Потребители расходуют воду в течение суток неравномерно, а насосная станция подает воду более равномерно. Для того чтобы подавать воду в сеть в соответствии с графиком водопотребления прибегают к регулированию.

Регулирование заключается в согласовании различных режимов подачи и потребления воды при помощи аккумулирующих емкостей. При подаче воды в избытке она накапливается в емкостях, а при недостатке – забирается из них. Регулирование обеспечивает сравнительно равномерную работу водозабора, очистных сооружений и насосной станции.

В системах водоснабжения суточное регулирование производят за счет, выравнивания колебаний часовых расходов подачи воды или за

счет многодневного регулирования (регулирование суточных расходов), которое снижает пики суточной подачи.

В автоматизированных системах водоподачи применяют кратковременное регулирование с продолжительностью цикла меньше суток и даже меньше часа.

При выборе режима водоподачи следует иметь в виду, что при любой продолжительности работы насосной станции в течение суток должно быть обеспечено максимальное суточное водопотребление. Оптимальным периодом работы станции будет тот, который максимально приближает режим работы насосов к режиму водопотребления, а, следовательно, обеспечивает минимальную регулируемую емкость.

Обеспечить потребителя водой в час максимального водопотребления можно несколькими путями:

- установкой насосов с общей производительностью равной максимальному часовому ($Q_{\text{НС2}} = Q_{\text{час}}^{\text{max}}$);

- установкой насосов с производительностью $Q_{\text{нас}} < Q_{\text{час}}^{\text{max}}$ и ступенчатым графиком работы НС, при этом подачу насосной станции меняют путем включения в работу одного, двух, трех и т. д. рабочих насосных агрегатов.

- установкой насосов с производительностью $Q_{\text{НС2}} < Q_{\text{час}}^{\text{max}}$ и устройством напорно-регулирующего сооружения.

Согласование режимов водопотребления и водоподачи в системе водоснабжения чаще всего осуществляется установкой насосов с производительностью $Q_{\text{НС2}} < Q_{\text{час}}^{\text{max}}$ и устройством напорно-регулирующего сооружения. Наиболее широкое распространение получили водонапорные башни и автоматические водоподъемные установки.

5.2.2. Водонапорная башня и определение емкости ее бака

Водонапорная башня в системе водоснабжения служит для создания напоров в сети и для регулирования расходов воды. Создание напора в сети осуществляется расположением резервуара водонапорной башни на определённой, расчётной высоте. Регулирование расходов воды в сети происходит следующим образом. В часы минимального расхода в водопроводной сети излишки воды, подаваемой насосами, поступают в водонапорную башню, а когда расход в водопроводной сети превышает производительность насосов или в период, когда насосная станция не

работает, недостающее количество воды поступает из башни в сеть. Водонапорные башни в ряде случаев служат также для хранения 10 минутного противопожарного запаса воды.

К водонапорным башням относят напорно-регулирующие сооружения, у которых бак размещен выше поверхности земли на искусственной опоре. Основные части водонапорной башни – бак, опорная конструкция (ствол) и шатер. Опорную часть (ствол) водонапорных башен возводят из железобетона и стали. Старые водонапорные башни выполнялись из кирпича. Конструкция опорной части может быть в виде сплошных цилиндрических или призматических стаканов (из железобетона, кирпича) или в виде сквозных рам и ферм (из стали, железобетона).

Баки водонапорных башен делают из листовой стали или из железобетона. Форма баков различна. Наибольшее распространение получили цилиндрические баки с разной формой днища – плоской, конической, сферической, эллиптической и др. Реже применяют баки шаровой, грушевидной, грибовидной и других форм. Выбор формы баков определяется материалом, из которого их делают, а также их конструкцией и архитектурой.

Стальные баки имеют сравнительно небольшую массу, не дают течи, но подвержены коррозии и их надо регулярно окрашивать. Баки сваривают из листов стали, которым при этом придают нужный изгиб.

Соотношение размеров цилиндрических баков выбирают с учетом технических и экономических факторов. Чем выше бак и меньше его диаметр, тем меньше и размеры опорной части; однако с увеличением высоты бака возрастают высота подъема воды и затраты электроэнергии. При высоких баках увеличиваются колебания напора в сети. Оптимальное отношение высоты цилиндрической части баков к их диаметру находится в пределах 0,6-1,0.

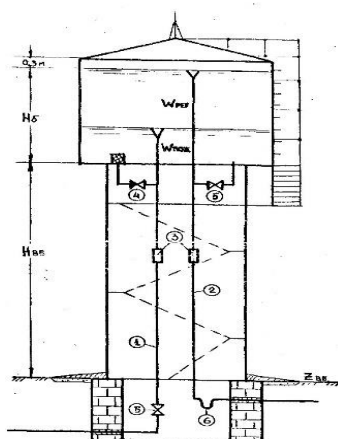


Рис.5.11.1. Схема водонапорной башни.

1 — напорно-разводящая труба;	4 — обратный клапан;
2 — переливная труба;	5 — задвижка;
3 — компенсаторы;	6 — гидравлический затвор.

Вокруг бака устраивают шатер, который предохраняет бак от замерзания и других атмосферных влияний, а также от попадания загрязнений. Его устраивают из легких материалов, обладающих слабой теплопроводностью (пустотелых камней, пенобетона, дерева и др.). Применяют также железобетон. Безшатровые башни с металлическими баками, имеющими наружную теплоизоляцию строят, в местностях с умеренным климатом при условии, что в бак будет поступать вода с положительной температурой и будет обеспечен хороший водообмен.

Башня оборудована лестницами для доступа на служебный мостик, в шатер, внутрь бака и на крышу.

Расчет водонапорной башни заключается в определении емкости и размеров бака и ее высоты.

Регулирующая емкость определяется по формуле, табличным и графическим способом с использованием интегральных графиков водопотребления и водоподачи, как сумма максимального недостатка и избытка в масштабе шкалы интегральных расходов. Ординаты интегральной кривой водопотребления показывают суммарное количество воды, израсходованное с начала суток до рассматриваемого часа.

Табличный способ определения регулирующего объема основан на

совмещении режима водопотребления и водоподачи, при котором регулирующий объем можно получить с большей точностью, чем графический.

Общий объем бака определяют по формуле

$$W_{\text{Б}} = W_{\text{рег}} + W_{\text{пож}}$$

где $W_{\text{рег}}$ – регулирующий объем для согласования режима водопотребления и водоподачи, м³;

$W_{\text{пож}}$ – противопожарный объем, м³.

Зная, общий объем бака, можно определить его геометрические размеры по формуле:

$$W_{\text{Б}} = F_{\text{Б}} \cdot H_{\text{Б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{Б}}^2}{4} \cdot H_{\text{Б}}, \text{ м}^3$$

Диаметр бака определяется по формуле

$$D_{\text{Б}} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot 4W_{\text{Б}}}{\pi}}, \text{ м}$$

$$\alpha = \frac{D_{\text{Б}}}{H_{\text{Б}}} = 0,8 \div 1,2$$

Следующий этап – определение высоты водонапорной башни.

Под высотой водонапорной башни следует понимать высоту её поддерживающей конструкции (ствола), т.е. это расстояние от поверхности земли в месте установки водонапорной башни до дна резервуара.

Высота башни

$$H_{\text{Б}} = \frac{D_{\text{Б}}}{\alpha}, \text{ м}$$

Вода должна подаваться к отдельным потребителям не только в нужном количестве, но и с необходимым давлением, достаточным для подъёма её к месту установки водоразборных кранов, водопроводных приборов, душей, производственного оборудования. Для этого в водопроводной сети должен постоянно поддерживаться определённый свободный напор, под которым понимают напор в трубах водопроводной сети, отсчитанный от поверхности земли. Иначе говоря, свободный напор есть разность между отметкой пьезометрического уровня воды в трубах и отметкой поверхности земли.

Свободный напор должен быть достаточным во всех точках

разводящей водопроводной сети, в том числе и в самых удалённых и имеющих наиболее высокие отметки. В таких неблагоприятных «диктующих» точках сети свободный напор не должен быть ниже указанного в существующих нормах. Таким образом, для правильного определения высоты водонапорной башни необходимо прежде всего найти диктующую точку на водопроводной сети.

Диктующей точкой разводящей водопроводной сети называется точка, куда труднее всего подать воду.

Диктующая точка определяется расчётом, поэтому для этого на плане разводящей сети выбираются несколько неблагоприятных точек. После этого выбирается общеразводящая точка, ближайшая к неблагоприятным, из которой вода поступает в бак водонапорной башни.

Определяя отметку пьезометрического напора в общеразводящей точке для пропуска воды в выбранные неблагоприятные точки и сравнивая величины их пьезометрических отметок, находят диктующую точку – ту для которой величина пьезометрической отметки будет больше. Величину пьезометрической отметки в общеразводящей точке находят по следующей зависимости:

$$H_{\text{ВБ}} + H_{\text{СВ}} + \sum h + (Z_1 - Z_2)$$

где $H_{\text{СВ}}$ – требуемый свободный напор в диктующей точке, м;

Z_1 и Z_2 – отметки поверхности земли собственно в диктующей точке сети и у водонапорной башни, м;

$\sum h$ – сумма потерь напора на участках сети до диктующей точки;

5.2.3. Пневматические установки

В системах водоснабжения небольших объектов иногда применяют **гидропневматические установки**. Они выполняют роль водонапорной башни. Требуемый напор в них создается давлением сжатого воздуха.

Эти установки бывают переменного и постоянного давления. Схема установки переменного давления показана на рис. 2.12. В часы минимального водопотребления, когда подача воды насосами 2, забирающими воду из резервуара 1, превышает водозабор, избыток воды поступает в водовоздушный бак 5. При этом повышается уровень воды и увеличивается давление воздуха вследствие его сжатия. При достижении максимального уровня в баке, соответствующего отметке

z_2 , реле давления 4 размыкает цепь питания катушки магнитного пускателя 3 и электродвигатель насоса отключается от питающей его электросети. С этого момента подача воды в водовод 7 осуществляется от гидропневматического бака под давлением сжатого воздуха $p_{\max}$. В процессе сработки уровня воды давление в баке снижается. При достижении уровня, соответствующего отметке давление в баке снизится до $p_{\min}$. В этот момент реле включает электродвигатели насосов. Рабочий цикл установки повторяется. Минимальное давление $p_{\min}$ назначается из условия обеспечения требуемого свободного напора в диктующей точке водоразбора. Во все остальные моменты, когда $p > p_{\min}$, свободный напор в этой точке будет выше требуемого.

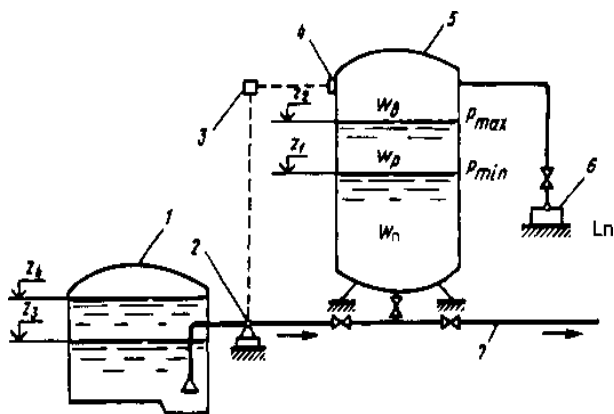


Рис. 5.12. Схема гидропневматической установки

Регулирующий объем водовоздушного бака 5, заключенный между уровнями z_1 и z^1 , определяется путем совмещения графиков подачи и потребления воды. Существует схема таких установок с двумя баками, один из которых предназначен для воды, а другой – для сжатого воздуха. Они соединены друг с другом трубопроводом. Эти установки рассчитаны на большую производительность.

В гидропневматических установках переменного давления насосы должны работать в широком диапазоне характеристики $Q-H$. В процессе эксплуатации определенная часть воздуха, находящегося в баке, растворяется в воде, вытекает через неплотности. Для поддержания давления воздуха в баке установка оборудуется

компрессором 6.

Установки постоянного давления позволяют с помощью регулятора давления поддерживать постоянное давления воздуха в гидропневматическом баке и тем самым обеспечивать постоянство расхода и давления у потребителя. Эти установки несколько сложнее описанных выше. Они могут применяться в системах пожаротушения и промышленного водоснабжения, если изменение напора приводит к недопустимым колебаниям расходов воды

5.2.4. Резервуары чистой воды и определение их емкости

Резервуары в системах водоснабжения используются как регулирующие емкости. Одновременно в них могут храниться противопожарные и аварийные запасы воды. Если рельеф местности позволяет располагать резервуары на достаточно высоких отметках, они могут служить напорными емкостями; если воду из резервуаров необходимо перекачивать к потребителю, то они называются безнапорными. Объем резервуаров зависит как от их назначения, так и от производительности системы водоснабжения. Объем резервуаров, устанавливаемых вместо башен, определяется по тем же принципам, что и регулирующие объемы водонапорных башен.

Регулирующий объем W_p резервуаров чистой воды, находящихся на территории очистных сооружений, определяют по совмещенным графикам работы насосных станций I и II подъемов. Этот объем необходим для согласования работы в равномерном режиме насосной станции I подъема и очистных сооружений с работой в неравномерном режиме насосной станции II подъема.

В резервуаре чистой воды (рис.5.13) хранится также запас воды, необходимый для собственных, технологических нужд очистной станции $W_{с.н.}$, и запас воды для целей пожаротушения $W_{п.}$

Тогда суммарный объем резервуара чистой воды составит

$$W = W_p + W_{с.н.} + W_{п.}$$

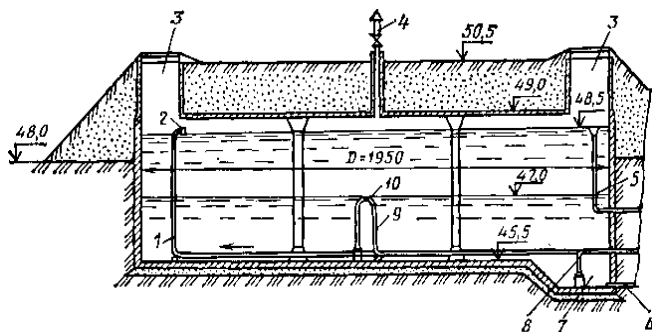


Рис. 5.13. Резервуар чистой воды:

- 1 – подающая труба; 2 — поплавковый клапан; 3 – лазы;
 4, 5, 6 – вентиляционная, переливная и спускная трубы; 7 – приемок;
 8, 9 – всасывающая труба пожарного и хозяйственного насосов;
 10 – отверстие для срыва вакуума

Величина $W_{с.п.}$, определяемая технологическими расчетами, обычно составляет 2-8 % суточной производительности. Противопожарный объем W_p назначают из условия длительности пожара в течение 3 ч.

В этот период насосы будут забирать из резервуаров пожарный расход q_p и максимальный хозяйственно-питьевой расход $q_{х-п}$

Одновременно с этим в резервуар будет поступать вода от очистных сооружений в количестве q_1 , тогда противопожарный объем при 3 - часовом запасе будет равен

$$W_p = 3q_p + q_{х-п} - 3q_1$$

где $q_{х-п}$ – суммарный расход в период наибольшего водопотребления в течение 3 ч (в соответствии с графиком водопотребления).

При определении полного объема резервуара учитывают также аварийный запас, предусматриваемый в случае подачи воды по одному водоводу.

В современных условиях в основном применяют резервуары из железобетона. Они бывают различных конструкций, круглой и прямоугольной форм и монтируются различными способами. В некоторых странах применяют стальные резервуары. Однако из-за большой металлоемкости, трудности защиты от коррозии и необходимости устройства термоизоляции они не нашли широкого распространения.

В зависимости от заглубления резервуары подразделяют на

подземные и полуподземные. Они бывают объемом от нескольких сот до десятков тысяч кубических метров и выполняются по типовым проектам.

На территории, снабжаемой водой из резервуаров одного назначения, их должно быть не менее двух. Между ними располагают специальные камеры (колодцы), в которых размещают задвижки для осуществления различных переключений между резервуарами и водоводами. Если в резервуарах не находится противопожарный и аварийный запас, то возможно устройство одного резервуара.

Резервуары оборудуются подводящими и отводящими трубопроводами, переливными и спускными устройствами, системой вентиляции, люками для прохода обслуживающего персонала и транспортирования оборудования, контрольно-измерительной аппаратурой. В целях предотвращения застаивания воды и изменения ее качества в резервуарах хозяйственно-питьевого назначения должен быть обмен пожарного и аварийного объемов в течение 2 суток.

Гарантия неприкосновенности пожарного запаса осуществляется путем устройства колена на хозяйственно-питьевом трубопроводе, в верхней части которого имеются отверстия, расположенные на отметке верха противопожарного уровня. Колено работает как сифон, в котором происходит срыв вакуума при снижении уровня воды до указанной отметки.

На рис.5.14 приведена схема оборудования резервуара чистой воды, где сохранность противопожарного запаса обеспечивается путем устройства колодца.

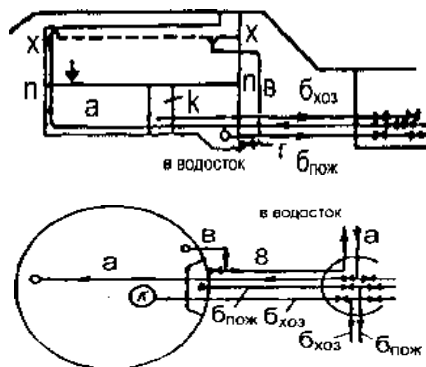


Рис. 5.14. Схема оборудования трубопроводами резервуара чистой воды

Регулирующий объем находится между уровнями **хх** и **пп**, а запасной — от уровня **пп** до дна резервуара. От очистных сооружений вода поступает по трубопроводу **а** в верхнюю часть резервуара. Всасывающие трубопроводы хозяйственно-питьевых насосов $b_{\text{хоз}}$, расположены в открытом колодце **к** (верх которого находится на уровне **пп** и не могут забирать воду, предназначенную для пожаротушения. Пожарные насосы имеют самостоятельные всасывающие трубопроводы $b_{\text{пож}}$, оканчивающиеся на отметке дна резервуара. Резервуар оборудуется также переливной трубой **в**, присоединенной к водостоку, а также спускной (грязевой) трубой **г**, идущей от низа прямка к переливной трубе.

Гарантия неприкосновенности пожарного запаса в резервуарах также может предусматриваться за счет отбора хозяйственно-питьевых и противопожарных расходов с разных отметок.

При больших объемах применяют резервуары прямоугольной формы с плоскими балочными или безбалочными перекрытиями. В настоящее время при строительстве резервуаров широко используется предварительно напряженный железобетон, что обеспечивает их повышенную прочность и герметичность.

Водозабор работает круглосуточно ($T_{\text{вод.}} = 24$ ч.) с постоянной часовой подачей, которая меньше часовой подачи насосной станции второго подъема, поэтому необходимо выполнить согласование режимов их работы.

Резервуары в системах водоснабжения – емкости, построенные на поверхности земли или заглубленные. Их применяют в качестве как напорных, так и безнапорных запасно-регулирующих сооружений. Для повышения надежности и удобства эксплуатации требуемый по расчету объем воды хранят в двух резервуарах, которые строят прямоугольными или круглыми. Днище резервуаров плоские с небольшим уклоном к заборному приемку. Резервуары оборудуют трубопроводами для подачи и отвода (забора) воды, а также переливными и сливными трубами. Для входа в резервуары устраивают лазы с герметизированными люками и лестницы. Для сохранения качества воды полный обмен ее в резервуаре должен находиться не более чем за двое суток. Пространство над водой должно хорошо проветриваться, для чего на перекрытии устанавливают вентиляционные трубы.

Согласование режима работы водозабора с режимом работы насосной станции второго подъема осуществляется при помощи

регулирующей емкости – резервуаров чистой воды (РЧВ), которые предназначены для хранения запаса воды на пожаротушение и хозяйственного запаса.

Объем резервуаров содержит три вида объемов воды

$$W_{\text{РЧВ}} = W_{\text{рег.}} + W_{\text{хоз.}} + W_{\text{пож.}}, \text{ м}^3,$$

где $W_{\text{рег.}}$ – регулирующий объем, м^3 ;

$W_{\text{хоз.}}$ – хозяйственный трехчасовой запас, м^3 ;

$W_{\text{пож.}}$ – противопожарный трехчасовой запас, м^3 .

Значение регулирующей емкости - резервуаров чистой воды определяется графо-аналитическим способом по совмещенным графикам водоподачи водозабора и насосной станции второго подъема, как сумма недостатка и избытка в масштабе шкалы интегральных расходов.

Хозяйственный запас определяется как сумма трех ординат часового графика водопотребления, а именно: $q_{\text{max, ч.}}$ плюс две смежных ординаты.

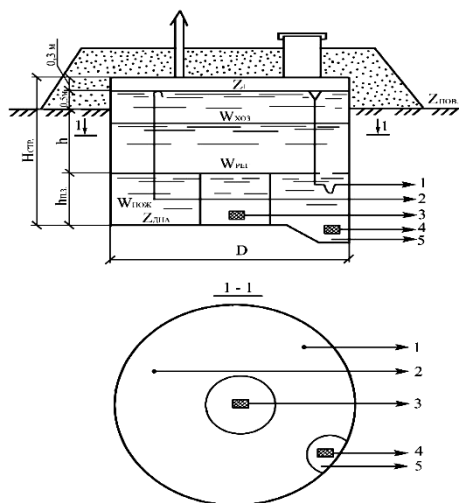


Рис. 5.15. Схема резервуара чистой воды
1 – переливные трубы; 2 – подающая труба;
3 – сасывающий патрубок хозяйственных насосов;
4 – всасывающий патрубок пожарных насосов; 5 – грязевая труба

Противопожарный запас, хранящийся в РЧВ определяется по формуле

$$W_{\text{пож}} = T_{\text{пож}} \cdot q_{\text{пож}}, \text{ м}^3$$

где $T_{\text{пож}}$ – продолжительность пожара, ч;

$q_{\text{пож}}$ – расход воды на пожаротушение, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Обычно для хранения запасов воды принимают два резервуара.

Объем одного резервуара будет равен:

$$W_{\text{рез}} = \frac{W_{\text{РЧВ}}}{2}$$

Диаметр и глубину наполнения резервуара определяют задавшись

$$\alpha = \frac{D_{\text{рез}}}{H_{\text{рез}}} = 0,8 \div 1,2$$

Тогда диаметр резервуара

$$D_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{4W_{\text{рез}}}{\alpha \cdot \pi}}$$

Глубина наполнения резервуара определяется по формуле

$$H_{\text{рез}} = \frac{D_{\text{рез}}}{\alpha}$$

6. Очистка воды и сооружения водоочистной станции

6.1 Природная вода и ее свойства

Природная вода — сложная, непрерывно изменяющаяся система. В состав воды входят: соли, преимущественно в виде ионов, молекул и комплексов, органические вещества — в молекулярных соединениях и коллоидном состоянии; газы — в виде молекул и гидратированных соединений; диспергированные примеси; гидробионты (планктон, бентос, нейстон, пагон); бактерии и вирусы. Во взвешенном состоянии в природных водах содержатся глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы; в коллоидном — различные вещества органического происхождения, кремнекислота, гидроксид железа (III), фуль- вокислоты, гуматы; в истинно растворенном состоянии находятся

в основном минеральные соли, обогащающие воду ионами. Качество природных вод весьма разнообразно.

С точки зрения водоподготовки наиболее общими и характерными признаками загрязняющих воду веществ являются – формы нахождения их в воде. Исходя из этого, Л.А. Кульским предложена классификация примесей воды, основанная на их фазовом состоянии и дисперсности. Все примеси разделены на четыре группы.

Примеси первой группы — это нерастворимые в воде суспензии и эмульсии (а также планктон и бактерии), кинетически неустойчивые и находящиеся во взвешенном состоянии благодаря гидродинамическому воздействию водного потока. В состоянии покоя эти взвешенные вещества выпадают в осадок.

Примеси второй группы — это гидрофобные и гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы, а также нерастворимые и недиссоциированные формы гумусовых веществ, детергенты и вирусы, которые по своим размерам близки к коллоидным примесям.

Примеси третьей группы — это молекулярно растворимые вещества (органические соединения, растворимые газы и т. п.).

Примеси четвертой группы — это вещества, диссоциированные на ионы.

Концентрация отдельных примесей в воде определяет ее свойства, т. е. качество воды.

Различают показатели качества воды физические (температура, взвешенные вещества, цветность, запах, вкус и др.), химические (жесткость, щелочность, активная реакция, окисляемость, сухой остаток и др.), микробиологические и паразитологические.

Для определения качества воды производят физические, химические, микробиологические, паразитологические и технологические анализы в наиболее характерные для данного водоисточника разные периоды года.

Порядок отбора проб из источника регламентирован ГОСТ 18963-73. Выбор и оценка качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.3.03-87.

6.2. Показатели качества питьевой воды

Различают следующие показатели качества воды: физические

(температура, взвешенные вещества, цветность, запах, вкус и др.), химические (жесткость, щелочность, активная реакция, окисляемость, сухой остаток и др.), микробиологические и паразитологические.

Выбор и оценка качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также порядок отбора проб производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.3.03-87.

Выбор источника производственного водоснабжения делается с учетом требований, предъявляемых потребителями к качеству воды.

Физическими показателями качества вод являются:

– **Температура** поверхностных вод подвержена значительным сезонным колебаниям (от 0,1 до 30 °С). Подземные воды имеют более стабильную температуру (8—12 °С). Наиболее приемлема для питьевых нужд вода с температурой 7—11 °С.

– **Прозрачность, мутность и взвешенные вещества** характеризуют наличие в воде суспензированных частиц песка, глины, ила, планктона, водорослей, которые попадают в нее в результате эрозии берегов, взмучивания осадка со дна с дождевыми и талыми водами и т. п.

При большой концентрации взвешенных веществ в воде их количество определяется весовым методом, при относительно небольшом содержании взвешенных веществ применяют косвенный метод – определяют мутность на мутнометре, фотоэлектроколориметре (ФЭК) или определяют прозрачность.

– **Мутность** – характеристика, обратная прозрачности.

– **Прозрачность** воды – это предельная высота столба воды (см), через который можно читать текст, набранный стандартным шрифтом (высота букв 3,5 мм). Прозрачность питьевой воды должна быть не менее 30 см.

По СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода» количество взвешенных веществ в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг/л. Количество взвешенных веществ, которое допускается в воде, используемой для производственных целей, зависит от характера производства. На многих производствах можно использовать воду с гораздо большим содержанием взвешенных веществ. В то же время для некоторых производств химической, пищевой, электронной и других отраслей промышленности требуется вода такого же или более высокого качества.

– **Цветность воды** – это ее окраска, обусловлена присутствием в

воде гумусовых и дубильных веществ, жиров, органических кислот и других органических соединений. Наряду с этим окраска воды может быть вызвана присутствием соединений железа, марганца, сточных вод некоторых производств или «цветением» водоемов.

Цветность природных вод обычно обусловлена гумусовыми веществами. Гумусовые вещества почвы в природных водах находятся во взвешенном состоянии, фульво и гуминовые кислоты – в коллоидном и истинно растворимом состоянии. Для питьевой воды она не должна превышать 20 град. Цветность определяют колориметрически, сравнивая цвет пробы с эталонами шкалы цветности, или применяют фотоэлектроколориметры для измерения оптической плотности. Отдельные виды производств предъявляют различные требования к цветности используемой воды.

– **Привкусы и запахи**, встречающиеся в природных водах, могут быть естественного или искусственного происхождения. Они зависят от химического состава примесей и температуры.

Запахи и привкусы придают воде сероводород, соли железа, сульфаты кальция (вяжущий) и магния (горький), хлорид натрия (соленый), органические вещества (продукты жизнедеятельности микроорганизмов и водная растительность), а также сбрасываемые сточные воды отдельных предприятий.

К запахам естественного происхождения относят ароматический (огуречный, цветочный); болотный (илистый, тинистый); гниlostный (фекальный, сточный); древесный, землистый, плесневый, рыбный, сероводородный, травянистый и др.

К запахам искусственного происхождения относят фенольный, хлорфенольный, камфорный, бензиновый, хлорный и др.

Различают четыре основных вкуса: соленый, горький, сладкий и кислый. Остальные особенности относят к привкусам

Интенсивность запахов и привкусов определяют органолептически и выражают по пятибалльной шкале. Для питьевой воды по нормам СанПиН запахи и привкусы не должны превышать двух баллов при 20°C.

– **Общая минерализация (сухой остаток)** – общее количество веществ (кроме газов), содержащихся в воде в растворенном состоянии. Сухой остаток получают в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивания задержанного остатка до постоянной массы при 7 – 110 °C. В воде, используемой для хозяйственно-питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 1000 мг/л, в особых случаях –

1500 мг/л. Сухой остаток лимитируется также в воде, поступающей для питания паровых котлов, и в воде, используемой в производстве киноплёнки, синтетического каучука и др.

– **Хлориды и сульфаты** благодаря своей высокой растворимости присутствуют во всех природных водах обычно в виде натриевых, кальциевых и магниевых солей. При значительном их содержании вода становится агрессивной по отношению к бетону. Для хозяйственно-питьевой воды предельно допустимое содержание хлоридов Cl^- – 350 мг/л, сульфатов SO_4^{2-} – 500 мг/л.

– **Щелочность воды** определяется суммой содержащихся в воде гидроксильных ионов и анионов слабых кислотоугольной, органических, а также бикарбонатных и карбонатных ионов; измеряется в мг-экв/л.

– **Жесткость воды** обуславливается содержанием в ней солей кальция и магния. Различают карбонатную жесткость (карбонатные и бикарбонатные соли кальция и магния) и некарбонатную (некарбонатные соли кальция и магния – сульфаты, хлориды, нитраты и др.). Сумма карбонатной и некарбонатной жесткости определяет общую жесткость.

Соли жесткости не вредны для здоровья, но присутствие их затрудняет использование воды для хозяйственно-бытовых нужд (дополнительный расход мыла при стирке, отложение осадков в трубах водопровода).

Общая жесткость хозяйственно-питьевой воды не должна превышать 7 мг-экв/л, а в особых случаях – 10 мг-экв/л.

Жесткая вода непригодна для питания котлов, паросиловых установок тепловых электростанций и теплоэлектроцентралей. Жесткость воды лимитируется для предприятий бумажной, текстильной промышленности, при производстве искусственного волокна и др.

– **Железо и марганец** присутствуют в природных водах в формах, зависящих от величины pH, окисляемости и содержания кислорода. Железо может находиться в форме двух- и трехвалентных ионов, органических и неорганических коллоидов, комплексных соединений, в виде тонкодисперсной взвеси, сульфида железа, гидроксида железа (II). В подземных водах при отсутствии кислорода железо и марганец встречаются обычно в форме двухвалентных солей, в поверхностных водах – в виде органических комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсных взвесей.

Вода, содержащая повышенную концентрацию железа, неприятна на вкус, причиняет неудобства в быту, оказывает влияние на печень, увеличивает риск инфарктов. Избыток марганца вызывает окраску и вяжущий привкус, заболевание костной системы. Поэтому содержание железа в питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/л, а марганца – 0,1 мг/л. Содержание железа и марганца ограничивают в воде, используемой при производстве пластмасс, кино- и фотопленки, бумаги, в текстильной, пищевой промышленности и др.

Основными химическими показателями являются:

Активная реакция воды является показателем ее щелочности или кислотности и характеризуется концентрацией водородных ионов.

Вода, подаваемая для хозяйственно-питьевых нужд, должна иметь рН в пределах 6—9. Для вод большинства природных источников значение рН не отклоняется от указанных пределов.

Окисляемость воды обуславливается присутствием органических и некоторых неорганических примесей, таких, как железо (II), сульфиты, сероводород и др.

Различают перманганатную и бихроматную окисляемость. ГОСТом 2874-82 «Вода питьевая» окисляемость не лимитировалась. В связи с возросшим антропогенным загрязнением водоемов и повышением окисляемости природных вод, связанной с присутствием хлорорганики, пестицидов, гербицидов, нефтепродуктов, бензола и др., СанПиН 2.1.4.559-96 ограничивают окисляемость питьевой воды до 5 мг O_2 /л. Характерно, что окисляемость воды после коагулирования, отстаивания и фильтрования снижается меньше, чем цветность.

Окисляемость лимитируется для питательной воды котлов (из-за вспенивания), для охлаждающей воды (из-за возможного биообрастания труб и аппаратуры), а также для воды, используемой для изготовления синтетических волокон и некоторых пластмасс.

Азотсодержащие соединения в природных водах могут быть органические и неорганические в виде нитратов NO_3^- , нитритов NO_2^- и аммонийных солей NH_4^+ .

Повышенное количество азота в природной воде в органических соединениях или в аммонийной форме свидетельствует о загрязнении водоисточника сточными водами, как бытовыми, так и производственными. Поэтому в питьевой воде не допускается присутствие органического и аммонийного азота и нитритов. В соответствии с указанными СанПиН в питьевой воде содержание нитратов (по NO_3^-) не должно превышать 45 мг/л.

Фтор является активным в биологическом отношении микроэлементом, содержание которого в питьевой воде должно поддерживаться в пределах 0,7—1,5 мг/л (в зависимости от климатических условий).

Растворенные в воде газы — кислород, углекислый газ, сероодород, метан, азот.

Углекислота, кислород и сероводород придают воде при определенных условиях коррозионные свойства по отношению к бетонам и металлам.

Углекислота содержится во всех природных водах. В зависимости от pH она может быть в виде растворенного в воде газа CO_2 , бикарбонат-ионов HCO_3^- , карбонат-ионов CO_3^{2-} .

Кислород попадает в воду при ее контакте с воздухом. Резкое снижение содержания кислорода в воде указывает на ее загрязнение. Растворенный в воде кислород интенсифицирует коррозию металла, поэтому в питательной воде теплоэнергетических установок его концентрация строго ограничивается.

Сероводород придает воде неприятный запах, вызывает коррозию металла. Присутствие H_2S в хозяйственно-питьевой воде не допускается.

Азот в природные воды поступает из воздуха, а также при разложении органических остатков и восстановлении азота денитрифицирующими бактериями.

Метан обычно присутствует в болотных водах. В природных водах, используемых для водоснабжения, он может присутствовать в незначительных количествах.

Бактерии и вирусы могут интенсивно развиваться в воде. По СанПиН 2.1.4.559-96 безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям. Для питьевой воды определяются микробиологические показатели: общее микробное число ОМЧ (количество колоний бактерий в 1 мл) — не более 50; общие и термотолерантные колиформные бактерии — отсутствие в 100 мл; колифаги — отсутствие бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл. При обнаружении в повторной пробе воды вышеперечисленных загрязнений проводятся исследования на наличие патогенных бактерий и вирусов определением цист лямблий (в питьевой воде — отсутствие в 50 л воды) и спор сульфитредуцирующих клостридий (в питьевой воде — отсутствие в 20 мл).

На большинстве производств бактериальное загрязнение воды не препятствует ее использованию для технических целей. Исключение составляют предприятия, для которых требуется вода питьевого качества.

Здесь перечислены лишь основные свойства природных вод. В практике приходится встречаться еще с целым рядом специфических свойств природных вод. Например, питьевая вода не должна содержать более 0,05 мг/л мышьяка, 1 мг/л меди, 5 мг/л цинка, 0,03 мг/л свинца и 0,5 мг/л алюминия.

В зависимости от целевого назначения к воде предъявляют разнообразные требования, согласно которым ее можно классифицировать как используемую: для хозяйственно-питьевых целей, коммунальных предприятий, нужд пищевой и некоторых других отраслей промышленности; для охлаждения (технологического оборудования, пара, жидких и газообразных продуктов, доменных и мартеновских печей, конденсаторов турбин и паровых машин, вагранок, кузнечных молотов и др.); для нужд паросилового хозяйства (питание паровых котлов ГРЭС и ТЭЦ); для технологических нужд промышленности, где вода может входить в состав продукции или контактировать с ней; для заводнения нефтяных пластов; для нужд сельского хозяйства.

Хозяйственно-питьевая вода должна быть безвредна для здоровья человека, иметь хорошие органолептические показатели и быть пригодной для использования в быту. Качество хозяйственно-питьевой воды регламентировано СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Выполнение требований санитарных правил гарантирует эпидемическую и радиационную безопасность, безвредность по химическому составу и благоприятные органолептические свойства питьевой воды.

Эпидемическая безопасность питьевой воды нормируется по микробиологическим и паразитологическим показателям (общее микробное число, общие колиформные бактерии, колифаги и др.).

Радиационная безопасность питьевой воды нормируется показателями общей α - и β -активности.

Безвредность воды по химическому составу нормируется по обобщенным показателям (рН, общая минерализация, общая жесткость и др.); химическим веществам, наиболее часто встречающимся в природных водах: неорганическим (Al^{3+} ; Ba^{3+} ; Fe^{2+} ; Fe^{3+} и др.) и

органическим (ДДТ; 2,4-D и др.); веществам антропогенного происхождения, получившим глобальное распространение; реагентам и вредным химическим веществам, поступающим и образующимся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения (хлор, озон, хлороформ и т. д.); вредным химическим веществам, поступающим в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека.

Органолептические свойства питьевой воды нормируются по запаху, привкусу, цветности и мутности: запахи и привкусы при 20 °С – до 2 баллов, цветность – до 20 град, мутность – до 1,5 мг/л.

Ряд отраслей пищевой промышленности помимо лимитов СанПиН 2.1.4.559-96 предъявляют к воде дополнительные требования. Так, в воде, используемой в пивоварении, должны отсутствовать сульфаты, содержание железа не должно превышать 0,1 мг/л; в воде для винокурного производства не должно содержаться хлористых магния и кальция; в воде для производства сахара должно быть минимальное солесодержание и т. д.

Качество охлаждающей воды не нормируется, так как оно зависит от условий применения, но очевидно, что охлаждающая вода не должна давать отложения в трубах и аппаратах, по которым она подается, так как в этом случае затрудняется теплопередача и сокращается живое сечение, снижаются интенсивность циркуляции и эффект охлаждения. Вода, используемая для целей охлаждения, не должна содержать крупных минеральных взвешенных веществ, большого количества железа и органических примесей.

Вода для технологических нужд промышленности в зависимости от ее целевого использования должна отвечать самым разнообразным требованиям. Так, в воде, используемой в горнодобывающей промышленности при добыче, отмывке, гидротранспорте, обогащении и сортировке полезных ископаемых, должны отсутствовать грубые взвешенные частицы. Весьма специфические требования предъявляют к воде, применяемой для обработки готовой продукции, а также к воде, входящей в состав продукта.

Ряд промышленных предприятий предъявляет к воде требования, значительно превышающие лимиты СанПиН 2.1.4.559-96. Так, в воде, идущей на изготовление кино- и фотопленки, фотобумаги, не должно содержаться марганца, железа, кремнекислоты, ограничиваются окисляемость воды и содержание хлоридов. В воде, применяемой для изготовления растворов кислот и щелочей, красителей и мыла,

жесткость должна быть не более 0,35 мг-экв/л.

Вода для нужд сельского хозяйства (птице- и зооферм, для орошения, мелиорации и др.) по своему качеству должна соответствовать целевому назначению. Для водопоя птиц, зверей и животных на фермах следует подавать воду питьевого качества. При невозможности соблюдения этого требования допускается кратковременно производить водопой животных водой с повышенным минеральным составом, а именно: сухой остаток – до $5 \cdot 10^3$, хлориды – до $2 \cdot 10^3$, сульфаты – до $2,4 \cdot 10^3$ мг/л, общая жесткость – до 45 мг-экв/л. Допускается использование воды с повышенной цветностью, с привкусом и запахом при ее температуре 8–15°C.

6.3 Государственный стандарт качества питьевой воды

Питьевая вода – основа существования всего живого на планете. Вода в первую очередь необходима людям для удовлетворения своих хозяйственно-питьевых нужд, при производстве промышленных товаров, изделий, продуктов питания и других целей, но в тоже время она является естественной средой для обитания различных микроорганизмов, в том числе вредных и опасных, которые отрицательно влияют на ее качество. Перед использованием воду нужно проверять на наличие вредных микроорганизмов, потому что их присутствие в воде может привести к массовому инфицированию и даже в отдельных случаях привести к смертельному исходу.

Отбор проб воды для анализа проводят в соответствии с требованиями государственных стандартов и СаПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (обязательное). Для проведения лабораторных исследований (измерений) качества питьевой воды допускаются метрологически аттестованные методики, а также методики, утвержденные или допущенные к применению Госстандартом или Госсаннадзором Беларуси. В соответствии с Законом Республики Беларусь «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № за качеством питьевой воды осуществляется государственный, производственный и ведомственный санитарно-эпидемиологический надзор.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за качеством питьевой воды осуществляют центры гигиены и эпидемиологии соответствующих территорий.

Производственный контроль качества воды питьевой воды обеспечивается лабораториями организаций, эксплуатирующих системы водоснабжения, контролирующих качество воды в местах водозабора, перед поступлением в распределительную сеть, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети по рабочей программе, согласованной с территориальными органами государственного санитарного надзора.

Существуют специальные лабораторные методики для определения качества жидкости, так как по вкусу и по цвету выявить наличие в ней микроорганизмов невозможно.

С 1 июля 2022 года на территории Республики Беларусь был введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 34786-2021 «Вода питьевая. Методы определения общего количества микроорганизмов, колиформных бактерий, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококков» распространяется на воду централизованного и нецентрализованного питьевого, в том числе горячего водоснабжения, водоснабжения бассейнов и аквапарков (кроме бассейнов, используемых в бальнеологических целях), упакованную питьевую воду, включая природную минеральную, а также воду для использования в процессах производства алкогольной продукции.

Стандарт устанавливает методы, в том числе ускоренные, для лабораторного контроля качества воды, используемой для питьевых целей, по показателям: общее число микробных клеток, общее микробное число, колиформные бактерии, общие колиформные бактерии, термотолиерантные колиформные бактерии, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококки.

Питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Качество питьевой должно соответствовать гигиеническим нормативам перед ее поступлением в распределительную сеть, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети. Воды. Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 6.1.

Таблица 6.1 Микробиологические и паразитологические показатели

Наименование показателей	Единицы измерения	Нормативное значение
Термотолерантные колоформные бактерии	Число бактерий в 100 см ³	Отсутствие
Общие колоформные бактерии 1), 2)	Число бактерий в 100 см ³	Отсутствие
Общее микробное число ₂₎	Число образующих колонии бактерий в 1 см ³	не более 50
Колифаги ₃₎	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 см ³	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий ₄₎	Число спор в 20 см ³	Отсутствие
Цисты лямблий ₃₎	Число цист в 50 дм ³	Отсутствие

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Республики Беларусь, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение, представленных в таблице 6.2.

Таблица 6.2 Нормативы обобщенных показателей и наиболее распространенных химических веществ в питьевой воде

Наименование показателей	Единицы измерения	Нормативы предельно допустимые концентрации и (ПДК), не более	Показатель вредности	Класс опасности
1	2	3	4	5
Обобщенные показатели				
Водородный показатель	един. pH	в пределах 6-9		
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм ³	1000 (1500) ₂₎		
Жесткость, общая	ммоль/дм ³	7,0 (10) ₂₎		
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	5,0		
Нефтепродукты, суммарно	мг/дм ³	0,1		

Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/дм ³	0,5		
Фенольный индекс	мг/дм ³	0,25		
Неорганические вещества				
Алюминий (Al^{3+})	мг/дм ³	0,5	с.-т.	2
Барий (Ba^{2+})	мг/дм ³	0,1	с.-т.	2
Бериллий (Be^{2+})	мг/дм ³	0,0002	с.-т.	1
Бор (В, суммарно)	мг/дм ³	1,0	с.-т.	2
Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3 (1,0)	с.-т.	3
Кадмий (Cd, суммарно)	мг/дм ³	0,001	с.-т.	2
Марганец (Mn, суммарно)	мг/дм ³	0,1 (0,5)	с.-т.	3
Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1,0	с.-т.	3
Молибден (Mo, суммарно)	мг/дм ³	0,25	с.-т.	2
Мышьяк (As, суммарно)	мг/дм ³	0,05	с.-т.	2
Никель (Ni, суммарно)	мг/дм ³	0,1	с.-т.	3
Нитраты (по NO_3)	мг/дм ³	45	с.-т.	3
Ртуть (Hg, суммарно)	мг/дм ³	0,0005	с.-т.	1
Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,3	с.-т.	2
Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	с.-т.	2
Стронций (Sr^{2+})	мг/дм ³	7,0	с.-т.	2
Сульфаты (SO_4^{2-})	мг/дм ³	500	орг.	4
Фториды (F^-)	мг/дм ³	1,5	с.-т.	2
Хлориды (Cl^-)	мг/дм ³	350	орг.	4
Хром (Cr^{6+})	мг/дм ³	0,05	с.-т.	3
Цианиды (CN^-)	мг/дм ³	0,035	с.-т.	2
Цинк (Zn^{2+})	мг/дм ³	5,0	орг.	3

При обнаружении в питьевой воде нескольких химических веществ, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его РДК не должна быть больше 1 а расчет ведется по формуле

$$\frac{C_{\text{факт}}^1}{C_{\text{доп}}^1} \pm \frac{C_{\text{факт}}^2}{C_{\text{доп}}^2} \pm \dots \pm \frac{C_{\text{факт}}^n}{C_{\text{доп}}^n} \leq 1$$

где C^1 , C^2 , C^n – концентрация индивидуальных химических веществ 1 и 2 класса опасности: факт (фактическая) и доп.(дополнительная).

Благоприятные органолептические свойства воды, определяются ее соответствием нормативам, указанным в таблице 6.3.

Таблица 6.3 Органолептических свойств воды

Наименование показателя	Единицы измерения	Норматив, не более
Запах	баллы	2
Привкус	баллы	2
Цветность	градусы	20 (35)
Мутность	ЕМФ (единицы мутности по фрماзину или мг//л (по коалину)	2,6 (3,5) 1,5 (2)

Не допускается присутствие в питьевой воде различных невооруженным глазом водных организмов и поверхностной пленки.

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей α и β -активности, представленными в таблице 6.4.

Таблица 6.4 Радиационная безопасность по показателям α и β - активности

Показатели	Единицы измерения	Нормативы, не более	Показатели вредности
Общая α -радиоактивность	Бк//дм ³	0,1	радиац
Общая β - радиоактивность	Бк//дм ³	1,0	радиац

Виды определяемых показателей и количество исследуемых проб питьевой воды перед ее поступлением в распределительную сеть устанавливаются с учетом требований, указанных в таблице 6.5.

Таблица 6.5. Количество проб питьевой воды

Виды показателей	Количество проб воды в течение одного года, не менее				
	для подземных источников			для поверхностных источников	
	Численность населения, обеспечиваемого водой из данной системы водоснабжения, тыс. чел.				
	до 20	20-100	свыше 100	до 100	свыше 100
Микробиологи ческие	50 ₁₎	150 ₂₎	365 ₃₎	365 ₃₎	365 ₃₎
Паразитологич еские	—	—	—	48 ₁₎	48 ₁₎
Органолептиче ские	50 ₁₎	150 ₂₎	365 ₃₎	365 ₃₎	365 ₃₎

При обеззараживании воды свободным хлором время его контакта должно составлять не менее 30 минут, а со связанным хлором – не менее 60 минут. Контроль за содержанием остаточного хлора производят перед подачей воды в распределительную сеть.

6.4 Основные способы обработки воды, подаваемой на хозяйственно-питьевые нужды

Обработка воды для хозяйственно-питьевых целей представляет собой комплекс физических, химических и биологических методов изменения ее первоначального состава.

Способы обработки воды можно классифицировать на следующие основные группы:

- улучшение органолептических свойств воды;
- обеспечение эпидемиологической безопасности;
- улучшение минерального состава.

Для получения воды питьевого качества при использовании поверхностных источников, как правило, необходимо производить осветление, обесцвечивание и обеззараживание воды. При этом в зависимости от качества исходной воды в некоторых случаях дополнительно необходимо применять и специальные виды водоподготовки – фторирование, обесфторивание, умягчение и т. п. (табл. 6.6).

Таблица 6.6 Способы обработки воды

N п/п	Показатели качества воды	Способы обработки воды	Рекомендуемые реагенты
1	2	3	4
1	Мутность	Обработка коагулянтами и флокулянтами. Отстаивание, фильтрование. Обработка в гидроциклонах, микрофильтрах.	Коагулянты – сульфат алюминия, хлорид железа. Флокулянты – поликарбонид, активированная кремневая кислота.
2	Цветность, повышен	Коагулирование,	Коагулянты,

	ное содержание органических веществ	отстаивание и фильтрование.Фильтрование на контактных осветителях.Хлорирование, озонирование	флокулянты, активированный уголь, хлор, озон.
3	Низкая щелочность,ограничивающая процесс коагулирования	Подщелачивание	Известь, сода
4	Привкусы и запахи	Предварительное хлорирование.Углевание, Обработка перманганатом калия. Озонирование.	Хлор, аммиак, гипохлориты натрия и кальция
5	Бактериальное загрязнение	Хлорирование, озонирование, бактериальное облучение	Хлор, озон, гипохлориты натрия и кальция
6	Повышенная (пониженная) реакция воды (pH)	Стабилизация воды. Пощелачивание или подкисление воды	Известь, едкий натр, серная кислота.
7	Избыток железа	Аэрация, хлорирование, коагулирование, отстаивание, фильтрование, катонирование	Хлор, известь, сульфат алюминия, перманганат калия
8	Недостаток фтора в питьевой воде	Фторирование	Кремнефтористый натрий, кремнефтористый аммоний
9	Избыток катионов жесткости	Na-катионирование.Известкование, обработка извесью и содой, фосфатное доумягчение	Поваренная соль, кислоты: серная и соляная, известь, сода, железный купорос.
10	Избыточный растворенный кислород	Термическая и вакуумная дезодорация, обработка воды сульфатом натрия, связывание кислорода с восстановителем.	Сернистый газ. Сульфит натрия. Тиосульфат натрия.

В процессе очистки и обработки вода подвергается осветлению (освобождение от взвешенных веществ), обесцвечиванию, обеззараживанию (уничтожение находящихся в ней болезнетворных бактерий), умягчению (снижение или почти устранение содержащихся в ней солей жесткости). Кроме того, при использовании воды некоторых источников и для отдельных потребителей требуется удалять все растворенные в ней соли (обессоливание) или только

некоторые определенные соли, например, соли железа (обезжелезивание), растворенные в ней газы (дегазация), иногда приходится устранять привкусы и запахи, предотвращать коррозионное действие воды на трубы, удалять из воды фтор (обесфторивание) и т. п. Те или иные комбинации указанных процессов применяют в зависимости от категорий потребителей и качества воды в источниках.

Способы и степень очистки воды, состав и конструкции очистных сооружений в каждом конкретном случае зависят от тех требований, которые предъявляются к качеству воды, и от качества природной воды.

Осветление воды – устранение из нее взвешенных примесей, в зависимости от требуемой степени осветления может быть достигнуто:

- отстаиванием воды в отстойниках;
- центрифугированием в гидроциклонах;
- путем пропуска ее через слой ранее образованного взвешенного осадка в так называемых осветлителях;
- фильтрованием через слой фильтрующего порошка на намывных фильтрах или через слой зернистого фильтрующего материала в скорых фильтрах;
- фильтрованием через сетки на микрофильтрах, барабанных ситах, акустических фильтрах и т. д.

Обесцвечивание воды – удаление из нее окрашенных коллоидов или истинно растворенных примесей, обуславливающих цветность воды. Наиболее широко для этой цели используют хлорирование, фильтрование через гранулированный активный уголь и озонирование воды. Хорошие результаты по обесцвечиванию воды дает напорная флотация, которой обязательно предшествует коагулирование примесей воды.

Обезжелезивание воды – снижение содержания солей железа до требований ГОСТа, наиболее часто используют при централизованном водоснабжении из подземных источников. В зависимости от форм соединений железа, присутствующих в воде, применяют безреагентные или реагентные методы удаления железа.

Фторирование питьевой воды осуществляется путем внесения в нее соединений фтора для предотвращения заболевания кариесом зубов. Раствор фторсодержащего реагента вводят в обрабатываемую воду до или после скорых фильтров.

Обеззараживание воды производят для уничтожения содержащихся в ней патогенных бактерий и вирусов. Частично это достигается при коагулировании примесей воды, но наиболее хорошие результаты

получаются при введении в воду после фильтрования окислителей: хлора и его производных: озона, перманганата калия.

При доведении качества воды до питьевой кондиции помимо вышеописанных процессов иногда применяют:

- дезодорацию (удаление нежелательных привкусов и запахов), используя аэрацию, окислители и сорбенты;
- умягчение (удаление солей жесткости);
- введение в воду щелочных реагентов;
- высаживание в осадок солей жесткости;
- опреснение (снижение общей минерализации воды) дистилляцией, ионным обменом, гиперфильтрацией или электродиализом и др.

6.5 Технологические схемы очистки воды

Сочетание необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые в практике водоподготовки технологические схемы можно классифицировать по следующим основным признакам:

- по способу подготовки воды – на реагентные и безреагентные;
- по эффекту осветления – глубокого и грубого осветления;
- по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них;
- по характеру движения воды – на напорные и безнапорные.

Реагентные и безреагентные технологические схемы применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и нужд промышленности. Указанные технологические схемы существенно отличаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации.

При применении реагентов процессы обработки воды протекают интенсивнее и более эффективно. Так, для осаждения основной массы взвешенных веществ в первом случае требуется 2–4 ч, во втором – несколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5–12 м/ч и более, а без реагентов (медленное фильтрование) – 0,1–0,3 м/ч.

При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения меньше по объему, компактнее, дешевле в строительстве, но сложнее в эксплуатации, чем сооружения безреагентной очистки. Поэтому безреагентные технологические схемы с гидроциклонами,

акустическими, намывными и медленными фильтрами, как правило, применяют для водоснабжения небольших водопотребителей при цветности исходной воды до 50°С. Безреагентные технологии используют для неглубокого осветления воды при водоснабжении промышленных объектов. В ряде случаев для этих целей применяют одно отстаивание или одно фильтрование на крупнозернистых фильтрах или микрофильтрах.

По эффекту обработки различают технологические схемы для полной или глубокой очистки воды и для неполной или неглубокой.

Сочетание необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые

реагентные и безреагентные технологические схемы отличаются размерами водоочистных сооружений и условием их эксплуатации (рис.6.1 а и 6.1. б).

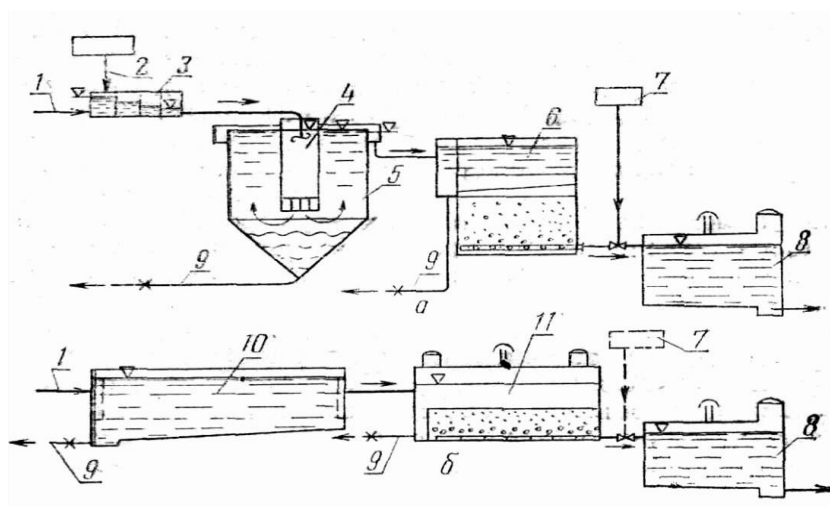


Рис. 6.1. а и б. Высотные схемы технологических сооружений водоочистных станций а – при реагентном способе очистки; б – безреагентный способ очистки ;

1 – подача неочищенной воды; 2 – устройства для приготовления растворов и дозирования реагентов (коагулянта и др.); 3 – смеситель; 4 – камера хлопьеобразования; 5 – вертикальный отстойник; 6 – скорый фильтр; 7 – установка для обеззараживания воды; 8 – резервуар чистой воды; 9 – трубы для удаления осадка и промывных вод; 10 – горизонтальный отстойник; 11 – медленный фильтр.

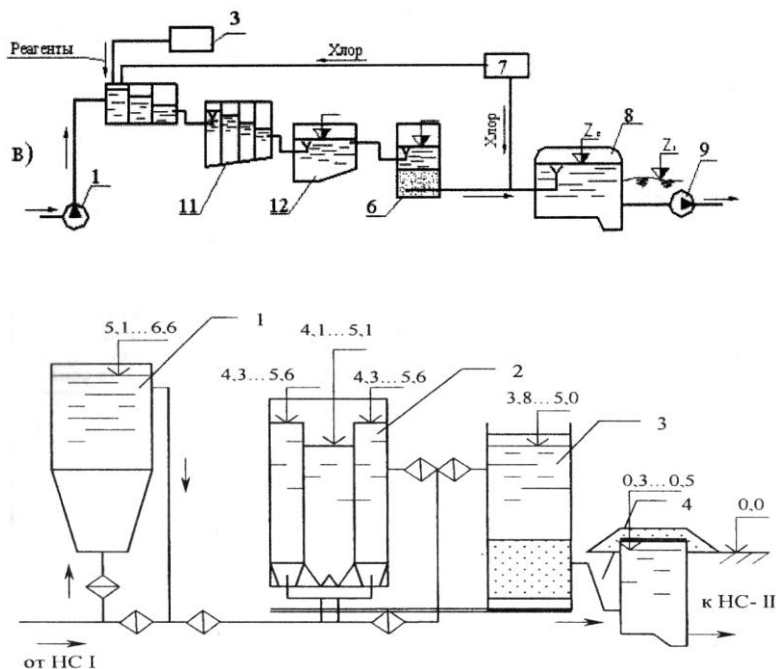


Рис. 6.2. а и б. Высотные схемы технологических сооружений водоочистных станций
а – с вертикальными отстойниками и скорыми фильтрами; б – с осветлителями и фильтрами; 1 – подача неочищенной воды; 2 – устройства для приготовления растворов и дозирования реагентов (коагулянта и др.); 3 – смеситель; 4 – камера хлопьеобразования; 5 – вертикальный отстойник; 6 – скорый фильтр; 7 – установка для обеззараживания воды; 8 – резервуар чистой воды; 9 – трубы для удаления осадка и промывных вод; 10 – горизонтальный отстойник; 11 – медленный фильтр.

Различают технологические схемы для полного или глубокого осветления воды и для неполного или грубого осветления. В первом варианте очищенная вода соответствует требованиям питьевой воды. Во втором варианте содержание взвеси в очищенной воде во много раз больше – 50...100 мг/л. Обычно грубо осветленную воду используют для целей охлаждения различного производственного оборудования.

Технологические схемы для глубокого осветления воды применяют как для хозяйственно-питьевых, так и для многих производственных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляют высокие

требования. Схемы для неполного осветления воды обычно используют для подготовки технической воды.

По числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них технологические схемы подразделяют на одно-, двух- и многопроцессные.

На рисунке 6.3. показан однопроцессная технологическая схема с контактным осветлителем.

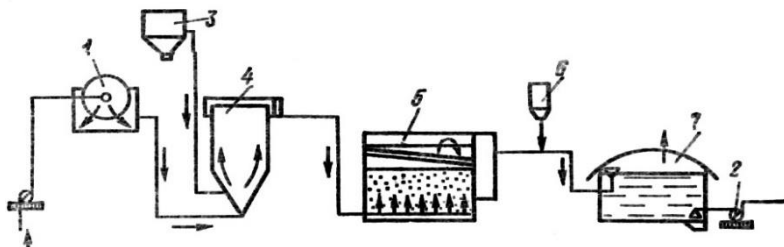


Рис. 6.3 Однопроцессная двухступенчатая технологическая схема:

- 1 – микрофильтр, 2 – насосная станция II подъема; 3 – реагентное хозяйство; 4 – вертикальный смеситель; 5 – контактный осветлитель; 6 – установка для фильтрования и обеззараживания воды; 7 – резервуар чистой воды.

Здесь основной технологический процесс представляет собой фильтрование, которое осуществляется дважды.

Представленная на рисунке 6.4. технологическая схема является двухпроцессной.

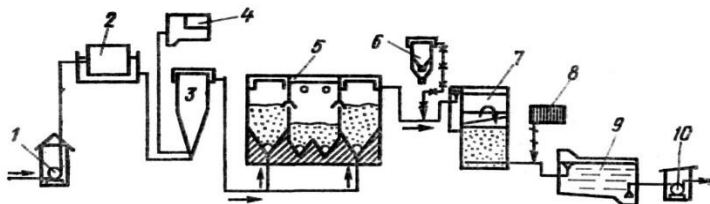


Рис. 6.4. Двухпроцессная технологическая схема:

- 1 – насосная станция I подъема; 2 – барабанные сетки (вариант); 3 – вертикальный осветлитель; 4 – реагентное хозяйство; 5 – осветлитель со взвешенным осадком; 6 – установка для дезодорации, фторирования или интенсификации процесса фильтрования; 7 – скорый фильтр; 8 – установка для обеззараживания воды; 9 – резервуар чистой воды; 10 – насосная станция II подъема.

Процесс очистки осуществляется дважды последовательно и однократно в одну ступень.

По характеру движения обрабатываемой воды технологические схемы подразделяют на самотечные (безнапорные) и напорные.

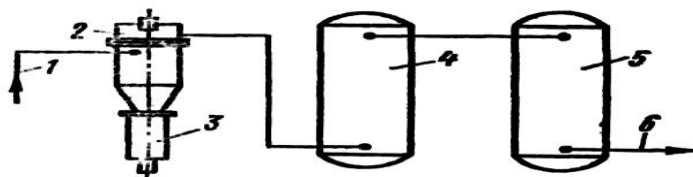


Рис.6.5. Напорная технологическая схема с гидроциклоном:
1 – подача исходной воды; 2 – гидроциклон; 3 –шламовая камера;
4 – противоточный фильтр I ступени; 5 – скорый фильтр II ступени;
6 – отвод фильтрата.

На городских и крупных промышленных водоочистных комплексах движение исходной воды по сооружениям осуществляется самотеком. При этом уровень воды в каждом последующем сооружении ниже уровня в предыдущем.

Разность уровней определяет напор, необходимый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях от одного сооружения к другому. Поэтому увязка взаимного расположения отдельных очистных сооружений технологической схемы, т. е. построение высотной схемы, имеет первостепенное значение.

При напорной технологической схеме (рис.6.5.) движение обрабатываемой воды от сооружения к сооружению происходит под давлением выше атмосферного, поэтому отдельные сооружения можно расположить на одной отметке. Напорные очистные сооружения должны быть герметично закрытыми и рассчитаны на давление, развиваемое насосами. Следует отметить, что при использовании напорной технологической схемы резервуары чистой воды и насосная станция II подъема иногда могут не устраиваться. В отдельных случаях очищенная вода под напором насосов I подъема передается непосредственно в сеть потребителей. При безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и

резервуары чистой воды.

6.6. Сооружения для очистки воды

6.6.1. Типы смесителей и их назначение

Смешение реагентов $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)]_3$ с обрабатываемой водой производят в специальных сооружениях – смесителях. Данные сооружения должны удовлетворять требованию быстрого и полного смешения реагентов со всей массой воды (т.е. время пребывания воды 1...3 мин).

Смесители подразделяют на: гидравлические и механические.

К числу гидравлических смесителей относят: дырчатый; перегородчатый, ;вертикальный (вихревой).

Дырчатый смеситель

Дырчатый смеситель представляет собой лоток с дырчатыми перегородками, размещенными перпендикулярно направлению движения воды.

Вода, проходя через отверстия со скоростью около 1 м/с, испытывает завихрения, что способствует хорошему смешиванию воды с реагентами. Диаметр отверстий принимают 20... 100 мм и располагают в шахматном порядке. Верхний ряд отверстий затапливают под уровень воды на 0,1...0,15 м с целью исключения насыщения воды пузырьками воздуха. Расстояние между перегородками принимается не менее ширины смесителя. Количество перегородок обычно принимается равным трем, с расстоянием между ними не менее ширины лотка. Ширина лотка определится по скорости движения воды, которую принимают не менее 0,6 м/с. Для определения отметки уровня воды в начале смесителя задаются глубиной потока в конце смесителя и затем определяют уровни воды между перегородками.

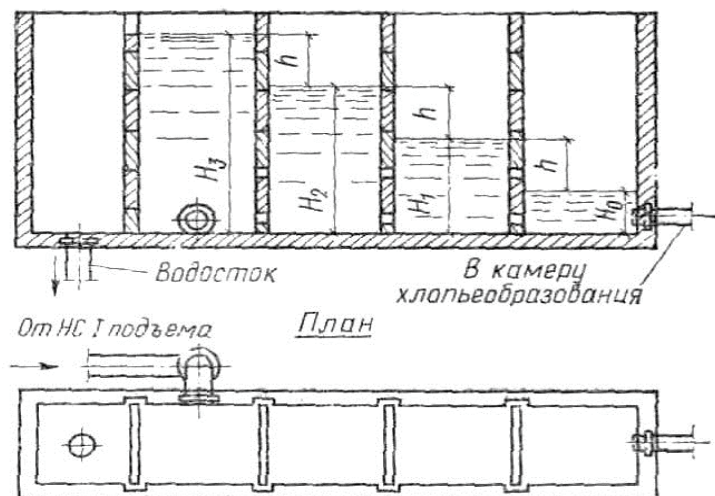


Рис. 6.6. Дырчатый смеситель

1 – подача воды; 2 – опорожнение; 3 – отвод воды; 4 – дырчатые перегородки

Расчет дырчатого смесителя ведут в следующей последовательности.

Площадь поперечного сечения лотка определяется по формуле

$$f_{\text{л}} = \frac{q}{v_{\text{л}}}$$

где q – расход воды станции очистки, $\text{м}^3/\text{с}$;

$v_{\text{л}}$ – скорость движения воды в лотке, принимается $0,6 \text{ м/с}$.

Диаметр подводящего трубопровода определяется по формуле

$$d_{\text{п.тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v_{\text{п.тр}}}}, \text{ м}$$

где $v_{\text{п.тр}}$ – скорость движения воды в подводящем трубопроводе,
 $v = 1,5 \text{ м/с}$;

Диаметр отводящего трубопровода определяем по формуле

$$d_{\text{от.тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v_{\text{от.тр}}}}, \text{ м}$$

где $v_{\text{п.тр}}$ – скорость движения воды в отводящем трубопроводе,
 $v = 0,8 \dots 1,2$ м/с.

1. Потеря напора на каждой ступени дырчатого смесителя

$$h = \frac{v^2}{2g\mu^2}$$

где v – скорость движения воды в отверстиях, равная $1 \dots 1,2$ м/с;
 g – ускорение свободного падения, равное $9,81$ м/с²;
 μ – коэффициент расхода воды через круглое отверстие,
 равный $0,62$.

5. Высота уровня воды в отделениях смесителя

$$H_1 = H_0 + h \quad H_2 = H_1 + h \quad h \quad H_3 = H_2 + h$$

где H_0 – минимально допускаемая глубина воды в смесителе после
 перегородок смесителя, принимаемая $0,4 \dots 0,5$ м.

6. Высота смесителя будет равна

$$H_{\text{см}} = H_3 + 0,3 \text{ м.}$$

7. Число отверстий в каждой перегородке определяется по формуле

$$n = \frac{4q}{\pi \cdot d^2 \cdot v}$$

где d – диаметр отверстия,

8. Емкость смесителя определяется по формуле

$$W = q \cdot t = L \cdot B \cdot h_{\text{ср}}, \text{ м}^3,$$

где t – время нахождения воды в смесителе, с ($60 \dots 180$ с);

B – ширина смесителя, м;

L – длина смесителя, м;

9. Длина смесителя определяется по формуле

$$L = 3 \cdot B, \text{ м}$$

$h_{\text{ср}}$ – средняя мощность воды в смесителе, м

10. Средняя глубина смесителя определяется по формуле

$$h_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}$$

11. Ширина смесителя определяется по формуле

$$B = \sqrt{\frac{q \cdot t}{H_1 + H_2 + H_3}}, \text{ м}$$

Перегородчатый смеситель

На станциях водоочистки нашли применение перегородчатые смесители коридорного типа с вертикальным или горизонтальным движением воды. Перегородчатый смеситель представляет собой железобетонный лоток с тремя щелевыми перегородками, установленными перпендикулярно оси сооружения. Смешение реагента с водой осуществляется за счет многократного изменения направления движения потока в горизонтальной или вертикальной плоскости. Число перегородок следует принимать от 3 до 9. Скорость движения воды в смесителе принимают 0,5...0,7 м/с.

Расчет перегородчатого смесителя коридорного типа выполняют в следующей последовательности

Принимаем для расчета:

1. Время смешения воды в смесителе принимают: $t = 1 \dots 1,5$ мин при мокром и не более $t = 3$ мин. при сухом дозировании реагентов.

2. Число перегородок $n = 3$.

3. Высоту слоя воды в конце смесителя (после перегородок) $H_k = 0,5$ м (допускается 0,4...0,5 м)

Объем перегородчатого смесителя определяют по формуле

$$W_c = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot t}{60}$$

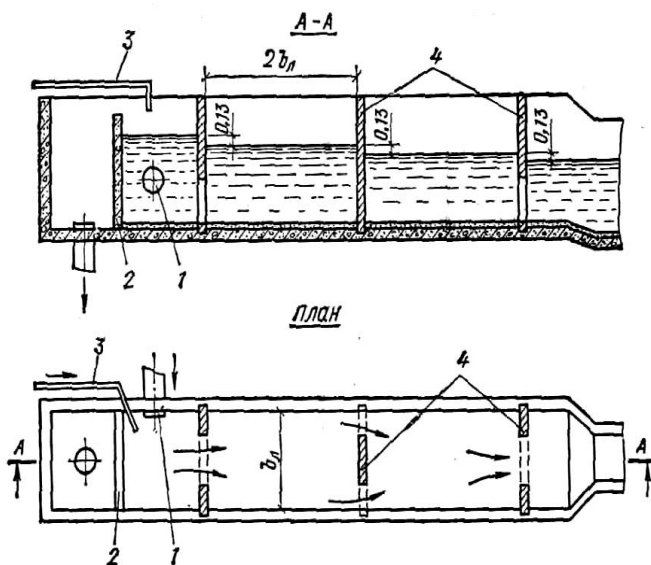


Рис.6.7. Перегородчатый смеситель:
1 – труба для подачи воды; 2 – переливная стенка;
3 – труба для подачи реагента; 4 – перегородки.

Объем перегородчатого смесителя определяют по формуле

$$W_c = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot t}{60}$$

Потери напора в каждой перегородке смесителя определяются по формуле

$$h = \xi \frac{v^2}{2g}$$

где ξ – коэффициент сопротивления в сужениях;

v – скорость движения воды в сужениях перегородок;

g – ускорение свободного падения, м/с^2

Площадь перегородки смесителя с учетом скорости движения воды равна

$$f_{\Pi} = \frac{Q_{\text{ч}}}{3600 \cdot v}$$

Ширина лотка смесителя при глубине $H_{\text{к}} = 0,5$ м равна

$$b_{\text{л}} = \frac{f_{\Pi}}{H_{\text{к}}}$$

Площадь смесителя определяется по формуле

$$F_{\text{с}} = \frac{W_{\text{с}}}{H_{\text{н}}}$$

Общая длина смесителя определяется по формуле

$$L = \frac{F_{\text{с}}}{b_{\text{с}}}$$

Расстояния между перегородками равны

$$l = \frac{L}{n}$$

Площадь сужения в перегородках определяют по формуле

$$f_{\text{с}} = \frac{0,5 \cdot Q_{\text{ч}}}{3600 \cdot v_{\text{с}}}$$

Высота слоя воды ниже второй (центральной) перегородки равна

$$H_2 = H_{\text{к}} + h$$

Глубина затопления проходов в перегородках от уровня воды H_2 должна быть не менее 0.1 м. В первой и третьей перегородках устраивают по одному центральному суженному проходу.

Площадь оодного прохода определяется по формуле

$$f_1 = \frac{Q_{\text{ч}}}{3600 \cdot v_{\text{с}}}$$

Высота прохода в третьей перегородке составляет

$$h_{\text{пз}} = H_{\text{к}} - 0,1, \text{ м}$$

Вертикальный вихревой смеситель

На водоочистных комплексах с осветлителями применяют вертикальные (вихревые) смесители в виде цилиндрического резервуара с конической нижней частью.

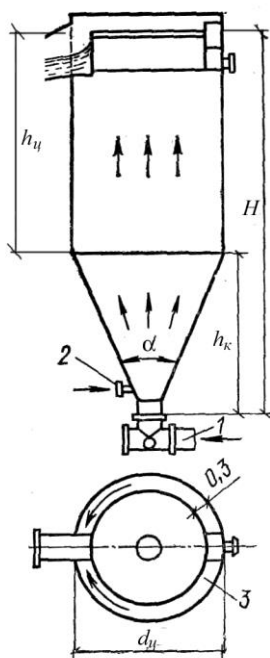


Рис 6.8. Вертикальный (вихревой) смеситель:

1 – подвод воды; 2 – трубка для подвода реагента; 3 – отвод воды.

В низ конуса подводят обрабатываемую воду и туда же, только с противоположной стороны вводят растворы реагентов. Восходящая скорость движения воды в цилиндрической части смесителя должна быть 25 мм/с, благодаря чему, частицы реагента находятся во взвешенном состоянии. Отвод воды из смесителя осуществляется периферийным лотком.

Расчет вертикального (вихревого) смесителя ведут в следующей

последовательности.

1. Диаметр цилиндрической части смесителя

$$d_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4q}{v_{\text{ц}} \cdot \pi}}$$

где $v_{\text{ц}}$ – скорость движения воды в цилиндрической части смесителя, равная 0,025 м/с.

2. Диаметр подводящего трубопровода

$$d_{\text{п.тр}} = \sqrt{\frac{4q}{v_{\text{п.тр}} \cdot \pi}}$$

где $v_{\text{п.тр}}$ – скорость движения воды в подводящем трубопроводе, равная 1,0...1,5 м/с.

3. Диаметр отводящего трубопровода

$$d_{\text{от.тр}} = \sqrt{\frac{4q}{v_{\text{от.тр}} \cdot \pi}}$$

где $v_{\text{от.тр}}$ – скорость движения воды в отводящем трубопроводе, равная 0,8...1,2 м/с.

4. Объем смесителя

$$W = q \cdot t = W_{\text{ц}} + W_{\text{к}}$$

где $W_{\text{ц}}$ – объем цилиндрической части смесителя, м³;

$W_{\text{к}}$ – объем конической части смесителя, м³.

5. Объем конической части смесителя определяется по формуле

$$W_{\text{к}} = \frac{1}{3} \pi \cdot h_{\text{к}} \left[\left(\frac{d_{\text{ц}}}{2} \right)^2 + \left(\frac{d_{\text{п.тр}}}{2} \right)^2 + \frac{d_{\text{ц}} + d_{\text{п.тр}}}{4} \right]$$

где $h_{\text{к}}$ – высота конической части смесителя, м;

Высота конической части смесителя определяется по формуле

$$h_{\text{к}} = \frac{v_{\text{ц}} + v_{\text{п.тр}}}{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

где α – угол между образующими конуса, равный 30...40°.

Откуда объем цилиндрической части смесителя

$$W_{\text{ц}} = q \cdot t - W_{\text{к}}$$

6 Высота цилиндрической части смесителя

$$h_{\text{ц}} = \frac{W_{\text{ц}}}{f_{\text{ц}}} = \frac{W_{\text{ц}} \cdot v_{\text{ц}}}{q}$$

7 Высота отводящего желоба определяется по формуле

$$h_{\text{жел}} = \frac{q}{2v_{\text{жел}} \cdot b_{\text{жел}}}$$

где $v_{\text{жс}}$ – скорость движения воды в желобе, принимается 0,4...0,6 м/с;

$b_{\text{жс}}$ – ширина желоба, равная 0,3 м.

Механический смеситель

Механические смесители основаны на механическом перемешивании воды с введенным в нее реагентом. Применяются для обеспечения лучшего регулирования процесса смешивания. Время пребывания воды в пропеллерном смесителе составляет 10...15 с, а в лопастном смесителе – 30...60 с.

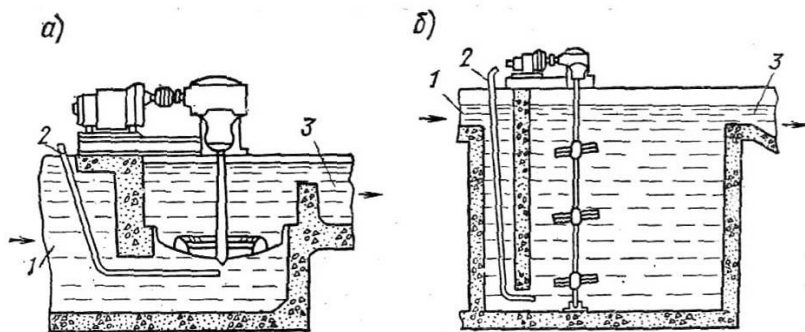


Рис.6.9. Механические смесители:

а) пропеллерный; б) лопастной.

1 – подвод воды; 2 – трубка для подвода реагента; 3 – отвод воды.

Потери напора при прохождении воды через механический смеситель

крайне малы и при расчетах их можно не учитывать.

6.6.2. Типы отстойников и их назначение

Осаждение взвешенных частиц в отстойниках происходит под действием силы тяжести. Все современные конструкции отстойников, применяемые для осветления воды, являются проточными, так как осаждение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа к выходу.

В зависимости от направления движения воды различают три основных типа отстойников: горизонтальные; вертикальные; радиальные.

В отстойниках по высоте различают зону осаждения и зону накопления и уплотнения осадка.

Горизонтальный отстойник

Горизонтальный отстойник – прямоугольный, вытянутый в сторону движения воды резервуар с встроенными камерами хлопьеобразования разделенный продольными вертикальными перегородками на коридоры, в котором осветляемая вода движется в направлении, близком к горизонтальному вдоль отстойника. Применяются при обработке воды с расходом более 30000 м³/сут с мутностью до 1500 мг/л и цветностью 120°.

Удаление осадка может быть периодическое, с выключением отстойника из работы, и гидравлическое – без выключения. Горизонтальная скорость движения воды в отстойнике при коагулированной смеси – 3...8 мм/с, при некоагулированной – 1...2 мм/с. Вода, подлежащая осветлению, подходит с одного торца бассейна, проходит вдоль зоны осаждения (1) отстойника и отводится у противоположного торца. Ниже глубины Н в отстойнике расположена зона накопления (2), в которой собирается и уплотняется выпавший осадок, причем ее дно имеет уклон, обратный ходу воды, не менее 0,02. В воду перед подачей в отстойник добавляют коагулянт, способствующий укрупнению взвеси, потому что образующиеся при коагуляции крупные частицы осаждаются во много раз быстрее. В качестве коагулянта применяют сернокислый алюминий, железный купорос, хлорное железо. Глубина зоны осаждения Н = 2,5...3,5 м.

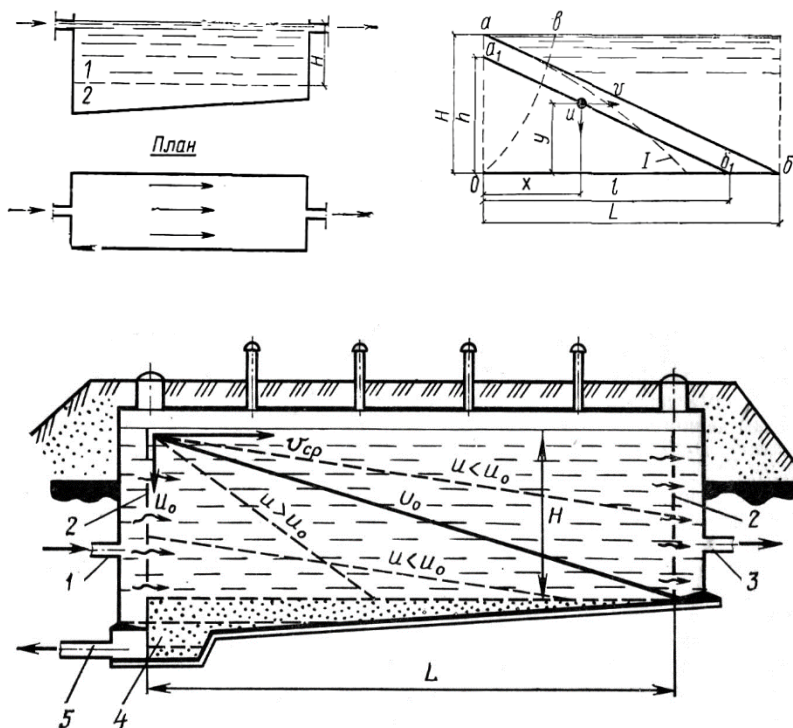


Рис. 6.10. Схема горизонтального отстойника

1 – подача воды; 2 – дырчатые распределительные перегородки;
3 – выпуск осветленной воды; 4 – приямок; 5 – удаление осадка.

$$F = \frac{\alpha \cdot q}{3,6 \cdot u_0}$$

где α – коэффициент объемного использования отстойников;
 q – расчетный расход воды, обрабатываемой на станции очистки;
 u_0 – скорость выпадения взвеси, мм/с.

Расчетная ширина отстойника определяется по формуле

Суммарная площадь горизонтального отстойника в плане определяется по формуле

$$B = \frac{q}{3,6 \cdot v_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}} \cdot N}$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, мм/с;

$H_{\text{ср}}$ – средняя шлубина зоны осаждения, м;

N – число отстойников.

При ширине отстойника более 6 м каждый из них делят перегородками на коридоры шириной 3...6 м соответственно шагу колон. Обычно каждый коридор проектируют как отдельный отстойник, особенно при гидравлическом удалении осадка.

Расчетная длина отстойника между дырчатыми перегородками определяется по формуле

$$L = H_{\text{ср}} \cdot V_{\text{ср}} \cdot u_o$$

В начале и конце отстойника устанавливают распределительные дырчатые перегородки. В нижней части перегородки на 0,3...0,5 м выше зоны накопления и уплотнения осадка отверстия не предусматривают.

Рабочая площадь перегородки в каждом коридоре отстойника определяется по формуле

$$f_{\text{раб}} = b_k(H - 0,5)$$

где b_k – ширина коридора отстойника;

H – принятая высота зоны осаждения, м.

Площадь отверстий в перегородках:
в начале отстойника

$$\sum f_o' = \frac{q_k}{v_o}$$

где v_o – скорость воды в отверстиях, 3 мм/с.

В конце отстойника

$$\sum f_o'' = \frac{q_k}{v_o}$$

где v'_0 – скорость воды в отверстиях, 5 мм/с.

Рабочий объем отстойника определяется по формуле

$$W = L \cdot B \cdot H$$

где L – строительная длина, м.

$$L = L + 2l$$

где L – длина отстойника, м;

l – расстояние от торцевой стенки отстойника до дырчатой перегородки.

Средняя глубина рабочей части отстойника определяется по формуле

$$H' = H + h_{з.н.}$$

Общая высота отстойника составляет

$$H = H' + h_{стр}$$

Где $h_{стр}$ – строительный запас, принимают 0,3 м.

Вертикальный отстойник

Вертикальный отстойник – обычно круглый в плане и в очень редких случаях квадратный резервуар значительной глубины, в котором обрабатываемая вода движется снизу вверх. Скорость восходящего потока зависит от расчетной гидравлической крупности u_0 и должна быть меньше или в пределе равна ей. Применяются для обработки воды в объеме до 5000 м³/сут.

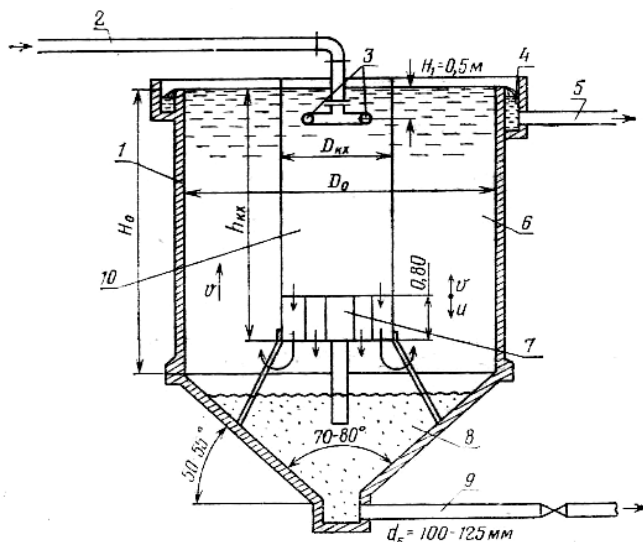


Рис.6.11. .Вертикальный отстойник с встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования: 1 – отстойник; 2 – труба, подводящая воду из смесителя; 3 – сопла; 4 – отводящий круговой желоб; 5 – труба, отводящая воду на фильтры; 6 – зона осаждения; 7 – гаситель; 8 – осадочная часть; 9 – труба для выпуска осадка; 10 – водоворотная камера хлопьеобразования

Расчет вертикального отстойника выполняют следующим образом:

1. Определяем площадь зоны осаждения отстойника по формуле

$$F_{з.о.} = \frac{\beta_{об}}{3,6v_p \cdot N_p}$$

2. Площадь камеры хлопьеобразования определяется по формуле

$$f = \frac{qt}{60h_k}$$

3. Диаметр камеры хлопьеобразования определяется по формуле

$$d_k = \sqrt{\frac{4f}{\pi}}$$

4. Диаметр отстойника определяется по формуле

$$D_o = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$$

В камеру вода подается соплами, направленными по касательной. Скорость выхода воды из сопла $v = 2-3$ м/с. В нижней части камеры предусмотрена решетка-стабилизатор для гашения вращения потока с ячейками размером $0,5 \times 0,5$ м и высотой $0,8$ м.

5. Потери напора в соплах определяют по формуле

$$h = \frac{\xi \cdot v^2}{2g}$$

6. Высота конической части отстойника определяется по формуле

$$h_k = \frac{D - d}{2 \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha)}$$

Конусная часть отстойника является его осадочной частью, объем которой определяется по формуле

$$W_o = \frac{q(C_n - C_k)T}{N \cdot b}$$

где q – расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

C_n – количество взвешенных веществ в воде, поступившей в отстойник, мг/л ;

C_k – концентрация взвеси в осветленной воде, мг/л ;

T – период действия между сбросами осадка, ч;

b – средняя концентрация уплотненного осадка, кг/м^3 .

Радиальный отстойник

В радиальный отстойник осветляемая вода подводится снизу в центр и изливается через воронку, обращенную широким концом кверху. Вокруг воронки располагается цилиндр-успокоитель радиусом $1,5-2,5$ м. Суммарную площадь отверстий определяют по скорости движения воды в них $1,0$ м/с, при этом диаметр отверстий принимают $40-50$ мм. Наличие такого цилиндра способствует более равномерному распределению воды по рабочей высоте отстойника. Вода в отстойнике медленно движется от центра к периферии в радиальном направлении, близком к горизонтальному и сливается в периферийный желоб с

затопленными отверстиями или треугольными водосливами. Для удаления осадка служит медленно вращающаяся металлическая ферма с укрепленными на ней скребками, сгребающими осадок к центру отстойника, откуда он непрерывно или периодически выпускается, или откачивается. Одним концом ферма опирается на опору в центре отстойника, а в другом – на тележку,двигающуюся по стенке отстойника. Скребки сгребают осадок к приемку в центре отстойника, откуда он удаляется по грязевой трубе

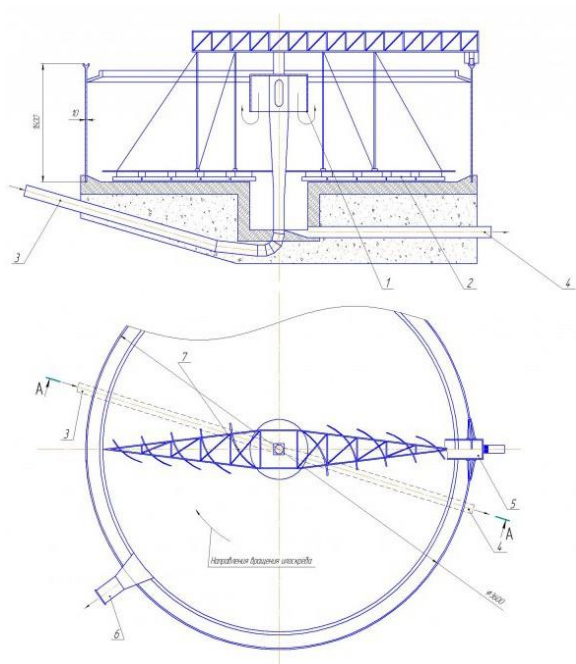


Рис. 6.12. Радиальный отстойник: 1 – отражатель; 2 – скребки;
3 – подвод водной суспензии (ил); 4 – отвод сгущенной суспензии(ил);
5 – тележка с приводом; 6 – отвод осветленной жидкости; 7 – крыло скребковое.

Радиальные отстойники устраиваются диаметром до 60 м, с глубиной отстойника у стенки в пределах 1,5...2,5 м. Уклон дна отстойника – 0,04.

Расчет радиального отстойника производят св следующем порядке:

– устанавливают необходимый процент задержания взвеси отстойником

$$A_{p.o} = \alpha \cdot \left(\frac{q}{u_o}\right)^{1,07} + A_{в.з}$$

где α – коэффициент, $\alpha = 0,2$;

q – расход воды, поступающий в отстойник, $\text{м}^3/\text{с}$;

u_o – скорость выпадения взвеси, $\text{мм}/\text{с}$;

$A_{в.з.}$ – площадь вихревой зоне отстойника, м^2 .

По вычисленному значению $A_{p.o}$ находят радиус отстойника.

– глубину отстойника определяют по формуле

$$H_{ц} = h + R \cdot i$$

где h – глубина отстойника периферийного желоба, м ;

R – радиус отстойника, м ;

i – уклон дна отстойника.

– площадь радиального отстойника определяется по формуле

$$F_{p.o} = \alpha \frac{Q}{3,6 \cdot u_o} + f$$

$$\alpha = \frac{u_p}{u_p - w}$$

где w – среднее квадратичное значение вертикальной составляющей скорости потока в среднем сечении потока;

f – площадь центральной зоны, где вследствие высокой турбулентности потока не происходит осаждения взвеси.

Осветлители со взвешенным осадком

Осветлители, как и отстойники, предназначены для предварительного удаления взвешенных веществ из воды перед фильтрованием. Слой взвешенного осадка в осветлителе (контактная среда) состоит из твердых частиц – продуктов физико-химического процесса обработки воды. Твердые частицы (хлопья коагулянта, взвешенные вещества, скоагулированные микрохлопья загрязнений воды) поддерживаются во взвешенном состоянии восходящим потоком воды

Концентрация твердых частиц в слое взвешенного фильтра обратно пропорциональна скорости восходящего потока воды, который, как и в

238

цилиндрическую, где находится защитный слой воды, предупреждающий возможность попадания в бортовые переливные желоба зерен шлама при подъеме всей или части поверхности взвешенного осадка в результате резких колебаний расхода воды и ее температуры. Из бортового кольцевого желоба вода по трубе поступает на следующее по технологической схеме очистки воды устройство.

В слое взвешенного шлама идет непрерывное накопление поступающих туда с сырой водой частиц взвеси. Если систематически не удалять из осветлителя шлам в таком же количестве, в каком он поступает, то поверхность взвешенного фильтра будет подниматься и в конечном итоге шлам начнет переливаться в бортовой желоб, то есть осветление воды прекратится.

Для удаления избыточного шлама служит устройство для отбора осадка, через которое шлам проваливается в шламоуплотнитель. Здесь он оседает, уплотняется, концентрация его увеличивается, и освобождающаяся от шлама вода поднимается в желоб.

Периодически шлам из шламоуплотнителя сбрасывается по трубе в канализацию.

6.6.3. Типы фильтров и их назначение

Водоочистные сооружения, на которых осуществляется процесс фильтрования, называются фильтрами.

Фильтрование является одним из основных методов кондиционирования воды, позволяющим довести качество ее до требований ГОСТа на питьевую воду. В процессе фильтрования из раствора выделяются не только диспергированные частицы, но и коллоиды.

Сущность метода заключается в пропуске жидкости, содержащей примеси, через фильтрующий материал, проницаемый для жидкости и не проницаемый для твердых частиц. При этом процесс сопровождается значительными затратами энергии. Однако допускать большие потери напора в технике водоочистки можно лишь при обработке небольших количеств воды. Это определяет место фильтровальных сооружений в технологической схеме. В большинстве случаев фильтрование является последним этапом осветления воды и производится после ее предварительного осветления в отстойниках или осветлителях.

Фильтры по виду фильтрующей среды делятся на: тканевые (сетчатые); каркасные или намывные; зернистые.

Из вышеперечисленных трех групп фильтров наиболее значительной является последняя. Фильтры этой группы в технике водоснабжения применяют наиболее широко.

Фильтры с зернистой загрузкой можно классифицировать по ряду основных признаков:

- по скорости фильтрования: медленные (0,1...0,3 м/ч); скорые (5...12 м/ч); сверхскорые (36 ... 100 м/ч);
- по давлению, под которым они работают: открытые (или безнапорные); напорные;
- по направлению фильтрующего потока: однопоточные (обычные скорые фильтры); двухпоточные; многопоточные
- ;– по крупности фильтрующего материала: мелкозернистые; среднезернистые; крупнозернистые;
- по количеству фильтрующих слоев: однослойные; двухслойные; многослойные.

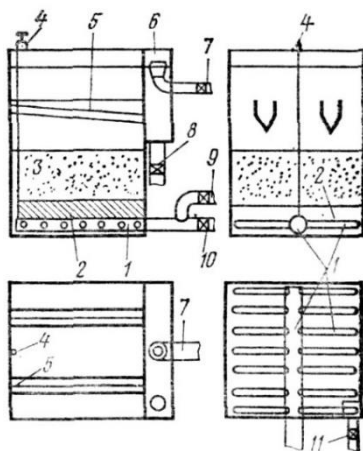


Рис.6.14. Схема скорого фильтра:

- 1 – трубчатая распределительная система большого сопротивления;
 2 – слой поддерживающей загрузки; 3 – слой фильтрующей загрузки;
 4 – воздушник; 5 – сборные желоба; 6 – боковой карман; 7 и 10 – соответственно подача исходной и отвод фильтрованной воды; 9 и 8 – соответственно подача и отвод промывной воды; 11 – опорожнение фильтра.

Коагулированная и прошедшая отстойник или осветлитель вода поступает на фильтр. Сначала вода поступает в боковой карман, а из него – в резервуар фильтра. Высота слоя воды над поверхностью

загрузки должна быть не менее 2 м. В процессе фильтрования вода проходит фильтрующий и поддерживающий слои, а затем поступает в распределительную систему, из нее в резервуар чистой воды. Максимальная потеря напора в фильтрующей загрузке допускается 2,5...3 м.

При промывке фильтров путем переключения соответствующих задвижек промывная вода поступает в распределительную систему и далее в фильтрующий слой, который она проходит снизу-вверх и расширяет (взвешивает). Дойдя до верхней кромки промывных желобов, промывная вода вместе с вымытыми ею из фильтрующего материала загрязнениями переливается в желоба, а из них в боковой карман и отводится в водосток.

Фильтрующий слой выполняют из отсортированного материала, чаще всего речного кварцевого песка крупностью от 0,5 до 2,0 мм. Могут быть применены и другие материалы, удовлетворяющие санитарным требованиям и обладающие достаточной химической стойкостью и механической прочностью (дробленый антрацит, керамзит, керамическая крошка, дробленый мрамор, полимеры и др.).

Поддерживающий слой (0,45...0,5 м), на котором лежит фильтрующий слой, укладывают с той целью, чтобы мелкий фильтрующий материал не вымывался из фильтрующего слоя и не уносился вместе с фильтруемой водой через отверстия распределительной системы.

Поддерживающий слой в свою очередь состоит из слоев гравия или щебня разной крупности, постоянно увеличивающийся сверху вниз от 2...5 до 20...40 мм. Толщина каждого слоя также увеличивается сверху вниз.

Медленный фильтр.

В медленных фильтрах осветления воды достигают в основном за счет пленочного фильтрования. Мелкозернистая фильтрующая загрузка, имеющая мелкие поры, вначале задерживает на своей поверхности наиболее крупные частицы. Последние, заклиниваясь в порах, сужают их сечение, благодаря чему начинает задерживаться более мелкая взвесь. Этот процесс быстро прогрессирует, в порах задерживаются все более и более мелкие частицы, а затем коллоиды и даже бактерии. Так на поверхности фильтра образуется фильтрующая пленка с очень тонкими порами. После этого качество фильтрата

становится весьма высоким. Задержанные пленкой бактерии и органические вещества обуславливают возникновение в ней биологических процессов, включая развитие низших организмов, поглощающих бактерии. Зерна песка обрастают студенистой массой, являющейся хорошим сорбентом. В результате биологических процессов большинство (до 99%) бактерий, находящихся в воде, задерживается пленкой и погибает.

При медленном фильтровании взвеси в основном (до 90...95%) задерживаются на пленке и в самом верхнем слое фильтра толщиной около 2...3 см. В глубь песка вследствие небольшой скорости фильтрования и малого размера пор взвесь переносится в небольшом количестве, поэтому накопление их в толще фильтрующего слоя идет очень медленно. В связи с этим при очистке медленных фильтров очищают только верхний слой песка. Часто этот слой просто удаляют, после чего фильтр снова может фильтровать воду. Вследствие малой скорости фильтрования накопление загрязнений в медленном фильтре протекает замедленно. При небольшой мутности воды чистка фильтра необходима через 1...2 месяца.

На дне фильтра устраивают дренаж, на который укладывают поддерживающий слой из гравия с уменьшающейся крупностью зерен, и поверх него насыпают фильтрующий слой из чистого промытого кварцевого песка с размером зерен 0,3...1 мм.

6.7 Обеззараживание воды

Последующим отстаиванием и фильтрованием из нее удаляется значительная часть (90 ... 95%) бактерий. Однако среди оставшейся части могут оказаться и болезнетворные бактерии и вирусы, поэтому профильтрованную воду, если она используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения, обязательно обеззараживают. Использование подземной воды в большинстве случаев возможно без обеззараживания.

Известно много методов обеззараживания воды, которые можно классифицировать на четыре основные группы:

- термический;
- при помощи сильных окислителей;
- олигодинамия (воздействие ионов благородных металлов);
- физический (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей).

Термический метод обеззараживания – кипячение воды, который применяли в прошлом веке (20 столетие) при малых количествах воды, потому что при больших объемах воды этот метод экономически не выгоден.

Олигодинамия – обеззараживание воды ионами серебра основано на том, что при содержании в воде даже ничтожно малого количества ионов серебра (0,04 мг/л) бактерии погибают. При обеззараживании этим методом пропускают посеребренный песок или через электролизер с серебряными электродами.

Одним из физических методов обеззараживания – ультразвуковой способ, который основан в создании в воде ультразвуковой частоты при помощи специальных генераторов, при этом бактерии погибают в результате механического воздействия волн, ускорения процессов окисления и сворачивания белков.

Обеззараживание воды бактерицидным излучением – это облучение прозрачных подземных вод ультрафиолетовыми лучами с длиной волны около 260 нм, в результате чего находящиеся в воде бактерии погибают.

Ультрафиолетовая установка (рис. 6.15.) состоит из корпуса, из нержавеющей стали и двух патрубков для выхода и входа воды. Внутри корпуса расположена кварцевая защитная колба, куда помещена ультрафиолетовая лампа (кварцевая ртутная или аргоно-ртутная). Контроль за работой ультрафиолетовой лампы осуществляется с помощью Уф-датчика и блока сигнализации. Световая и звуковая сигнализация предупреждает о необходимости чистить кварцевую лампу от налета или о замене лампы. Принцип работы УФ-установок основан на жестком ультрафиолетовом излучении лампы, которое при попадании на микробные клетки разрушают белковые коллоиды и ферменты их протоплазмы. Преимущество обеззараживания воды бактерицидными лучами состоит в том, что сохраняются природные и вкусовые качества воды. К недостаткам относится невозможность обеззараживания цветных и недостаточно прозрачных вод, содержащих более 0,3 мг/л железа.

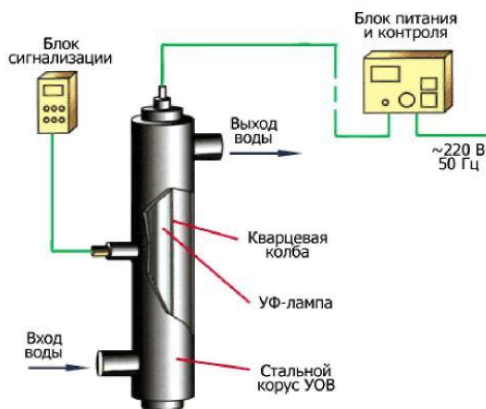


Рис. 6.15. Принципиальная схема ультрафиолетовой установки для обеззараживания воды

В настоящее время наиболее широко применяются методы второй группы. В качестве окислителей используется хлор, диоксид хлора, озон, йод, марганцовокислый калий, перекись водорода, гипохлорит натрия и кальция. В свою очередь из перечисленных окислителей на практике отдают предпочтение хлору, озону, гипохлориту натрия.

Под действием хлора или его производных бактерии, находящиеся в воде, погибают. Хлор действует и на органические вещества окисляя их, поэтому хлорирование является также хорошим средством, предотвращающим размножение в воде микроорганизмов. Для эффекта хлорирования необходимо хорошее перемешивание, а затем не менее чем 30-минутный контакт хлора с водой, прежде чем вода поступит к потребителю.

Трудности, связанные с транспортировкой и хранением токсичного хлора, являются недостатком метода хлорирования воды. Опасность утечки хлора из базисных складов на станциях, расположенных вблизи населенных пунктов, является во многих случаях препятствием для применения этого метода обеззараживания воды.

Озонирование воды – распространенный метод обеззараживания. Озон является одним из наиболее сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы. Преимущество озонирования состоит в том, что под действием озона одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, а также

устраняются запахи и привкусы воды и вообще улучшаются ее вкусовые качества. Озон не изменяет натуральные свойства воды, так как его избыток через несколько минут превращается в кислород. Озон (O_3) необходимый для озонирования, получают из атмосферного воздуха в аппаратах-озонаторах путем воздействия на воздух «тихого» (рассеянного без искр) электрического разряда, сопровождающегося выделением озона. Общая схема установки по озонированию показана на рис. 6.16.

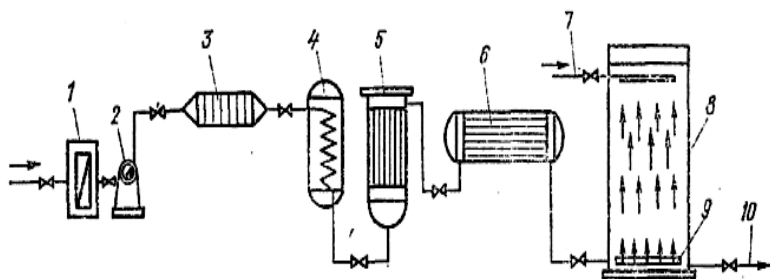


Рис. 6.16. Схема озонаторной установки:

1 – фильтр; 2 – компрессор; 3 – охлаждающее устройство; 4 – устройство для осушки воздуха; 5 – воздушонагреватель; 6 – блок озонатора; 7 – подача воды; 8 – смеситель; 9 – воздухораспределительное устройство; 10 – отвод воды

Озонатор представляет собой горизонтальный аппарат, по типу теплообменника, с вмонтированными в него стальными (нержавеющей стали) трубами. Внутри каждой стальной трубы вставлена стеклянная трубка с небольшой (2–3 мм) кольцевой воздушной прослойкой, являющейся разрядным пространством. Внутренняя поверхность стеклянных труб покрыта графито-медным или алюминиевым покрытием. Стальные трубы являются одним из электродов, а покрытие на внутренней стенке стеклянной трубы – другим. К стальным трубам подводится от трансформатора переменный ток напряжением 8000–10000 в, а покрытие из стеклянных трубок заземляется. При прохождении электрического тока через разрядное пространство происходит разряд коронного типа, в результате которого и выделяется газ – озон. Предварительно осушенный воздух проходит через кольцевое пространство и таким образом озонируется, то есть образуется озono-воздушная смесь. Стеклянные трубки являются

диэлектрическим барьером, благодаря чему разряд получается «тихим», то есть рассеянным, без образования искр. При этом до 90 % электроэнергии превращает в теплоту, которую нужно отвести от озонатора. Для этого в межтрубном пространстве озонатора циркулирует охлаждающая вода. Воздух, подаваемый в озонатор, предварительно освобождается от влаги и пыли. Следы влаги, попадая в разрядное пространство озонатора, изменяют характер электрического разряда. Появляются искровые разряды, которые значительно снижают показатели работы озонатора – уменьшается выход озона и примерно в 4 раза возрастает расход электроэнергии (по сравнению с подачей сухого воздуха). Для улавливания пыли воздух пропускают через матерчатые фильтры специальных конструкций, а для удаления влаги устанавливают адсорберы, загружаемые силикагелем. В установке устанавливают два адсорбера, которые работают поочередно, причем во время работы одного другой регенерируется. В процессе сушки воздуха выделяется теплота. Чтобы в озонатор не попал слишком теплый воздух, его подвергают охлаждению. Это достигается пропуском воздуха через теплообменник или в самом адсорбере путем подачи воды через змеевик, располагаемый непосредственно в силикагеле. При введении озона для обесцвечивания и обеззараживания воды его доза составляет 4 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживания воды с озоном принимается 5–10 минут.

7. ОБЪЕМЫ И РЕЖИМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

7.1. Сточные воды и их классификация

Сточные воды – это пресные воды, изменившие после использования в бытовой и производственной деятельности человека свои физико-химические свойства и требующие отведения.

По происхождению сточные воды могут быть подразделены: на бытовые, производственные и атмосферные.

Бытовые сточные воды образуются в основном в жилых, административных и коммунальных (бани, прачечные и др.) зданиях, а также в бытовых помещениях промышленных предприятий. Это сточные воды, которые поступают в водоотводящую сеть от санитарных приборов (умывальников, раковин или моек; ванн, унитазов и трапов – напольных приборов с решетками). Особенности

образования этих сточных вод хорошо известны.

Производственные сточные воды образуются в процессе производства различных товаров, изделий, продуктов, материалов и пр. К ним относятся отработавшие технологические растворы, маточники, кубовые остатки, технологические и промывные воды, воды барометрических конденсаторов, вакуум-насосов и охлаждающих систем; шахтные и карьерные воды; воды химводоочистки, воды от мытья оборудования и производственных помещений, а также от очистки и охлаждения газообразных отходов, очистки твердых отходов и их транспортировки.

Атмосферные сточные воды образуются в процессе выпадения дождей и таяния снега как на жилой территории населенных пунктов, так и на территории промышленных предприятий, АЗС и др. Часто эти воды называют дождевыми или ливневыми вследствие того, что в большинстве случаев максимальные (расчетные) расходы образуются в результате выпадения ливней (дождей).

Все категории сточных вод содержат то или иное количество загрязнений, которые различаются по химическому составу и физическому состоянию.

По химическому составу загрязнения сточные воды подразделяются: на органические и минеральные. *По физическому состоянию* загрязнения сточные воды делятся в зависимости от степени их дисперсности: на растворенные, коллоидные и нерастворенные.

Основными характеристиками сточных вод являются:

- количество сточных вод, характеризующееся расходом, измеряемым литрах в секунду или кубических метрах в сутки и т. д.;
- виды (компоненты) загрязнений и содержание их в сточных водах, характеризующееся концентрацией загрязнений, измеряемой миллиграммах на литр или граммах на кубический метр.

Важной характеристикой сточных вод является степень равномерности (или неравномерности) их образования и поступления в водоотводящие системы. Обычно она определяется неравномерностью поступления сточных вод по часам суток в году. Эти характеристики учитываются при проектировании водоотводящих систем.

В бытовых сточных водах содержатся загрязнения минерального и органического происхождения. И те и другие находятся в нерастворенном, растворенном и коллоидном состояниях. Часть нерастворенных загрязнений, задерживаемых при анализах на бумажных фильтрах, называют *взвешенными веществами*. Наиболее

опасны загрязнения органического происхождения. В бытовых сточных водах взвешенных веществ органического происхождения содержится в среднем 100 – 300 мг/л. Содержание органических загрязнений, находящихся в растворенном состоянии, оценивается значениями биохимической потребности в кислороде (БПК) и химической потребности в кислороде (ХПК). Бытовые сточные воды имеют БПК = 100 – 400 мг/л, а ХПК = 150 – 600 мг/л, и их можно оценить как весьма загрязненные. При хранении они способны загнить через 12 – 24 ч (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В городах расход бытовых вод с 1 га площади кварталов обычно равен 0,3–2,0 л/с (удельный расход), или 10000–60000 м³/год. В водоотводящую сеть они поступают сравнительно неравномерно и по часам суток, и по суткам в году. В дневное время расход воды больше, чем в ночное, расходы по часам суток могут изменяться в 2–5 раз.

В течение года в отдельные сутки расходы бытовых вод изменяются незначительно – лишь в 1,1–1,2 раза.

Производственные сточные воды различных отраслей промышленности содержат различные загрязнения, в которых различна концентрация их загрязнения.

В дождевых водах содержится значительное количество нерасширенных минеральных примесей, а также загрязнения органического происхождения. БПК дождевых вод достигает 50–60 мг/л. Исследованиями установлено, что и дождевые воды могут являться источниками загрязнения водоемов. Расход дождевых вод с 1 га площади территории города достигает 150 л/с (1 раз в год) и 300 л/с (1 раз в 10 лет). Это в 50–300 раз больше расхода бытовых вод. В то же время общий расход дождевых вод за год составляет 1500–2000 м³ с 1 га, т. е. в 5–30 раз меньше расхода бытовых вод. Образование (выпадение) дождевых вод происходит весьма неравномерно, их расход изменяется от нуля (в сухую погоду) до максимального значения 300 л/с (период выпадения интенсивных ливней). Достаточно широко используется понятие «городские сточные воды». Под ним понимается смесь бытовых и производственных сточных вод. В реальных условиях в чистом виде бытовых вод не бывает. В сточных водах, поступающих от городов, всегда содержатся компоненты загрязнений, характерные для производственных сточных вод (нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли и др.). При решении задач отвода и очистки городских сточных вод это необходимо учитывать. Все указанные выше виды сточных вод

требуют обязательной очистки при их отведении в открытые водоемы, так как в них содержатся различные загрязняющие вещества в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые.

7.2. Факторы, определяющие объем и режим поступления сточных вод

При разработке проектов планировки населенных мест проводят комплексное решение архитектурно-строительных, инженерно-технических, санитарно-технических и экономических вопросов по очередям строительства и перспективам развития этих населенных пунктов. Обычно первая очередь строительства определяется сроком в 8–10 лет, а полное развитие – в 20–25 лет. Организация территории населенного пункта и взаимное размещение его зон (селитебной, промышленной и др.) регламентируются специальными положениями. Первая очередь строительства предусматривает водоотведение районов жилой застройки при значительной плотности населения, а также застройки с капитальными общественными, коммунальными и лечебными зданиями. Территории промышленных предприятий также учитываются при решении схемы водоотведения населенного места.

Строительство водоотводящих сетей требует больших капиталовложений, особенно сетей крупных диаметров. Размеры сети зависят от расчетных расходов, которые, в свою очередь, зависят от количества населения. Расчетное население определяется по очередям строительства на основании градообразующих факторов в соответствии с проектом планировки. В различных районах города обычно проживает разное количество жителей, зависящее от характера зданий и их этажности, от степени благоустройства жилого фонда. На предприятиях определяют число работающих, выделяя при этом смену с максимальным числом работающих. Приток сточных вод, поступающих в водоотводящую сеть, подвержен значительным колебаниям как по суткам, так и по часам суток. Основными факторами, создающими режим поступления сточных вод в водоотводящую сеть, являются: количество населения и режим их жизни, степень благоустройства жилого фонда, наличие в черте населенного места промышленных предприятий и режим их работы и ряд других факторов. В малых городах с низким числом жителей и отсутствием промышленности объемы сточной воды, поступающей в водоотводящую сеть, будут малы. Неравномерность поступления

сточных вод в сеть будет ярко выражена при построении графика поступления сточных вод по часам суток. В городах с большим числом жителей, с высокой степенью благоустройства и наличием в черте города промышленности, работающей в три смены, приток сточных вод в сеть не будет резко колебаться по часам суток. Объемы сточных вод, поступающих в водоотводящую сеть, по часам суток будут приблизительно одинаковы.

7.3. Нормы водоотведения

Размеры сооружений систем водоотведения определяются по расчетным расходам, вычисление которых связано с удельным водоотведением.

Удельное водоотведение бытовых вод от города – это среднесуточный (за год) расход воды (л/сут), отводимый от одного человека, пользующегося системой водоотведения. Оно назначается в зависимости от степени благоустройства районов жилой зоны, а также климатических, санитарно-гигиенических и других местных условий и принимается по ТКП 45-4.01-54-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий».

В табл. 2.1 приведены нормы водоотведения бытовых сточных вод населенных мест с разной степенью благоустройства.

Таблица 2.1. **Нормы водоотведения бытовых сточных вод населенных мест**

Степень благоустройства районов жилой застройки	Среднесуточная (за год) норма водоотведения на одного жителя, л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и водоотводящей сетью, без ванн	125–160
То же, с ваннами и местными водонагревателями	160–230
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом, водоотводящей сетью и системой централизованного горячего водоснабжения	230–350

В районах, не оборудованных системами водоотведения, удельное водоотведение рекомендуется принимать 25 л/сут на одного жителя вследствие сброса сточных вод коммунально-бытовых предприятий (бани, прачечные и пр.).

Нормами водоотведения бытовых вод от города не учитываются расходы, поступающие от домов отдыха, санаториев, профилакториев

и др. Эти расходы определяются и учитываются отдельно.

В приведенных выше значениях удельного водоотведения учитываются расходы бытовых вод от жилых зданий и коммунально-бытовых предприятий, расположенных в городах. Но эти нормы не учитывают расходы бытовых и производственных вод от промышленных предприятий, которые также расположены в черте города.

Удельное водоотведение, рекомендуемое ТКП 45-4.01-54-2007, следует рассматривать как приближенное, подлежащее уточнению с учетом особенностей обслуживаемых объектов и климатических и градостроительных условий, потому что удельное водоотведение изменяется с течением времени, поэтому его следует постоянно изучать и уточнять.

Нормы водоотведения для соответствующего вида цехов, административных и бытовых предприятий (л/чел. за смену) принимают равными нормам водопотребления соответствующего потребителя по табл. 2.2.

Таблица 2.2. Удельное водоотведение и коэффициент часовой неравномерности водоотведения бытовых вод от промышленных предприятий

Цехи	Удельное водоотведение, л/(чел сут)	Коэффициент часовой неравномерности K_6
Горячие (с тепловыделением более 80 кДж/(чел·сут)	45	2,5
Холодные	25	3,0

Расходы воды от душей и ножных ванн определяются по часовым расходам воды, равным: на одну душевую сетку – 500 л/ч; на одну ножную ванну со смесителем – 250 л/ч. Продолжительность водной процедуры равна 8 мин, для ванны – 16 мин. Продолжительность пользования душем составляет 45 мин после окончания смены. Число душевых сеток следует принимать в зависимости от числа работающих в смену, числа человек, обслуживаемых одной душевой сеткой, и санитарных характеристик производственных процессов.

Удельное водоотведение производственных сточных вод – это количество воды (м^3), отводимое на единицу выпускаемой продукции или перерабатываемого сырья. Удельное водоотведение производственных сточных вод зависит от вида выпускаемой продукции и особенностей технологического процесса и колеблется в

широких пределах. Нормы водоотведения производственных сточных вод исчисляются с единицы выпускаемой продукции или с одного установленного агрегата (машины), требующего подачи воды. Эти нормы, а также сведения о размещении агрегатов, от которых отводится вода, обычно берут из соответствующих технологических проектов. На основании данных технологов о нормах сточных вод на единицу продукции или на один установленный агрегат и сведений о количестве выпускаемой продукции или числе агрегатов определяют расход производственных сточных вод от цеха или предприятия в целом.

7.4. Учет неравномерности водоотведения. Графики водоотведения

Приток сточных вод всех видов существенно колеблется по суткам в пределах одного года и по часам суток. Очень важной характеристикой этого колебания являются коэффициенты неравномерностей. С их помощью можно определять наибольшие возможные расходы, называемые *расчетными расходами*.

В практике расчета водоотводящих сооружений используются следующие коэффициенты неравномерностей: суточный, часовой и общий.

Коэффициентом суточной неравномерности (K_1) называют отношение максимального суточного расхода сточных вод к среднесуточному расходу за год.

$$K_1 = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{mid}}}, \quad (2.1)$$

где $Q_{\max}$ и Q_{mid} – максимальный и средний суточные расходы за год, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Коэффициент суточной неравномерности применяется для оценки колебаний притока только бытовых сточных вод от города. В зависимости от местных условий он равен 1,1–1,3.

Коэффициентом часовой неравномерности (K_2) называют отношение максимального часового расхода к среднесуточному расходу сточных вод в сутки с максимальным водоотведением.

$$K_2 = \frac{q_{\max (m)}}{q_{\text{mid}(m)}}, \quad (2.2)$$

где $q_{\max(m)}$ и $q_{\text{mid}(m)}$ — максимальный и средний часовые расходы в сутки с максимальным водоотведением, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Общий максимальный коэффициент неравномерности ($K_{\text{gen.max}}$) представляет собой произведение суточного и часового коэффициентов неравномерности.

$$K_{\text{gen.max}} = K_1 \cdot K_2. \quad (2.3)$$

С учетом зависимостей (2.1) и (2.2) его можно представить в следующем виде:

$$K_{\text{gen.max}} = \frac{24q_{\text{mid}(m)}}{24q_{\text{mid}}} \cdot \frac{q_{\max(m)}}{q_{\text{mid}(m)}}, \quad (2.4)$$

или

$$K_{\text{gen.max}} = \frac{q_{\max(m)}}{q_{\text{mid}}}, \quad (2.5)$$

где q_{mid} — среднечасовой расход в сутки со средним водоотведением, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Таким образом, общий коэффициент неравномерности представляет собой отношение максимального часового расхода в сутки с максимальным водоотведением к среднечасовому расходу в сутки со средним

водоотведением. Общий коэффициент неравномерности широко используется в практике определения расчетных расходов бытовых вод от городов. Многочисленными исследованиями установлено, что общий коэффициент неравномерности существенно зависит от значений среднего расхода, приведенных в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Значения общих коэффициентов неравномерности притока бытовых сточных вод от города

Средний расход сточных вод, л/с	Общий коэффициент неравномерности притока сточных вод	Средний расход сточных вод, л/с	Общий коэффициент неравномерности притока сточных вод
До 5	3,0	200	1,40
15	2,5	300	1,35
30	2,0	500	1,25
50	1,8	800	1,20
100	1,6	1250 и более	1,15

При промежуточных значениях расхода сточных вод коэффициент неравномерности определяют интерполяцией. Значения коэффициентов неравномерности для производственных сточных вод колеблются в очень значительных пределах в зависимости от вида производства и технологического процесса изготовления промышленного продукта. При проектировании водоотведения значения этих коэффициентов следует принимать по аналогии с коэффициентами неравномерности на существующих предприятиях (их можно получить у технологов).

При наличии в городе или поселке промышленных предприятий расчетный расход часто определяют простым суммированием максимальных расходов сточных вод от всех объектов водоотведения. Чтобы установить истинный суммарный максимальный расчетный расход, необходимо иметь графики колебания расходов сточных вод по часам суток как для города, так и для промышленных предприятий.

Приток сточных вод колеблется как по отдельным суткам в течение года, так и по отдельным часам в течение суток. Поэтому для расчета водоотводящих сетей необходимо знать характер этих колебаний. Многолетнее изучение особенностей притока сточных вод от городов показало, что его колебание зависит от размера города или общего расхода сточных вод. Очевидно, что зависимость колебаний притока сточных вод от среднего расхода аналогична зависимости общего коэффициента неравномерности от среднего расхода. Распределение среднесуточного расхода сточных вод по часам суток в зависимости от общего коэффициента неравномерности (среднего расхода) представлено в табл. 2.4.

Таблица 2.4. Примерное распределение в процентах среднесуточного расхода бытовых сточных вод по часам суток

Часы суток	Максимальный общий коэффициент неравномерности водоотведения				
	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4
0–1	1,20	1,25	1,25	1,55	1,65
1–2	1,20	1,25	1,25	1,55	1,65
2–3	1,20	1,25	1,25	1,55	1,65
3–4	1,20	1,25	1,25	1,55	1,65
4–5	1,20	1,25	1,25	1,55	1,65
5–6	3,10	3,30	3,50	4,35	4,20
6–7	4,80	5,00	5,20	5,95	5,80
7–8	7,40	7,20	7,00	5,80	5,80

8–9	7,95	7,50	7,10	6,70	5,85
9–10	7,95	7,50	7,10	6,70	5,85
10–11	7,95	7,50	7,10	6,70	5,85
11–12	6,30	6,40	6,50	4,80	5,05
12–13	3,60	3,70	3,80	3,95	4,20
13–14	3,60	3,70	3,80	3,55	5,80
14–15	3,20	4,00	4,20	6,05	5,80
15–16	5,60	5,70	5,80	6,05	5,80
16–17	6,20	6,30	6,40	5,60	5,80
17–18	6,20	6,30	6,40	5,60	5,75
18–19	6,20	6,30	6,40	4,30	5,20
19–20	5,25	5,25	5,30	4,35	4,75
20–21	3,40	3,40	3,40	4,35	4,10
21–22	2,20	2,20	2,20	2,35	2,85
22–23	1,25	1,25	1,25	1,55	1,65
23–24	1,25	1,25	1,25	1,55	1,65

При равномерном притоке сточных вод (выраженном в процентах) приток q за 1 ч составлял бы $100 / 24 = 4,17 \%$, а на самом деле приток сточных вод в течение суток происходит неравномерно, поэтому распределение расхода сточных вод по часам суток удобно представлять в виде ступенчатого графика (рис. 2.1). По оси абсцисс откладывается время суток, а по оси ординат – часовые расходы (в м^3 или % от суточного расхода). Такие графики более точны, если строятся при заполнении суммарной таблицы притока сточных вод от города и промышленных предприятий с учетом распределения бытовых и производственных сточных вод от промышленных предприятий по часам смены.

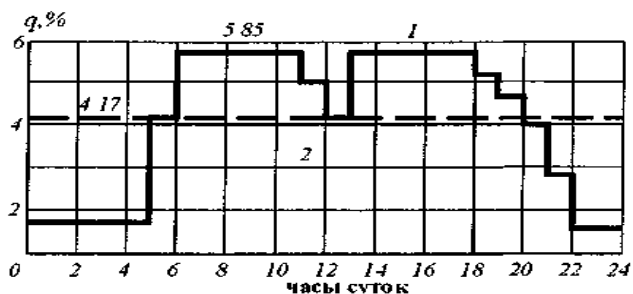


Рис. 2.1. Ступенчатый график притока сточных вод

Если на территории населенного пункта имеется несколько

районных насосных станций, при построении такого графика следует учитывать также режим работы насосов станций, перекачивающих сточные воды.

Для построения графика расходов производственных и бытовых сточных вод от промышленных предприятий по часам суток необходимо иметь технологические данные проекта соответствующих производств либо принять их по эксплуатационным данным аналогичных предприятий.

7.5. Определение расчетных расходов

Расчетным расходом сточных вод называется то количество сточных вод, на пропуск которых должны быть запроектированы канализационные сооружения. При проектировании канализации обычно определяют средний и максимальный суточные расходы, а также максимальные часовой и секундны расход.

Расходы бытовых сточных вод ($\text{м}^3/\text{сут}$ или $\text{м}^3/\text{ч}$) от городов и поселков могут быть определены по следующим формулам:

средний суточный расход

$$Q_w = \frac{N \cdot q_n}{1000}; \quad (2.6)$$

максимальный суточный расход

$$Q_w^{\max} = \frac{N \cdot q_n \cdot K}{1000}; \quad (2.7)$$

средний часовой расход

$$Q_h = \frac{N \cdot q_n \cdot K}{24 \cdot 1000}; \quad (2.8)$$

максимальный часовой расход

$$Q_h^{\max} = q \cdot K; \quad (2.9)$$

средний секундны расход

$$q_{\text{mid.s}} = \frac{q_n \cdot N}{86400}; \quad (2.10)$$

максимальный секундный расход

$$q_{\max. s} = q_{\text{mid.s}} \cdot K, \quad (2.11)$$

где N – расчетное число жителей, чел.;

q_n – норма водоотведения на одного жителя, пользующегося канализацией, л/сут;

K – коэффициент общей неравномерности.

Расчетные расходы производственных сточных вод (Q_{mid} , м³/сут; $Q_{\text{max. ст}}$, м³/см; $q_{\text{max. s}}$, л/с) определяют по формулам:

$$Q_{\text{mid}} = q_n \cdot M; \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{max. ст}} = q_n \cdot M_{\text{max}}; \quad (2.13)$$

$$q_{\text{max.s}} = \frac{q_n \cdot M_{\text{max}} \cdot K_2}{t \cdot 3,6}; \quad (2.14)$$

где q_n – удельный расход сточных вод, м³, на единицу выпускаемой продукции;

M – количество выпускаемой продукции в сутки, т;

M_{max} – то же, в смену с максимальной выработкой.

Расчетные расходы бытовых сточных вод на предприятиях (Q_w , м³/сут; Q_h , м³/ч; q_{max} , л/с) определяют по схеме с максимальным числом рабочих по формулам:

$$Q_w = \frac{25N_1 + 45N_2}{1000}; \quad (2.15)$$

$$Q_w = \frac{25N_1 + 45N_2}{1000 \cdot 8}; \quad (2.16)$$

$$q_{\text{max.s}} = \frac{25N_3 \cdot K_2 + 45N_4 \cdot K_2}{T \cdot 3600}, \quad (2.17)$$

где N_1 и N_2 – число людей, работающих в смену с нормой водоотведения 25 и 45 л/см.;

N_3 и N_4 – число работающих в смену (чел.) с максимальным числом работающих и нормой водоотведения 25 и 45 л/см;

K_2 – коэффициент часовой неравномерности водоотведения;

T – число рабочих часов в смене.

Расчетные расходы душевых сточных вод с учетом их равномерности образования в течение 45 мин последнего часа смены можно определять по следующим формулам:

$$Q_{\text{см}}^{\text{пax}} = \frac{q_{\text{д.с}} \cdot m_{\text{д.с}} \cdot 45}{1000 \cdot 60}; \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{ст}} = \left(\frac{q_{\text{д.с}} \cdot m_{\text{д.с}} \cdot 45}{1000 \cdot 60} \right) \cdot \left(\frac{N_{\text{см}}}{N_{\text{пax}}} \right); \quad (2.19)$$

$$q_{\text{пax.с}} = \frac{q_{\text{д.с}} \cdot m_{\text{д.с}}}{3600}, \quad (2.20)$$

где $q_{\text{д.с}}$ – расход воды через душевую сетку, равный 500 л/ч;

$m_{\text{д.с}}$ – число душевых сеток, шт.;

$N_{\text{см}}$ – число рабочих, пользующихся душем, в рассчитываемую смену, чел.;

$N_{\text{пax}}$ – число рабочих, пользующихся душем в максимальную смену, чел.;

45 – продолжительность работы душа в последний час смены, мин.

Число душевых сеток определяется по формуле

$$m_{\text{д.с}} = \frac{N_{\text{пax}} \cdot t_{\text{п}}}{t_{\text{д}}}, \quad (2.21)$$

где $t_{\text{п}}$ – продолжительность водной процедуры одним человеком, пользующимся душем, составляющая 9 мин;

$t_{\text{д}}$ – продолжительность работы душа, составляющая 45 мин.

При проектировании водоотводящей сети необходимо знать расход, на который производится расчет сети. Разбивка сети производится по узловым точкам, длина которых соответствует обычно длине квартала. Разбивка на расчетные участки производится с учетом рельефа местности. Расчетные участки водоотводящих сетей – это отдельные расчетные участки трубопроводов и коллекторов, в пределах которых расход считают условно постоянным.

Расчетный расход для расчетного участка сети можно определить по тяготеющим площадям и по удельному расходу на единицу длины трубопровода. Первый метод «площадей» широко применяется для расчета расходов по расчетным участкам сети.

Расход для каждого расчетного участка определяется как сумма

расходов: попутного, поступающего в расчетный участок от расположенных вдоль него кварталов жилой застройки; транзитного, поступающего в верхнюю точку расчетного участка с вышележащего квартала; бокового от присоединения боковых линий и сосредоточенного от крупных отдельных нежилых объектов (промышленных предприятий, бассейнов и т. д.). Расчетный расход на отдельном участке сети определяется по формуле

$$Q_{\text{расч}} = [(q_{\text{поп}} + q_{\text{бок}}) + q_{\text{тр}}] \cdot K + q_{\text{соср}}, \quad (2.22)$$

где $q_{\text{поп}}$ – попутный расход на участке от кварталов, примыкающих непосредственно к данному участку, л/с;

$q_{\text{бок}}$ – расход от боковых присоединений, расположенных в начальную точку участка, л/с ;

$q_{\text{тр}}$ – транзитный расход, поступающий в расчетный участок с вышерасположенного участка, л/с;

$q_{\text{соср}}$ – сосредоточенный расход от промышленных предприятий или нежилого объекта, л/с.

При определении расхода сточных вод для данного расчетного участка сети попутный, транзитный и боковой среднесекундные расходы суммируются, умножаются на соответствующий коэффициент неравномерности, а затем к полученному результату прибавляется сосредоточенный расход.

Попутный расход сточных вод определяется по методу тяготеющих площадей. При расчете по этому методу используется удельный расход (q_0 , л/(с · га)) или модуль стока, который определяется по формуле

$$q_0 = \frac{q_n P}{86400}, \quad (2.23)$$

где q_n – норма водоотведения на одного человека, л/сут;

P – плотность населения на 1 га.

Модуль стока определяют для каждого района, отличающегося от другого плотностью населения и имеющего другую норму водоотведения.

Режим водоотведения характеризуется максимальным и минимальным коэффициентами неравномерности ($K_{\text{gen. max}}$ и $K_{\text{gen. min}}$). Значения $K_{\text{gen. max}}$ и $K_{\text{gen. min}}$ принимаются в зависимости от среднего расхода сточных вод по табл. 2.5.

Таблица 2.5. Общие коэффициенты неравномерности притока

бытовых вод от города

Средний расход сточных вод, л/с	Общий коэффициент неравномерности	
	$K_{gen. max}$	$K_{gen. min}$
5	2,50	0,38
10	2,10	0,45
20	1,90	0,50
50	1,70	0,55
100	1,60	0,59
300	1,55	0,62
500	1,50	0,66
1000	1,47	0,69
5000 и более	1,44	0,71

Величину коэффициента неравномерности можно определять по формуле, предложенной Н. Ф. Федоровым для средних расходов до 1250 л/с:

$$K_{gen. max} = \frac{2,69}{q_s}, \quad (2.24)$$

где q_s – среднесекундный расход сточных вод, л/с.

Попутный расход представляет собой произведение площади квартала на модуль стока.

$$q_{поп} = F \cdot q_0, \quad (2.25)$$

где F – площадь квартала, га.

Сосредоточенный расход ($q_{соср}$) от нежилого объекта определяют как сумму расчетных расходов сточных вод различного происхождения (бытовых, душевых и производственных), определяемых по формулам (2.14), (2.17) и (2.20).

Для удобства определения расчетных расходов сточных вод по участкам сети полученные результаты целесообразно сводить в табл. 2.6.

Расходы сточных вод от отдельных зданий специального назначения и промышленных предприятий, величина водоотведения которых значительно превышает расходы сточных вод от жилых зданий, считаются сосредоточенными. Эти сточные воды присоединяются к водоотводящей сети населенного пункта в местах сообразно расположению зданий специального назначения.

Таблица 2.6. **Распределение расхода сточных вод города по часам суток**

Часы суток	Хозяйственно- фекальные сточные воды от населения			Расходы сточных вод от промышленных предприятий						Суммарный расход сточных вод, м³/ч
				Хозяйственно- фекальные сточные воды				Душевые стоки, м³/ч	Технологические сточные воды, м³/ч	
	% от среднесуточного расхода		м³/ч	%	м³/ч	%	м³/ч			
	К _{табл}	К _{деп. max}								

Расходы бытовых сточных вод от жилых зданий кварталов условно считаются равномерно распределенными путевыми, поступающими от обслуживаемого квартала или его части в начальную точку (колодец) расчетного участка водоотводящей сети и сохраняющими по длине постоянную величину.

При установлении расходов производственных стоков необходимо выделять так называемые залповые сбросы, т.е. такие, которые производятся эпизодически, в зависимости от хода технологического процесса, и в значительной степени превышающие обычные для данного промышленного объекта.

8. СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

8.1. Основные элементы водоотводящих систем

Водоотводящая система состоит из следующих *основных элементов*:

- 1) внутренних водоотводящих систем в зданиях и внутриквартальных водоотводящих сетей;
- 2) внешней (наружной) водоотводящей сети;
- 3) регулирующих резервуаров;
- 4) насосных станций и напорных трубопроводов;
- 5) очистных сооружений;
- 6) выпусков очищенных сточных вод в водоем и аварийных выпусков воды в водоем.

На рис. 3.1 представлена общая (без кварталов и проездов) схема водоотведения города.

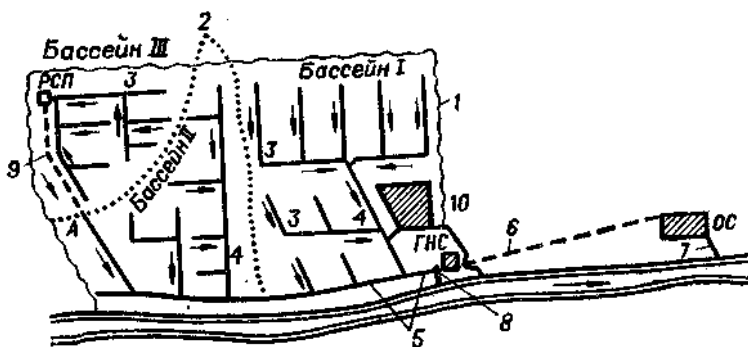


Рис. 3.1. Общая схема водоотведения населенного пункта:

- 1 – граница города; 2 – границы бассейнов канализования; 3 – уличная сеть;
 4 – коллектор; 5 – главный коллектор; 6 – загородный коллектор; 7 – выпуск в водоем;
 8 – аварийный выпуск; 9 – напорный водовод; 10 – промышленное предприятие;
 ГНС – главная насосная станция; РСП – районная станция перекачки;
 ОС – очистные сооружения

Внутренняя водоотводящая система жилого дома состоит из приемников сточных вод (санитарных приборов) внутренней водоотводящей сети, которая включает отводные линии, стоянки и выпуски из зданий.

Внутриквартальная водоотводящая сеть представляет собой систему подземных трубопроводов, трассировка которой производится около зданий между смотровыми колодцами по концам выпусков из зданий в направлении, совпадающем с уклоном поверхности земли. Соединение ее с внешней (уличной) сетью производится участками труб, называемыми соединительными ветками. Внутриквартальная сеть трубопроводов рассчитывается на самотечное (безнапорное) движение жидкости с частичным заполнением труб.

От внутриквартальной до уличной сети, в пределах квартала, на расстоянии 1,0–1,5 м от красной линии (границы квартала) располагается контрольный колодец (КК). Он предназначен для контроля работы внутриквартальной сети и правильности использования сетей водоотведения специальными организациями, эксплуатирующими внешние водоотводящие сети и очистные сооружения.

Внешняя (наружная) водоотводящая сеть, называемая иногда уличной, представляет собой систему подземных трубопроводов,

уложенных с уклоном в направлении движения воды. Она рассчитывается на самотечное (безнапорное) движение жидкости с частичным или полным заполнением труб при расчетных условиях (наибольших расходах). В целях сокращения заглубления трубопроводы должны трассироваться в направлении, совпадающем с уклоном поверхности земли.

При составлении схемы водоотводящей сети обслуживаемый объект разбивается на бассейны водоотведения (см. рис. 3.1). Бассейн водоотведения – часть территории обслуживаемого объекта, ограниченная линиями водоразделов и границами объекта. Внешняя водоотводящая сеть может быть подразделена: на уличную сеть, коллекторы бассейнов водоотведения и главные коллекторы. Уличная сеть – это трубопроводы, проложенные по части периметра квартала (с нижней стороны по рельефу) или по всему его периметру. К ней присоединяются внутриквартальные сети.

Коллекторы бассейнов водоотведения – трубопроводы, предназначенные для приема и отвода воды от части или целого бассейна водоотведения. Главные коллекторы – трубопроводы, предназначенные для приема и отвода воды от части или всего обслуживаемого объекта. Главными коллекторами вода транспортируется к насосным станциям или очистным сооружениям.

После нанесения на план населенного пункта главного и отводного коллекторов трассируется уличная сеть. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы количество перекачивающих насосных станций было минимальным, а самотечные коллекторы охватывали наибольшую часть территории населенного пункта при минимальной протяженности сети. Направление, протяженность и глубина главного и отводного коллекторов зависят от места расположения очистных сооружений и выпуска очищенных сточных вод. Трассы коллекторов и уличной сети выбираются с учетом рельефа местности и вертикальной планировки населенного пункта.

На трассировку сети существенное влияние оказывают место расположения промышленных предприятий с сосредоточенным расходом сточных вод, система водоотведения, наличие грунтовых вод и грунтовые условия (просадочные или скалистые породы и т. д.), характер застройки и планировки кварталов, насыщенность подземными коммуникациями, ширина улиц и т. п.

При трассировке сети определяются бассейны водоотведения и их коллекторы. Затем они подключаются либо к районным станциям

перекачки, либо в один или несколько коллекторов через отводной коллектор направляются к главной станции перекачки или к очистным сооружениям (в зависимости от рельефа местности и схемы водоотведения).

Для осмотра трубопроводов на водоотводящей сети создаются смотровые колодцы и камеры. Для сброса воды на коллекторах, уложенных вдоль реки, создаются специальные сооружения – ливнеспуски.

Регулирующие резервуары представляют собой искусственные или оборудованные естественные емкости, обеспечивающие аккумуляцию сточных вод в период максимального притока их. Сброс или откачка воды из регулирующих резервуаров производится в периоды снижения притока сточных вод. Регулирующие резервуары являются, как правило, необходимыми сооружениями водоотводящих сетей для отвода дождевых вод. На водоотводящих сетях, предназначенных для отвода бытовых вод, регулирующие резервуары объединяются с приемными резервуарами насосных станций.

Самотечный отвод воды на очистные сооружения возможен только при сильно выраженном рельефе местности и сравнительно больших уклонах поверхности земли. Обычно глубина заложения трубопроводов возрастает в зависимости от их длины. При глубине 6–8 м производство строительных работ открытым способом (с разработкой траншей) становится весьма затруднительным. Поэтому приходится осуществлять перекачку сточных вод. Строящиеся для этого *насосные станции* подразделяются: на местные (МНС), районные (РНС) и главные (ГНС). МНС служат для подъема и перекачки сточных вод от одного здания или группы зданий; РНС – для подъема и перекачки сточных вод от части или целого бассейна водоотведения; ГНС – для подъема и перекачки сточных вод на очистные сооружения от части или всего обслуживаемого объекта. Для насосных станций характерно большое заглубление и круглая форма, обусловленная опускным способом производства работ. В целях повышения надежности работы водоотводящей системы напорные трубопроводы выполняются в две нитки.

Очистные сооружения представляют собой комплекс сооружений, на которых сточная вода последовательно очищается от загрязнений, находящихся в различном состоянии (растворенном или нерастворенном).

Выпуски воды в водоем – специальные сооружения, конструкция

которых обусловлена следующими требованиями: обеспечение быстрого и интенсивного смешения сточных вод с водой водоема и исключение разрушения самого выпуска потоками сбрасываемой сточной воды и воды водоема.

Аварийные выпуски располагаются на главных коллекторах, расположенных вдоль реки. Весьма желательно устройство их перед насосными станциями. Устройство аварийных выпусков согласовывается с санитарными органами и органами рыбоохраны. Сброс воды в реку через выпуски допускается лишь в чрезвычайных случаях – авариях на коллекторах или насосных станциях.

Самотечные и напорные трубопроводы, а также очистные сооружения, располагаемые за пределами территории промышленного предприятия, называются *внеплощадочными*.

Все элементы системы водоотведения взаимосвязаны в работе. Выход из строя хотя бы одного из них может привести к нарушению работы всей системы.

8.2. Системы водоотведения городов

Отличие по составу и свойствам загрязнений бытовых и дождевых вод, а также бытовых и многих производственных сточных вод обуславливает разные методы их очистки, а также необходимость раздельного их отведения по самостоятельным водоотводящим сетям.

Возможны различные решения системы водоотведения: путем совместного или раздельного водоотведения сточных вод различных видов или путем совместной или раздельной их очистки. В зависимости от этого проектируемые водоотводящие системы подразделяются: на общесплавные, раздельные и комбинированные. В то же время раздельные системы подразделяются: на полные раздельные, неполные раздельные и полураздельные.

Общесплавная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть, предназначенную для отвода сточных вод всех видов: бытовых, производственных и дождевых. Особенностью общесплавной системы является наличие на главном коллекторе ливнеспусков, через которые часть смеси сточных вод сбрасывается в водоем.

Применение общесплавных систем целесообразно при наличии рядом с обслуживаемыми объектами рек с большими расходами воды, в которые допустим сброс значительных объемов неочищенных сточных вод.

Полная раздельная система водоотведения (рис. 3.2) имеет две или большее число водоотводящих сетей, каждая из которых предназначена для отвода сточных вод определенного вида. Она имеет сети для отвода: бытовых вод от города (бытовая сеть), производственных вод (производственная сеть) и дождевых вод (водостоки или дождевая сеть).

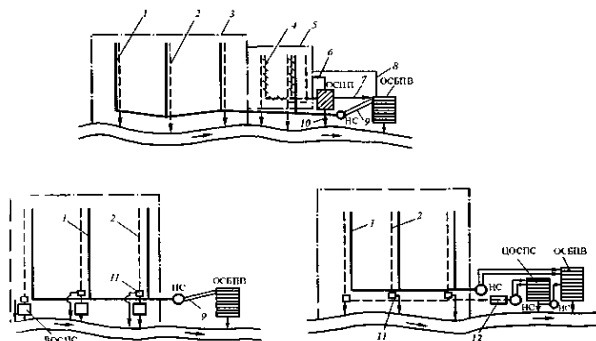


Рис. 3.2. Схемы полной раздельной системы водоотведения: *а* – без очистки поверхностного стока; *б* и *в* – с очисткой поверхностного стока соответственно на локальных и на централизованных очистных сооружениях; ОСБПВ – очистные сооружения бытовых и производственных вод; ОСПП – очистные сооружения промышленного предприятия; ЛОСПС – локальные очистные сооружения поверхностного стока; ЦОСПС – централизованные очистные сооружения поверхностного стока;

НС – насосная станция; 1 – бытовая сеть; 2 – ливневая сеть; 3 – граница города; 4 – производственная сеть; 5 – граница промышленного предприятия; 6 – возврат воды на производство после очистки; 7 – подача воды для доочистки на очистные сооружения города; 8 – подача очищенных вод на промышленное предприятие; 9 – напорные трубопроводы; 10 – выпуск очищенных производственных сточных вод в водоем; 11 – разделительные камеры; 12 – регулирующий резервуар

При полной раздельной системе водоотведения проблема очистки поверхностного стока может решаться двумя путями: 1) созданием локальных очистных сооружений поверхностного стока на дождевой сети перед выпусками; 2) созданием централизованных очистных сооружений поверхностного стока за пределами обслуживаемого объекта и переброской на них дождевых вод по главному коллектору дождевой сети.

Неполная раздельная система водоотведения имеет лишь одну

водоотводящую сеть, предназначенную для отвода загрязненных бытовых и производственных сточных вод и называемую производственно-бытовой сетью. Отвод дождевых вод в водоем предусматривается по открытым лоткам, кюветам и канавам. Устройство неполной раздельной системы водоотведения возможно лишь для небольших объектов.

При сравнительно малых расходах воды в дождевой сети камеры перепускают весь расход дождевых вод в главный коллектор производственно-бытовой сети.

При больших расходах воды в дождевой сети (в период сильных ливней) менее загрязненные дождевые воды отводятся в водоем без очистки.

Комбинированной системой водоотведения называют такую систему, при которой обслуживаемый объект в одной части оборудован общесплавной системой, а в другой – полной раздельной системой.

Каждая из перечисленных выше систем водоотведения имеет достоинства и недостатки.

Достоинства общесплавной системы:

- 1) протяженность и стоимость одной сети, по сравнению с несколькими сетями полной раздельной системы, значительно меньше;
- 2) при проектировании объем сброса сточных вод в водоем может устанавливаться с учетом расхода воды в реке и ее самоочищающей способности;
- 3) в меньшей степени оказываются застроенными (насыщенными) подземные части улиц и проездов, меньше смотровых колодцев с люками и крышками на поверхности проездов;
- 4) значительно меньше стоимость эксплуатации сети по сравнению со стоимостью эксплуатации полной раздельной системы.

Недостатки общесплавной системы:

- 1) требуются большие единовременные затраты в начале строительства сети, состоящей из труб большого диаметра;
- 2) больше стоимость строительства и эксплуатации насосных станций и очистных сооружений;
- 3) в водоем через ливнепуски сбрасывается смесь сточных вод. Таким образом в водоем кроме дождевых частично поступают бытовые и производственные сточные воды, характеризующиеся высокими показателями загрязнений;
- 4) через ливнеотводы и ливнепуски возможно подтопление водоотводящей сети в период паводков в реках и повышения уровней воды

в них.

Достоинства полной раздельной системы:

1) невелики единовременные затраты на строительство бытовой сети, созданием которой можно ограничиться при осуществлении первой очереди строительства;

2) стоимость строительства и эксплуатации очистных сооружений меньше, чем стоимость их строительства при общесплавной системе.

Недостатком существующих полных раздельных систем водоотведения является то, что весь объем дождевых вод сбрасывается без очистки в водоем.

Полураздельная система (рис. 3.3) водоотведения лишена ряда санитарных недостатков, присущих общесплавной и полной раздельной системам водоотведения. При полураздельной системе водоотведения в водоем сбрасывается лишь часть менее загрязненных дождевых вод. Наиболее загрязненные воды направляются на очистные сооружения и подвергаются очистке.

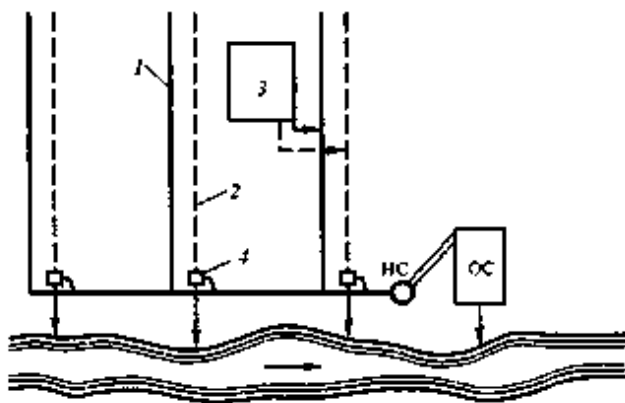


Рис. 3.3. Схема полураздельной системы водоотведения:

1 – производственно-бытовая сеть; 2 – ливневая сеть;

3 – промышленное предприятие; 4 – разделительные камеры

Выбор системы водоотведения должен осуществляться на основании технико-экономического сравнения систем, равноценных в санитарном отношении.

Производственные сточные воды органогенного происхождения

могут отводиться по бытовой сети без ограничений при соблюдении правил сброса их в общую городскую водоотводящую сеть.

Специфические производственные стоки неорганического происхождения требуют специфической технологии водоотведения, определенной степени очистки и повторно-оборотного использования или полной глубокой очистки с последующим сбросом в водоем.

При разработке системы водоотведения городов и промышленных предприятий необходимо учитывать:

- возможность сокращения объемов загрязненных сточных вод за счет устройства замкнутых систем;
- возможность последовательного использования воды в различных технологических процессах с различными требованиями к ее качеству;
- необходимость очистки наиболее загрязненной части поверхностного стока, образующегося в период выпадения дождей, таяния снега и мойки дорожных покрытий в количестве 70 % годового стока для жилых территорий и всего объема стока для площадок предприятий, имеющих выбросы токсичных органических веществ.

При полной раздельной системе водоотведения очистка поверхностного стока может быть осуществлена только дифференцированно с созданием локальных очистных сооружений на дождевой сети или созданием централизованных очистных сооружений за пределами обслуживаемого объекта.

Разделение и отведение на очистные сооружения наиболее загрязненных вод, составляющих 70 % годового стока, обеспечиваются раздельными камерами.

Основными показателями при выборе той или иной системы водоотведения являются капитальные вложения (в том числе на 1 м³ суточного расхода сточных вод в целом по всей системе и отдельно по очистным сооружениям), годовые эксплуатационные расходы, а также себестоимость отвода и очистки 1 м³ сточных вод. Решающее значение имеют приведенные затраты, учитывающие капитальные вложения и эксплуатационные расходы. Однако окончательный выбор оптимального варианта не может быть сделан без учета санитарно-гигиенических требований.

8.3. Системы водоотведения малонаселенных мест и отдельно расположенных объектов

При преобразовании сел и деревень в современные благоустроенные поселки, соответствующие уровню городской застройки, необходимо оснастить их технически совершенными системами водоотведения. В малых населенных пунктах предусматривается в основном централизованное устройство систем водоотведения, как наиболее отвечающее санитарно-гигиеническим требованиям и комфортным условиям.

В большинстве случаев для малонаселенных мест в качестве системы водоотведения используют неполную раздельную, которая отводит наиболее загрязненные бытовые и сточные воды. Атмосферные воды стекают естественным путем по кюветам проездов, открытым лоткам, канавам и тальвегам. Недостатком этой системы является затопление проездов и подземных помещений во время интенсивных дождей при спокойном рельефе местности.

В другом случае можно использовать полураздельную систему водоотведения. Она представляет собой раздельную систему, но с использованием дополнительных устройств – сбросных камер, с помощью которых первые порции наиболее загрязненных дождевых вод автоматически направляются в сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод, а затем по единому коллектору – на очистные сооружения. Последующие сравнительно чистые дождевые воды сбрасываются непосредственно в водоем. Бытовую сеть укладывают ниже дождевой для того, чтобы обеспечить прием первых порций наиболее загрязненных дождевых вод. По санитарным соображениям полураздельная система по сравнению с полной раздельной и общесплавной позволяет снизить степень загрязнения водоема, а в экономическом отношении ее очистные сооружения могут быть меньших размеров, а значит, дешевле. Дальнейшее совершенствование систем водоотведения связано с повышением индустриальности строительства очистных сооружений. В качестве очистных сооружений в малых и поселковых системах водоотведения рекомендуется использовать решетки с ручной очисткой, песколовки (при производительности очистных станций $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ и более), фильтрующие колодцы, двухъярусные отстойники, биологические пруды, биофильтры.

8.4. Системы водоотведения промышленных предприятий

Системы водоотведения промышленных предприятий также подразделяются: на общесплавные и раздельные. Выбор системы водоотведения для предприятий весьма важен, так как на отдельных из них могут образовываться до 5–10 различных видов сточных вод, отличающихся по расходу, составу и свойствам содержащихся в них загрязнений.

При выборе системы водоотведения необходимо учитывать следующие возможности:

- совместной и раздельной очистки отдельных видов (от отдельных цехов) сточных вод;

- извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;

- повторного использования производственных сточных вод без очистки или после частичной очистки в системе оборотного водоснабжения или для технических нужд другого цеха или производства;

- использования для производственных целей очищенных бытовых и дождевых вод;

- использования производственных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур.

Кроме того, необходимо учитывать мощность водоема, в который предполагается сброс очищенных сточных вод, количество воды в нем, вид водопользования и его самоочищающую способность.

Общесплавную систему водоотведения целесообразно применять для небольших промышленных предприятий (с малым расходом воды), если производственные сточные воды близки по составу к бытовым сточным водам и возможно попадание в дождевые воды загрязнений, характерных для производственных вод. Общесплавная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть. Производственные воды от всех цехов совместно с бытовыми и дождевыми водами по этой сети отводятся на единые очистные сооружения.

Раздельные системы водоотведения могут иметь несколько водоотводящих сетей для отвода производственных сточных вод от отдельных цехов. Эти сети называются производственными, а наименование дополняют словом, характеризующим основное загрязнение воды. Например, производственные кислотосодержащие; производственные нефтесодержащие и т. д. Бытовые и дождевые воды также отводятся по самостоятельным сетям, называемым бытовой сетью и дождевой сетью. При этом возможен совместный отвод

нескольких видов сточных вод. Производственные сточные воды всего промышленного предприятия или отдельного цеха совместно с бытовыми водами отводятся производственно-бытовой сетью. Сеть, предназначенная для совместного отвода производственных и дождевых вод, называется производственно-дождевой. Возможные раздельные системы водоотведения промышленных предприятий представлены на рис. 3.4.

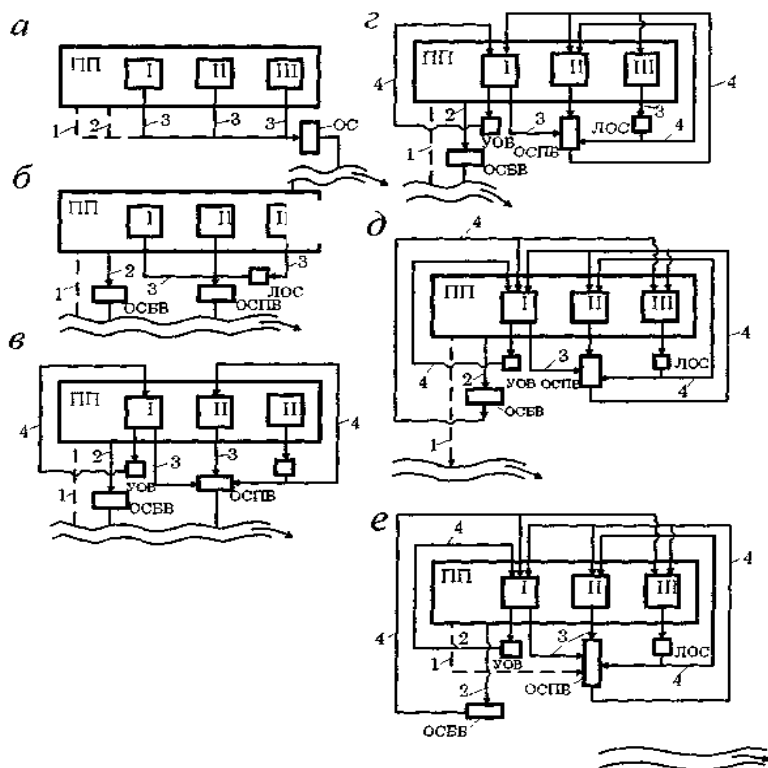


Рис. 3.4. Системы водоотведения промышленных предприятий:
 а – общесплавная система; б – раздельная система с локальными очистными сооружениями; в и г – соответственно с частичным и полным оборотом производственных вод; д – с полным оборотом производственных и бытовых вод; е – с полным оборотом всех сточных вод; I, II, III – цехи промышленных предприятий; ЛОС – локальные очистные сооружения; ОСПВ – очистные сооружения производственных вод; ОСБВ – очистные сооружения бытовых вод; УОВ – установка охлаждения воды;

1 и 2 – дождевые и бытовые сточные воды от промышленного предприятия;
3 – производственные воды от отдельных цехов; 4 – возврат воды в производство

Раздельную систему водоотведения с локальными очистными сооружениями целесообразно применять при различном характере загрязнений бытовых и производственных вод. В сточных водах отдельных цехов могут содержаться специфические загрязнения. Для очистки воды от них целесообразно устройство локальных очистных сооружений.

Раздельную систему водоотведения с частичным оборотом производственных вод целесообразно применять при возможности оборотного использования некоторых производственных сточных вод с частичной очисткой или для водоснабжения (после охлаждения) некоторых цехов и производств.

Раздельную систему водоотведения с полным оборотом производственных вод целесообразно применять при большом расходе производственных сточных вод и небольшом расходе воды в реке.

Раздельная система водоотведения с полным оборотом всех сточных вод называется бессточной системой водопользования или замкнутой системой водного хозяйства промышленного предприятия. Создание таких систем водопользования должно обеспечить рациональное использование воды во всех технологических процессах, максимальную утилизацию компонентов сточных вод, нормальные санитарно-гигиенические условия работы обслуживающего персонала, исключение загрязнения окружающей природной среды, сокращение капитальных и эксплуатационных затрат.

Названные системы водоотведения следует рассматривать как приближенные. В зависимости от конкретных условий на предприятиях возможно создание нескольких систем очистки с вариантами объединения различных видов сточных вод (в том числе бытовых и дождевых). Возможно создание и нескольких оборотных централизованных систем. В общем виде замкнутая система водопользования промышленного предприятия включает:

- локальные оборотные (замкнутые) системы;
- централизованные замкнутые системы;
- охлаждающие локальные (централизованные) оборотные (замкнутые) системы, а также системы последовательного использования воды в двух или нескольких технологических операциях с передачей воды из одной системы в другую.

8.5. Экологическая и технико-экономическая оценка систем водоотведения

Выбор наиболее эффективной системы водоотведения зависит от технологических показателей желательности, предъявляемой в конкретной ситуации.

Обоснование применения определенной системы водоотведения должно быть комплексным, так как она характеризуется определенными показателями.

Экономическому обоснованию должен предшествовать технологический анализ выбора оптимального варианта или при наличии многих вариантов – двух-трех, удовлетворяющих основным требованиям.

Для систематизации и обобщения научно-технической информации рекомендуется составить граф, в котором находятся вероятные и перспективные системы, а также возможный уровень их использования. Общесплавная система с ее элементами показана на рис. 3.5 в виде графа возможных вариантов водоотведения, при данной системе сточных вод отводятся и обрабатываются совместно.

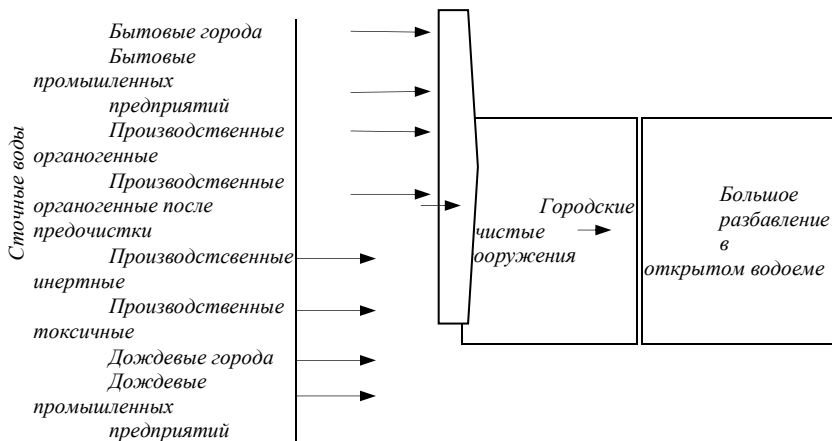


Рис. 3.5. Граф возможных вариантов водоотведения для общесплавной системы

В этом случае осуществляется неполная очистка смеси сточных вод. При наличии мощного водоема и многократном разбавлении сточных вод в целом санитарная обстановка может быть удовлетворительной, если концентрации лимитирующих загрязнений не превысят значений ПДК. Однако следует отметить, что достижение санитарного благополучия путем разбавления не всегда оправдано.

Большинство токсичных веществ, находясь в начальный момент времени в состоянии равномерного распределения по объему воды, через определенный промежуток времени в естественных условиях перераспределяется неравномерно, сорбируясь на твердой фазе в концентрациях на 3–5 порядков выше, чем при равномерном распределении.

Токсичные вещества в открытых водоемах сорбируются как на инертном материале, так и на живых объектах – песках, глинистых частицах, разнообразных гидробионтах, являющихся кормом для обитающих в этих водоемах рыб.

К недостаткам общесплавной системы следует отнести сложнейшие проблемы утилизации осадков, так как их образование связано с присутствием в смеси сточных вод загрязнений различного происхождения, например затрудняющих использование осадка в качестве удобрения.

Нетехнологичность общесплавной системы водоотведения состоит еще и в том, что на каждом объекте смесь сточных вод будет разной по составу и свойствам, поэтому эффект действия очистных сооружений будет различным.

Технологически также невозможно обосновать предусмотренный общесплавной системой сброс в водоем во время сильных ливней разбавленных дождевой водой неочищенных бытовых и производственных стоков.

Частота работы ливнеспусков может изменяться от 1 до 80 раз в году, в зависимости от принятых условий работы системы водоотведения, что создает в водоеме нестабильные условия.

На рис. 3.6 показан граф возможных вариантов водоотведения и рационального использования очищенных сточных вод при полной раздельной системе.

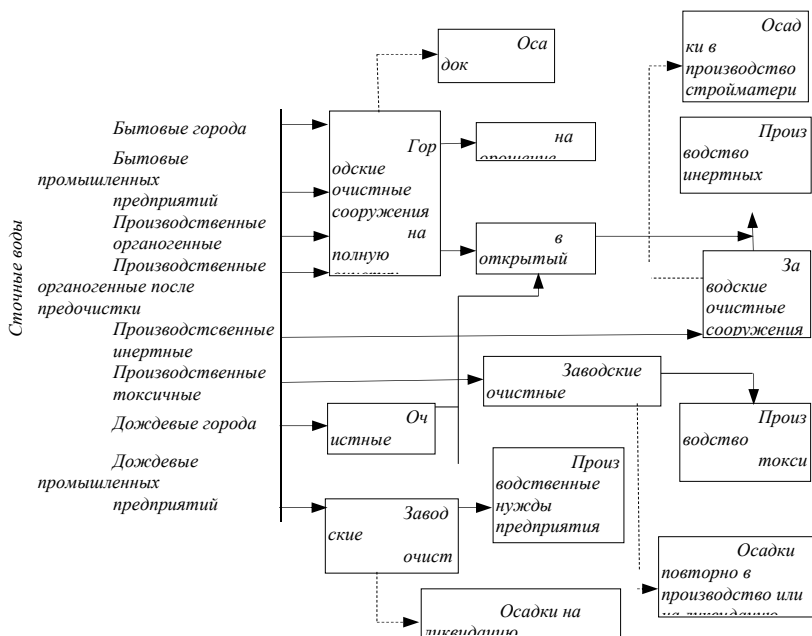


Рис. 3.6. Граф возможных вариантов водоотведения и рационального использования очищенных сточных вод при полной раздельной системе

Из этого рисунка видно, что данная совершенная система водоотведения обеспечивает рациональное использование как воды, так и осадков и надежно защищает окружающую среду от загрязнения.

Для улучшения санитарного состояния водоема, который является приемником всех очищенных сточных вод, следует предусматривать очистные сооружения для дождевых сточных вод города и промпредприятий отдельно на локальных очистных сооружениях или совместно с бытовыми стоками города на городских очистных сооружениях.

Поскольку дождевые стоки образуются периодически и более чем на порядок превышают по расходу бытовые сточные воды, в целях экономии средств предусматривают лишь очистку наиболее загрязненных масс воды, приближающихся по составу загрязнений к бытовым стокам, что реализуется с помощью специальных разделительных камер-ливнесбросов.

В этом случае полная раздельная система превращается в полураздельную. С технологической точки зрения она наиболее совершенна, так как все виды сточных вод подвергаются очистке, в водоем без обработки сбрасываются лишь низкоконцентрированные дождевые воды во время значительных ливней.

По технологическим признакам комбинированные системы занимают промежуточное положение между общесплавной и полной раздельной системами.

Неполная раздельная система по экологическим требованиям идентична полной раздельной системе, при которой обычно не предусматривают очистку дождевых вод города.

При повышении степени благоустройства города неполная раздельная система трансформируется в полную раздельную, при которой качество дождевых вод несколько улучшается за счет уменьшения в стоках частиц почвы вследствие увеличения площадей асфальтовых покрытий и зеленых насаждений.

Выбор системы водоотведения определяется конечной технологической целью и основными требованиями охраны водных ресурсов от загрязнения и их рационального использования.

Технологически оптимальный вариант системы водоотведения можно обосновать, учитывая показатели желательности и степень совершенства технологии.

К показателям желательности относят:

- безопасность;
- санитарный эффект;
- надежность;
- малую энергоемкость;
- возможность возврата воды в производство или по - другому назначению;
- возможность эффективной утилизации отходов;
- степень благоустройства обслуживаемого объекта.

В настоящее время при разработке прогрессивных экологически эффективных систем водоотведения следует учитывать большой объем научно-технической информации. Отдельные факторы, разносторонне характеризующие систему, должны обеспечивать комплексность оценки, поэтому приходится одновременно рассматривать множество факторов.

Следует отдавать предпочтение системам с минимальной энергоемкостью на единицу отводимых и очищенных до требуемого качества

СТОКОВ.

8.6. Охрана поверхностных и подземных вод от загрязнения сточными водами

В проблеме охраны воды от загрязнения есть взаимосвязанные основные составляющие – экологическая и экономическая.

В связи с дефицитом пресной воды возникла задача эффективного использования ее во всех отраслях народного хозяйства. Поэтому особо важное значение приобретает высокоэффективное повторно-оборотное использование воды в промышленности и применение в целях мелиорации сточных вод бытового и производственного происхождения.

В промышленности пресная вода применяется в качестве технологических растворов, теплоносителя, для переноса твердых масс промысловых процессов. В последнем случае вода, являясь универсальным экстрагентом, обладает высокой грязеемкостью, что и позволяет эффективно ее использовать. Пресная вода высшего качества – питьевая вода – широко используется в санитарно-бытовых и хозяйственных целях, обеспечивая высокую степень благоустройства жилищ населения городов и сельских мест. Поэтому пресная вода наших открытых водоемов и земных недр является ценным природным сырьем, национальным богатством нашей страны.

В настоящее время имеется явная необходимость в разработке новых высокоэффективных ресурсосберегающих водных технологий, но отсутствует экономическая методика стимулирующая, к развитию повторно-оборотных технологий. Недостаток методик заключается в том, что цена на воду слишком была занижена.

Между относительной стоимостью воды и коэффициентом ее качества имеется зависимость: чем больше степень загрязнения воды, тем ниже ее стоимость (остаточная) и тем выше стоимость затрат на очистку.

Водный кодекс Республики Беларусь регламентирует требования к степени очистки сточных вод, спускаемых в водоемы, для того чтобы предупредить и устранить загрязнения сточными водами рек, ручьев, водохранилищ, озер и прудов и искусственных каналов.

В Водный кодекс включены общие требования к составу и свойствам воды водоемов в зависимости от видов водопользования.

К первому виду водопользования относятся водоемы, предназначенные для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-

питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий. Ко второму виду – водоемы, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных мест.

Отнесение водоемов к одному из указанных видов водопользования производится органами Государственной санитарной инспекции с учетом конкретных местных условий.

К водоемам, используемым в рыбохозяйственных целях, предъявляются еще более высокие требования, чем к водоемам бытового пользования. Основные требования к составу и свойствам воды водоемов

рыбохозяйственного назначения также дифференцируются в зависимости от двух видов водопользования. К первому виду относятся водоемы, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду, а ко второму виду – водоемы, используемые для всех других рыбохозяйственных целей.

При спуске очищенных сточных вод в водоем или водоток состав и свойства воды должны соответствовать нормативам в створе, расположенном в проточных водоемах в 1 км выше по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, место купания, организованного отдыха, территории населенного пункта и т. п.); в непроточных водоемах и водохранилищах – в 1 км в обе стороны от пункта водопользования (ст. 28 Водного кодекса). При расчете необходимой степени очистки сточных вод до выпуска их в водоем нужно учитывать окончание процесса его самоочищения и восстановления чистоты воды до нормативных показателей на протяжении водоема от места выпуска сточных вод до створа, отстоящего от пункта водопользования на 1 км, а не в створе самого пункта.

Запрещается спускать в непроточные водоемы – озера, пруды и водохранилища – сточные воды, содержащие стабильные вещества, которые не подвергаются биохимическому, химическому и физическому процессам самоочищения, а также радиоактивные вещества.

9. ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ

9.1. Водоотводящая сеть населенных пунктов

9.1.1. Особенности движения сточных вод в водоотводящей сети

Транспортируемая из зданий сточная жидкость обладает определенной потенциальной энергией. Поэтому возможно ее самотечное транспортирование. И лишь в конце водоотводящих сетей возникает необходимость в перекачке сточных вод. В ряде случаев при больших уклонах поверхности земли вообще не требуется перекачка сточных вод.

Для проектирования водоотводящих сетей принимается безнапорный режим движения жидкости с частичным наполнением труб

(0,5 – 0,8). На рис. 4.1 показаны элементы потока при самотечном режиме. Следует иметь в виду, что в сетях, предназначенных для транспортировки дождевых вод (кроме бытовых и производственно-бытовых), расчетные расходы сточных вод наблюдаются лишь 1 раз в течение 0,25 – 10 лет. Следовательно, водоотводящие сети работают в безнапорном режиме при частичном наполнении. Этот режим обладает рядом преимуществ перед напорным режимом. В бытовых и производственно-бытовых сетях обеспечивается некоторый резерв в живом сечении трубопровода. Через свободную от воды верхнюю часть сечения трубы осуществляется вентиляция разветвленной водоотводящей сети. При этом из трубопроводов непрерывно удаляются образующиеся в воде газы, которые вызывают коррозию трубопроводов и сооружений на них, осложняют эксплуатацию водоотводящих сетей и т. п. В безнапорном режиме движения жидкости лучше транспортируются с водой нерастворенные примеси, также происходит самоочищение трубопроводов от отложений. Приток сточных вод осуществляется неравномерно. Часовой максимальный расход бытовых вод превышает минимальный расход в 3–5 раз. В случае безнапорного режима снижение скорости движения при уменьшении расхода происходит в значительно меньшей степени, так как одновременно происходит уменьшение наполнения и живого сечения трубы. Таким образом, даже при расходах меньше расчетных максимальные скорости движения сточных вод те же и в трубах не происходит накопления осадка в больших объемах.

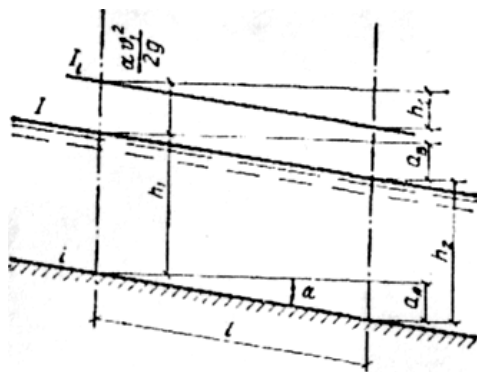


Рис. 4.1. Схема безнапорного режима движения потока

На водоотводящих сетях создаются сооружения различного назначения: смотровые колодцы и камеры, перепадные колодцы и др. В пределах этих сооружений замкнутые трубопроводы переходят в открытые лотки. Поворот трубопроводов в плане и их соединения обычно выполняются с помощью криволинейных открытых лотков, располагаемых в колодцах и камерах. Вследствие различий в форме сечений труб и лотков в колодцах возникают местные сопротивления и поверхность воды приобретает форму кривых подпора перед местными сопротивлениями и форму кривых спада после местных сопротивлений. Таким образом, даже на участках с постоянным расходом глубина потока в трубопроводах может изменяться, т. е. наблюдается неравномерное движение.

Как отмечалось выше, в сточных водах содержатся нерастворенные примеси органического и минерального происхождения. Первые имеют небольшую плотность и хорошо транспортируются потоком воды. Вторые (песок, бой стекла, шлаки и др.) имеют значительную плотность и транспортируются лишь при определенных скоростях турбулентного режима движения жидкости. Поэтому важнейшим условием проектирования водоотводящих сетей является обеспечение в трубопроводах при расчетных расходах необходимых скоростей движения жидкости, исключающих образование плотных несмываемых отложений.

9.1.2. Формы поперечных сечений труб

и их гидравлическая характеристика

В практике строительства водоотводящих сетей наиболее широко используются трубы круглого сечения, которые в большей степени удовлетворяют гидравлическим, технологическим, строительным и другим требованиям. На рис. 4.2 показаны различные формы поперечных сечений водоотводящих труб, коллекторов и каналов, подразделяющихся на круглые, сжатые и вытянутые.

Круглый трубопровод (рис. 4.2, *а*) имеет гидравлически наиболее выгодную форму, обладает большей пропускной способностью и удовлетворяет требованиям индустриализации строительства. Круглая форма сечения предпочтительна для осуществления прочисток от выпадающего осадка.

Сжатые формы сечений (рис. 4.2, *б, и, к*) обеспечивают меньшее заглубление трубопроводов и применяются при незначительных колебаниях расходов сточных вод.

Коллекторы, имеющие вытянутые формы сечения (рис. 4.2, *в, д, е*), целесообразно применять при больших колебаниях расходов, так как практически при любом наполнении обеспечивается оптимальное соотношение глубины и ширины водного потока.

Для отвода сточных вод со значительными колебаниями расходов применяются коллекторы, имеющие банкетное сечение (рис. 4.2, *з*).

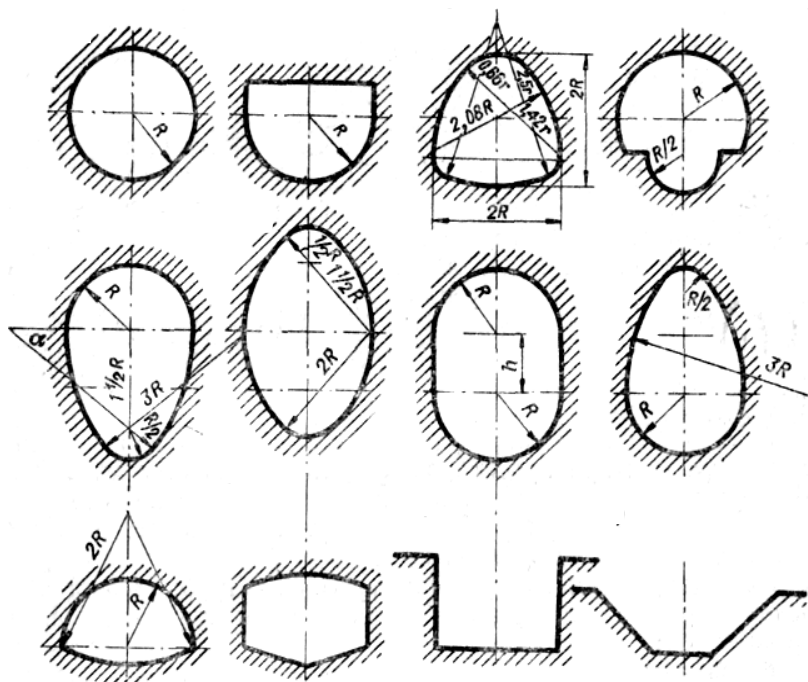


Рис. 4.2. Формы поперечного сечения водоотводящих труб, коллекторов и каналов:
а – круглое; *б* – полукруглое; *в* – шатровое; *г* – банкетное; *д* – яйцевидное (овоидальное); *е* – эллиптическое; *ж* – полукруглое с прямыми вставками;
з – яйцевидное перевернутое; *и* – лотковое; *к* – пятиугольное; *л* – прямоугольное;
м – трапецидальное

При индустриализации строительства наибольшее преимущество имеют те трубы, которые можно выполнить с наименьшим числом элементов по периметру коллектора.

За пределами городов и населенных пунктов возможно применение незамкнутых сечений (без перекрытий) каналов трапецидальных и прямоугольных форм (рис. 4.2, *л*, *м*). Они применяются для транспортирования сточных вод в пределах очистных станций – от сооружения к сооружению.

Соотношения их геометрических размеров часто диктуются планировочными и технологическими требованиями. При этом следует иметь в виду, что строительство трубопроводов, имеющих гидравлически наиболее выгодные сечения, более экономично.

Трапецеидальное сечение является гидравлически наиболее выгодным при соотношении $b/h = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$, где $m = \operatorname{ctg} \alpha$, а прямоугольное – при $b/h = 2$.

Гидравлическая характеристика поперечных сечений коллекторов определяется наибольшей пропускной способностью их при заданном уклоне и площади живого сечения потока.

При одной и той же величине гидравлического радиуса R скорости течения жидкости водоотводящей сети круглого сечения при полном и половинном наполнении считают равными; они достигают максимума при наполнении $h = 0,813d$. Пропускная способность труб (расход) достигает максимума при наполнении труб $h = 0,95d$, а затем уменьшается. Расход воды при наполнении трубы полным сечением будет в 2 раза больше, чем при половине.

На рис. 4.3 приведены кривые изменения скоростей v и расходов q в трубах круглого сечения в зависимости от степени наполнения. По оси ординат отложены степени наполнения h , а по оси абсцисс – соответствующие этим наполнениям скорости v и расходы q , выраженные в долях от скорости и расхода при полном наполнении. Наполнение $h < 0,5d$ не принимается, так как при этом существенно уменьшается скорость потока и расход воды.

Для городских водоотводящих сетей в зависимости от диаметра трубопровода рекомендуется принимать высоту слоя воды в трубе $h = 0,5d - 0,8d$. Для водостоков высоту слоя воды в трубе рекомендуется принимать $h = 0,95d - 1,0d$.

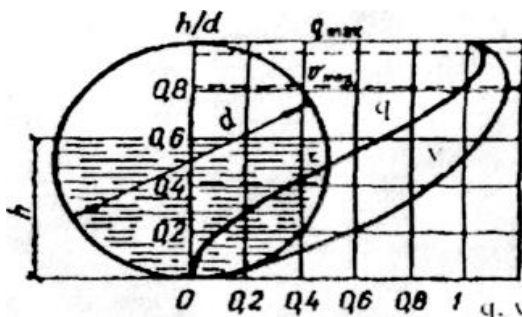


Рис. 4.3. Зависимость q и v от степени наполнения трубопровода h/d

Окончательный выбор сечения коллекторов производится на основании технико-экономического сравнения вариантов на стадии

выполнения технического проекта.

9.1.3. Схемы водоотведения городов и малых населенных пунктов

Схемой водоотводящей сети называют проектное решение принятой системы водоотведения, изображенной на генплане объекта водоотведения с учетом местных топографических и гидрогеологических условий и перспектив дальнейшего развития. Начертание схемы водоотведения на генплане в основном зависит от рельефа местности, так как наиболее технологично транспортирование сточных вод осуществлять по трубопроводам в самотечном режиме, при котором энергетические затраты минимальны. Главные водоотводящие коллекторы направляются за пределы города ниже по течению проточного водоема на расстояние, предусмотренное правилами санитарной зоны разрыва. В зависимости от основных факторов схемы водоотводящих сетей могут подразделяться на несколько видов: централизованные, децентрализованные и районные (региональные).

При *централизованной* (наиболее распространенной) схеме сточные воды всех бассейнов водоотведения поступают по коллекторам на единственную для всего населенного пункта очистную станцию, расположенную, как правило, ниже его по течению реки.

Децентрализованные схемы, представляющие собой несколько отдельных схем с самостоятельными очистными сооружениями, применяются в крупных городах в условиях как сильно пересеченного, так и очень плоского рельефа местности.

Районные (региональные) схемы применяются для нескольких близко расположенных населенных пунктов и предприятий в промышленных и густонаселенных районах страны. В этих схемах предусматривается одна очистная станция большой мощности вместо множества маломощных очистных сооружений, обслуживающих отдельные объекты. Такое решение дает возможность снизить капитальные и эксплуатационные затраты на очистку сточных вод, надежно защитить открытые водоемы от загрязнений в пределах густонаселенной части района и рационально использовать его водные ресурсы.

Схема водоотведения – это изображение на плане населенного места или промышленной площадки запроектированных для них

водоочистных сооружений (сетей, насосных и очистных станций).
 Схема водоотведения города, населенного пункта или промышленного предприятия зависит в основном от рельефа местности, грунтовых условий, места расположения очистных сооружений, принятого количества сетей (рис. 4.4).

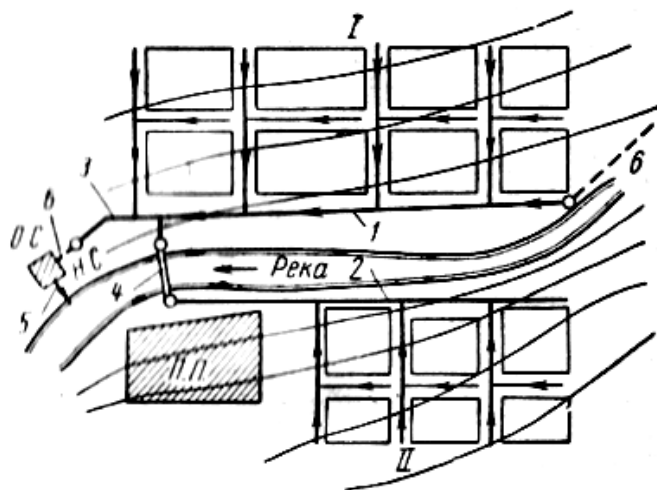


Рис. 4.4. Общая схема водоотведения населенного места:
 I, II – бассейны водоотведения; 1, 2 – главные коллекторы; 3 – отводящий главный загородный коллектор; 4 – дюкер; 5 – выпуск очищенных вод;
 6 – напорный трубопровод; НС – насосная станция; ОС – очистные сооружения; ПП – промышленное предприятие

На схему промышленного предприятия влияют, кроме того, расположение цехов, насыщенность территории подземным хозяйством и внутризаводским транспортом. Обычно применяются следующие схемы водоотведения:

1) *перпендикулярная* (рис. 4.5, а), при которой коллекторы отдельных бассейнов водоотведения, если нет обратных уклонов, трассируются по наикратчайшему направлению перпендикулярно водоему. Такая схема может применяться при отводе чистых вод. При необходимости очистки отводимых вод схему легко можно переделать на пересеченную;

2) *пересеченная* (рис. 4.5, б), которая имеет широкое

распространение в случае, если территория водоотводящего объекта понижается в сторону водоема. Кроме того, она удобна при реконструкции старых систем водоотведения, выполненных по перпендикулярной схеме и сбрасывающих сточные воды в водоем без очистки. При этой схеме коллекторы бассейнов водоотведения, идущие к водоему, перехватываются главным коллектором, идущим к очистным сооружениям;

3) *веерная*, или параллельная (рис. 4.5, в), при которой коллекторы бассейнов водоотведения направлены под углом или параллельно друг другу и по отношению к водоему и перехватываются главным коллектором, отводящим сточные воды на очистные сооружения. Эта схема может быть применена при очень крутых склонах к реке в целях уменьшения уклонов труб, а следовательно, и скорости движения воды в коллекторах;

4) *радиальная* (рис. 4.5, г), которая может быть применена при отводе сточных вод отдельных районов самостоятельными системами и при разбросанных площадках очистных сооружений.

Коллекторы бассейнов водоотведения имеют радиальное направление от центра населенного пункта к его периферии, каждый район города имеет независимую сеть с самостоятельным главным и отводным коллекторами и с отдельными очистными сооружениями. Эта схема удобна тем, что при расширении застройки площади города не требуется перестройки действующих коллекторов;

5) *зонная*, или поясная (рис. 4.5, д), применяемая при расположении объекта на территории с террасами или с холмистым рельефом. По этой схеме город разбивают на зоны (пояса) с самостоятельными сетями, и сточные воды нижней зоны перекачиваются в главный или отводной коллектор верхней зоны, идущий на очистные сооружения. От отдельных объектов сточные воды отводятся самотеком.

Разработку схемы водоотводящих сетей начинают с изучения топографических и гидрогеологических материалов объекта обслуживания, определения бассейнов водоотведения, места расположения очистных сооружений и насосных станций. При решении

совместного водоотведения города или поселка и промышленного предприятия нужно учитывать: взаимное расположение города или поселка и промышленного предприятия; рельеф местности; возможность и целесообразность совместной очистки сточных вод города или поселка и промышленного предприятия. Основным принципом заключается в

максимальном использовании падения рельефа местности, и направление коллекторов по ходу движения воды должно совпадать с уклоном поверхности земли. Поэтому главные коллекторы бассейнов водоотведения обычно проходят по тальвегам или по берегам рек.

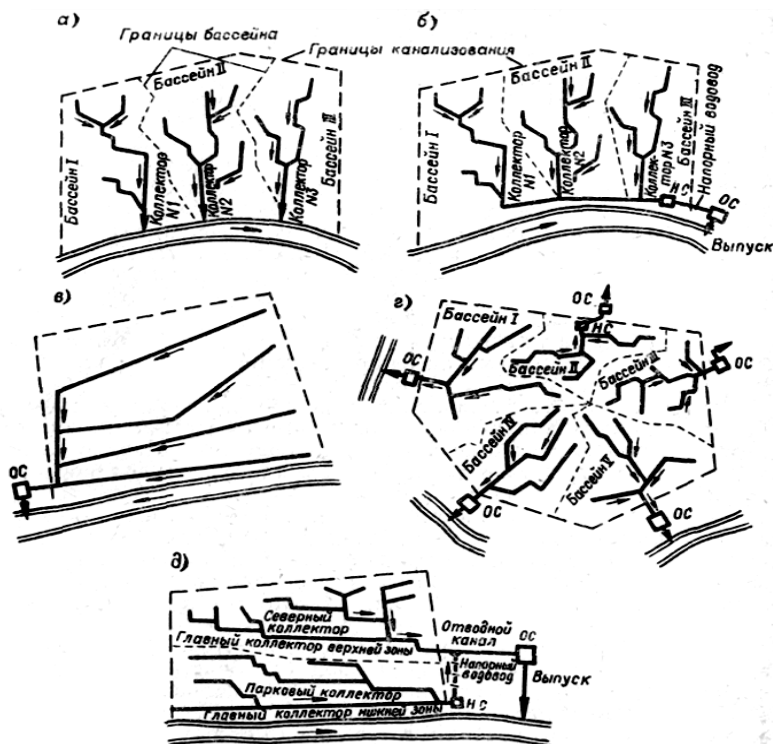


Рис. 4.5. Схемы водоотводящей сети:

а – перпендикулярная; б – пересеченная; в – параллельная; г – децентрализованная радиальная; д – зонная; ОС – очистные сооружения; НС – насосная станция

Очистные сооружения, как правило, располагаются внизу по течению реки относительно обслуживаемого объекта, и направление главного коллектора совпадает с направлением течения воды в реке. Ориентировочное место расположения насосной станции перекачки намечается в пониженных местах или конечной части коллекторов.

Заключительный этап — трассировка уличных трубопроводов, обеспечивающих отведение воды от каждого квартала застройки.

9.1.4. Схемы трассировки уличной сети

Основной принцип трассировки уличной сети диктуется необходимостью обеспечения минимального объема земляных работ, что достигается укладкой труб на наименьшей возможной глубине с максимальным использованием рельефа местности. Трассировка уличных трубопроводов возможна по трем схемам: объемлющая, с пониженной стороны квартала и черезквартальная.

Объемлющая схема (рис. 4.6, а) принимается при ровном (плоском) рельефе местности, больших кварталах и отсутствии застройки внутри них. Водоотводящая сеть трассируется по проездам и опоясывает квартал со всех сторон.

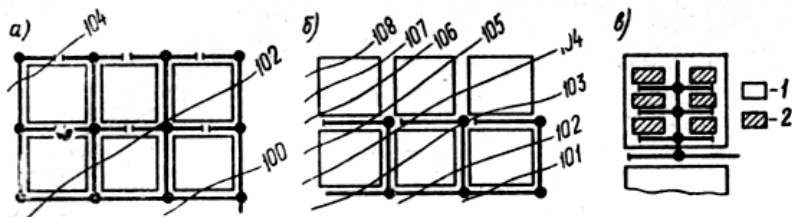


Рис. 4.6. Схемы трассировки уличных трубопроводов:
а – объемлющая; б – с пониженной стороны квартала; в – черезквартальная;
1 – кварталы; 2 – дома

Схема водоотводящей сети с пониженной стороны квартала (по пониженной грани) (рис. 4.6, б) выполняется в местности с явно выраженным уклоном в определенном направлении. В этом случае сеть трассируется с одной или с двух сторон квартала.

Черезквартальная схема (рис. 4.6, в) применяется при благоприятной внутриквартальной планировке и выраженном уклоне рельефа местности в сторону следующего квартала.

Черезквартальная схема трассировки водоотводящей сети по сравнению с другими схемами более экономична (дает значительную экономию труб). Для сокращения протяженности внутриквартальной водоотводящей сети, и особенно количества смотровых колодцев, возможна прокладка внутренних водоотводящих сетей в техническом подполье зданий с устройством одного или двух выпусков в торцах.

Та или иная схема выбирается на основании технико-экономического сравнения вариантов трассировки. На основании таких расчетов можно сделать вывод о том, что трассирование по пониженной грани целесообразно при уклоне местности более 0,008.

В особых случаях для бесперебойной работы водоотводящей сети и улучшения условий ее эксплуатации допускается кольцевание уличной сети (устройство перепусков). Диаметр кольцующего трубопровода (перепуска) будет равен наименьшему диаметру из всех диаметров кольцуемых коллекторов. Кольцующий трубопровод следует укладывать горизонтально в проездах или в кварталах без явно выраженного уклона.

При трассировке водоотводящей сети следует избегать или сводить к минимуму число пересечений с другими подземными коммуникациями, водными потоками, железнодорожными путями и др.

9.1.5. Основные элементы внутренней водоотводящей сети

В зависимости от категории сточной жидкости внутреннюю водоотводящую сеть подразделяют на следующие виды:

а) бытовую, служащую для отведения бытовых сточных вод (от раковин, моек);

б) производственную, служащую для отведения из различных цехов производственных сточных вод;

в) дождевую (внутренние водостоки), служащую для отведения дождевых вод с поверхности крыш промышленных, общественных и жилых зданий.

На рис. 4.7 показана схема бытовой внутридомовой водоотводящей сети, которая состоит:

1) из приемников сточных вод (унитазов, писсуаров, раковин, умывальников, моек, трапов, ванн и пр.);

2) магистральных отводных линий, к которым присоединяются стояки;

3) стояков с ревизиями, служащими для их прочистки;

4) выпусков в наружную водоотводящую сеть.

Все *приемники сточных вод*, присоединяемые к внутренней сети водоотведения, должны иметь гидравлические затворы, служащие для предотвращения проникновения загрязненного воздуха из водоотводящей сети внутрь помещений. Для исключения попадания газов в помещения под санитарными приборами устанавливаются сифоны (гидравлические затворы). Они обычно представляют собой петлеобразные трубки, в которых постоянно задерживается водяная пробка

высотой

8–10 см. Иногда сифоны являются составной частью санитарных приборов.

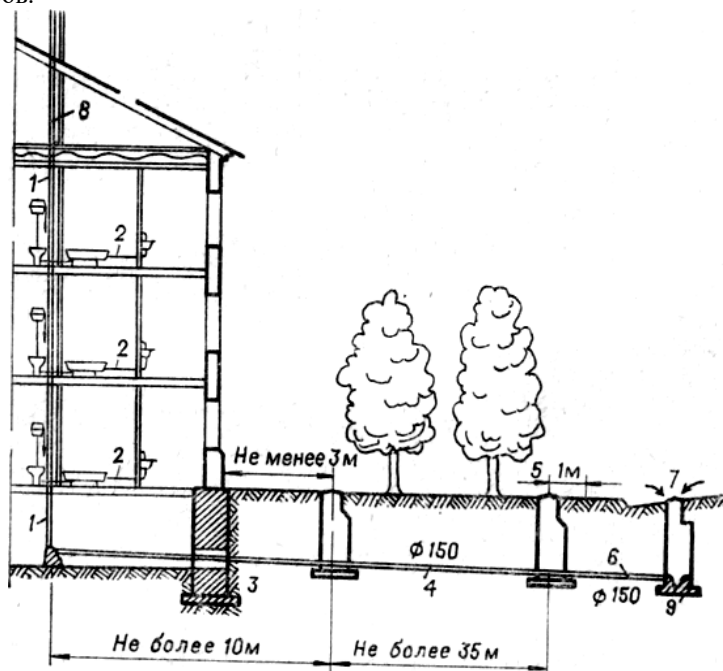


Рис. 4.7. Схема внутренней водоотводящей сети:

- 1 – водоотводящий стояк с приемниками сточных вод; 2 – отводные трубы;
- 3 – выпуск; 4 – дворовая сеть; 5 – контрольный колодезь; 6 – соединительная ветка; 7 – колодезь на городском коллекторе; 8 – вытяжная труба;
- 9 – городской коллектор

В производственных помещениях приемниками сточных вод служат специальные воронки, трапы, лотки и т. д., располагаемые у производственных аппаратов и машин.

Трубопроводы *отводных линий* прокладываются с уклоном к стоякам для обеспечения самотечного отвода воды.

Отводные трубопроводы прокладывают по стенам выше пола, иногда в нежилых или общественных помещениях под потолком. Их устраивают в коробах.

В последнее время при изготовлении деталей в заводских условиях отводные линии трубопроводов устраивают в нишах стен, бороздах,

монтажных шахтах. В первых этажах зданий при отсутствии подвалов отводные трубопроводы прокладывают в специальных каналах. Отводные трубопроводы присоединяют к стояку с помощью крестовин, тройников. Отводные трубопроводы – чугунные, пластмассовые и металлические трубы.

Для проверки и прочистки труб на сети устанавливаются специальные детали – ревизии и прочистки. Каждое здание имеет по несколько стояков, которые обслуживают санитарные приборы, группирующиеся на каждом этаже здания.

Водоотводные стояки размещают вблизи приемников сточных вод (в туалетах, кухнях). Приемники сточных вод присоединяют к трубам с установкой между ними гидравлических затворов (сифонов). В целях уменьшения числа стояков приемники сточных вод размещают по этажам здания друг над другом.

По всей высоте водоотводящий стояк должен иметь диаметр не меньше наибольшего диаметра выпуска из числа присоединенных к нему приемников сточных вод. Ревизии на стояке устанавливают на 1 м выше места присоединения отводной линии верхнего этажа и далее через два этажа на третьем, на первом над отступом и в подвале. Стояки оканчиваются вытяжной вентиляционной трубой с дефлектором. Вытяжная часть стояка без флюгарки должна возвышаться на 0,3 м выше плоской и 0,5 м – скатной неэксплуатируемой кровли и не менее чем на 3 м выше плоской эксплуатируемой кровли.

Водоотводящие стояки могут быть невентилируемыми (в зданиях, имеющих не более трех этажей). Стояки устраивают открыто у стен, перегородок и скрытно в монтажных шахтах, блоках.

Выпуски, отводящие сточные воды от стояков за пределы зданий, во внутриквартирную сеть укладывают с обеспечением плавных соединений к стоякам и определяют с учетом:

а) границы промерзания грунта (низ трубы может быть расположен выше границы промерзания на 0,3 м);

б) наличия приемников сточных вод, расположенных в подвальных помещениях (самотеком);

в) предохранения труб от механических повреждений ($h_{\text{залога}} = 1,0$ м в местах проезда наземного транспорта).

Наибольшая длина трубы выпуска ($t_{\text{г. в}}$) от стояка или прочистки до оси смотрового колодца принимается в зависимости диаметра:

$d_{\text{г. в}}$	50 мм	100 мм	150 мм
$t_{\text{г. в}}$, не более	6 м	7,5 м	10 м

Наименьшая длина трубы выпуска от наружной стены до смотрового колодца зависит от вида грунтов: для твердых грунтов – 3 м, макропористых просадочных – 5 м.

В здании с неэксплуатируемым подвалом или техническим подпольем высотой $h \leq 1,6$ м может устраиваться один торцевой водоотводящий выпуск для всех стояков, диаметр которого определяется гидравлическим расчетом. В грунтах со значительной просадочностью трубы выпуска укладывают в стальных (чугунных) футлярах до смотрового колодца. На отводных линиях, от приемников сточных вод, размещаемых в подвалах, ниже отметки люка ближайшего смотрового колодца обязательно устанавливают задвижки для предотвращения излива сточной жидкости при засорах.

Санитарные приборы котельных и тепловых пунктов (унитаз, раковина), установленных в подвалах, допускается присоединять к внутриквартальной сети самостоятельным выпуском без устройства стояка, но с обязательной установкой задвижки.

Для отвода производственных сточных вод из здания также создается внутренняя водоотводящая сеть трубопроводов. Для отвода сравнительно больших расходов устраивают сеть подпольных лотков (на первом этаже).

На рис. 4.8 показаны схемы внутренней водосточной сети (внутренних водостоков), предназначенной для приема и отвода дождевых вод. Крыши зданий выполняются с учетом необходимости сбора и отвода воды к местам приемки ее в водосточную сеть. Если крыши имеют сложную конфигурацию (рис. 4.8, а) или они плоские (рис. 4.8, б), то сеть трубопроводов выполняется внутри зданий.

Вода во внутреннюю сеть принимается через водосточные воронки, устанавливаемые на крышах. Отвод воды из зданий может производиться либо непосредственно во внутриквартальную водоотводящую сеть, либо на поверхность земли. В последнем случае вода с крыш вместе с дождевой водой с неустроенной части квартала должна стекать в лотки проездов, а затем в специальные дождеприемники, связанные с внутриквартальной водоотводящей сетью. При высоких зданиях и скатных крышах дождевая вода с крыш отводится водосточными трубами, а затем лотками проездов в дождеприемники (рис. 4.8, в).

В зависимости от расположения на территории населенного места или промышленного предприятия водоотводящая сеть называется дворовой, внутриквартальной, заводской или уличной.

Дворовая сеть располагается в пределах одного двора и обслуживает одно или несколько зданий, состоит из выпусков из зданий, приемных и смотровых колодцев и системы подземных труб (150–200 мм).

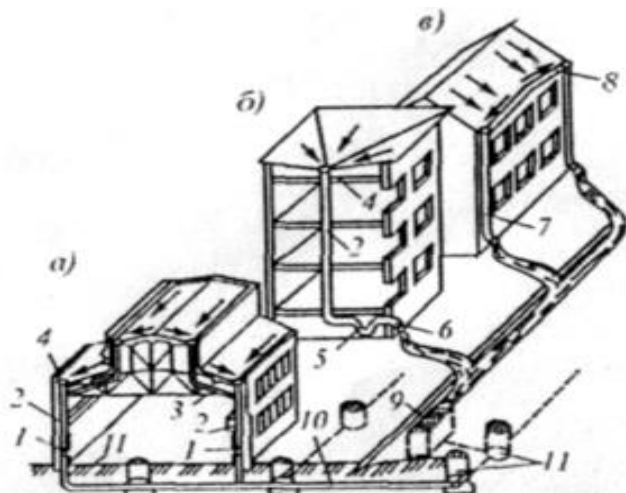


Рис. 4.8. Схемы внутренних водостоков: *а* – промышленного здания; *б* – жилого дома с плоской крышей; *в* – то же, со скатной крышей; 1 – устройства для прочистки; 2 – стояки; 3 – отводная труба; 4 – водосточные воронки; 5 – гидрозатвор; 6 – открытый выпуск; 7 – водосточная труба; 8 – желоб; 9 – дождеприемник; 10 – закрытый выпуск; 11 – смотровые колодцы

Смотровые колодцы служат для наблюдений за состоянием, промывкой и прочисткой сетей за время их эксплуатации. Последний колодец дворовой сети располагается на улице, за красной линией застройки перед присоединением ее к уличной сети и называется контрольным колодцем (КК). Он является границей между дворовой и уличной сетью. Дворовые сети водоотведения в наше время существуют лишь в районах старой застройки (рис. 4.9).

Внутриквартальной сетью называется сеть, укладываемая внутри квартала. Она объединяет выпуски от отдельных зданий.

Заводская сеть принимает воды из зданий и цехов промышленных предприятий.

Уличной сетью называют разветвленную систему водоотводящих

трубопроводов, принимающих сточные воды от дворовых и внутриквартальных сетей и предназначенных для транспортирования сточных вод в пределах населенного пункта.

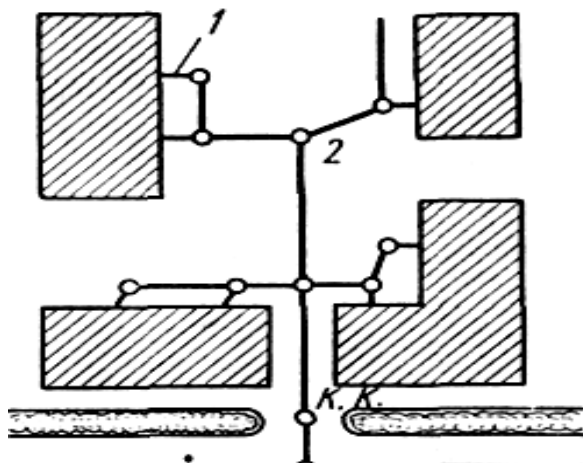


Рис. 4.9. Схема дворовой водоотводящей сети: 1 – выпуск из здания; 2 – смотровой колодец; К. К. – контрольный колодец

Максимальная допустимая глубина заложения коллекторов зависит от материала труб, гидрологических условий и способа производства работ. Коллекторы бассейнов трассируются по пониженной части бассейна, а главные водоотводящие коллекторы – по тальвегам и набережным рек и ручьев. При трассировке коллекторов следует учитывать возможность присоединения к ним квартальной и уличной водоотводящей сети. Для уменьшения глубины заложения коллекторов они трассируются так, чтобы не было длинных участков с малыми расходами и малыми диаметрами, которые способствуют заглублению сети.

Минимальная глубина заложения трубопроводов принимается исходя из трех условий:

- 1) исключение промерзания труб;
- 2) исключение механического разрушения труб под воздействием внешних нагрузок;
- 3) обеспечение самотечного присоединения к трубопроводам внутриквартальных сетей и боковых веток.

Температура сточных вод в зимнее время не снижается ниже 10 °С. Поэтому оказывается возможным прокладывать трубопроводы на глубине, меньше глубины промерзания грунта (рис. 4.10). Благодаря большой теплоемкости воды вокруг трубы образуется зона талого грунта, которая примыкает к нижней зоне непромерзающего грунта, поэтому трубопровод не промерзает и не разрушается.

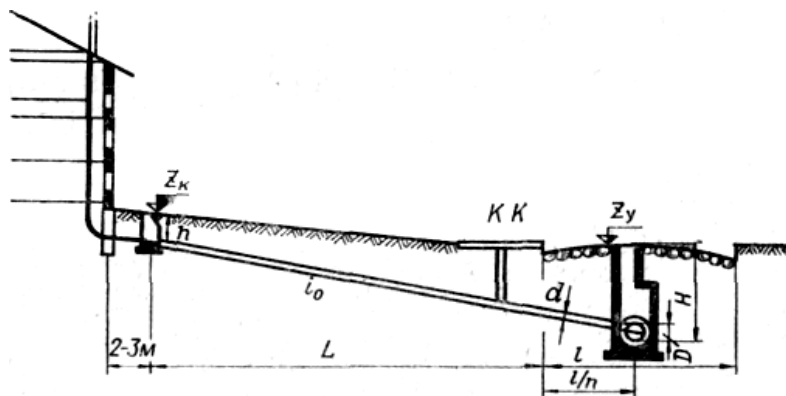


Рис. 4.10. Схема определения начальной глубины заложения уличной сети
 H – начальная глубина заложения уличной сети, м; h – начальная глубина заложения квартальной сети, м; L – длина внутриквартальной канализационной линии, м;
 b – ширина улицы; b/n – часть ширины улицы, по которой проходит внутриквартальная канализационная линия; z_k – отметка земли колодца у здания; z_y – отметка земли у колодца присоединения к уличной сети; i_o – уклон внутриквартальной линии (0,007-0,01);
 $D - d$ – разница отметок лотков уличной и внутриквартальной сети (соединения по шельге); КК – контрольный колодец

Минимальную глубину заложения трубопроводов принимают на основании опыта эксплуатации подземных коммуникаций в данной местности. При отсутствии данных по опыту эксплуатации минимальная глубина может приниматься по формуле

$$h'_{\min} = h_{\text{пр}} - a, \quad (4.1)$$

где $h_{\text{пр}}$ – глубина промерзания грунта, м.;

a – величина, зависящая от диаметра трубопровода, значение которой рекомендуется принимать равным: 0,3 м при диаметре до 500 мм и 0,5 м при большем диаметре.

В целях исключения механического разрушения трубопроводов от внешних нагрузок, возникающих в городских условиях, глубина заложения должна быть не менее 0,7 м до верха трубопровода. Следовательно, минимальная глубина трубопровода до лотка равна:

$$h''_{\min} = 0,7 + d, \quad (4.2)$$

где d – диаметр трубы, м.

Минимальная глубина заложения трубопровода в диктующей точке принимается из сравнения этих условий, при этом принимается большее значение.

Минимально допустимая глубина уличной сети в начальной точке $H_{\text{нач}}$ (м) определяется по формуле

$$H_{\text{нач}} = h_{\text{вып}} + i(L + l) + (Z_{\text{ул}} - Z_{\text{вып}}) + \Delta d, \quad (4.3)$$

где $h_{\text{вып}}$ – глубина заложения выпуска из самого удаленного здания квартала ($h_{\text{вып}} = h_{\min}$), м;

i – уклон внутриквартальной сети (обычно 0,008–0,01);

$L + l$ – суммарная длина внутриквартальной сети и соединительной ветки, м;

$Z_{\text{ул}}$ – отметка поверхности земли в начальной точке уличной сети, м;

$Z_{\text{вып}}$ – отметка поверхности земли у выпуска, м;

Δd – разница в диаметрах городской и внутриквартальной сети, м.

Максимальная глубина заложения трубопроводов при открытом способе производства работ диктуется гидрогеологическими, техническими и экономическими условиями.

Наибольшую глубину заложения труб при строительстве сетей открытым способом по практическим соображениям принимают: для сухих грунтов – не более 7–8 м, а для водонасыщенных – не более 5 м.

При технико-экономической целесообразности прокладка коллекторов больших диаметров (800 мм и более) может производиться и на больших глубинах тоннельным (щитовым) способом.

Прокладку водоотводящих линий бестраншейными способами следует применять при соответствующем технико-экономическом обосновании в следующих случаях: при самотечном отводе сточных вод из районов, расположенных за водоразделом основных районов водоотведения; при глубинах заложения более 7–8 м; при тяжелых гидрогеологических и геологических условиях для ведения работ в открытых траншеях; при насыщенности территории подземными,

надземными сооружениями и коммуникациями, при пересечении железнодорожных и других путей, а также в стесненных условиях для производства работ на поверхности.

9.1.6. Гидравлический расчет самотечных трубопроводов

Задачи по гидравлическому расчету водоотводящих труб возникают как при проектировании, так и при строительстве и эксплуатации водоотводящих сетей. Основными вариантами расчета водоотводящей сети при равномерном установившемся движении сточных вод являются следующие:

а) заданы диаметр, уклон и наполнение труб; требуется определить расход (пропускную способность) и скорость движения сточных вод;

б) заданы диаметр и наполнение труб, а также скорость движения сточных вод; требуется определить расход (пропускную способность) и уклон труб;

в) задан расход и требуется определить диаметр и уклон труб при скорости течения и наполнении, соответствующих требованиям ТКП 45-4.01-56–2012.

Последний вариант гидравлического расчета является наиболее распространенным в практике проектирования, но требует сопоставления стоимости труб и их прокладки, поскольку при уменьшении диаметров увеличивается объем земляных работ, так как для сохранения при этом пропускной способности надо увеличить скорость, следовательно, и уклон труб. Затем по заданному расходу устанавливаются наполнение и скорость движения сточных вод. Если при этом наполнение равно или близко к требуемому значению по ТКП 45-4.01-56–2012, то диаметр участка может считаться принятым. Если наполнение значительно отличается от максимально допускаемых значений, то диаметр при заниженном наполнении велик, а при завышенном наполнении мал. При завышенном наполнении труб можно или увеличить уклон, сохраняя диаметр, или увеличить диаметр, проведя технико-экономическое сравнение вариантов этого проектного решения. Одновременно производится проверка соответствия величин скоростей условиям незаиливаемости труб.

Необходимо иметь в виду, что увеличение уклона уменьшает наполнение труб при постоянном расходе, но увеличивает скорости, а уменьшение уклона увеличивает наполнение, но уменьшает скорости. Во всех случаях наполнение труб должно быть по возможности близким

к допускаемому значению по ТКП 45-4.01-56-2012, а принимаемые уклоны – обеспечивать минимально возможные заглубления труб, минимально возможное количество перекачек и незаиливающие скорости.

Бытовая водоотводящая сеть рассчитывается на неполное заполнение труб. Это делается для того, чтобы обеспечить транспортирование плавающих веществ, удаление из сети вредных и взрывоопасных газов, а также для получения некоторого запаса в сечении труб, рассчитанного на неравномерное поступление сточных вод. Отношение высоты слоя воды (h) к диаметру трубы (d) называют ее наполнением. Частичное наполнение, соответствующее пропуску расчетного расхода, называется расчетным. Наполнение труб при самотечном режиме их работы нормируется ТКП 45-4.01-56-2012.

Расчетное наполнение трубопроводов в зависимости от диаметров труб должно приниматься не более:

Диаметр труб, мм	Наполнение
150–250	0,6 диаметра труб
300–400	0,7 диаметра труб
450–500	0,75 диаметра труб
1000 и более	0,8 диаметра труб

Если наполнение труб диаметром 150–200 мм получается меньше расчетного, то участки таких трубопроводов не рассчитывают и скорость движения сточных вод в них не определяется.

Расчетное наполнение трубопроводов и каналов с поперечным сечением любой формы надлежит принимать не более 0,7 высоты, а каналов прямоугольного поперечного сечения – не более 0,75 высоты. Для трубопроводов дождевой сети и общесплавных коллекторов полураздельной системы водоотведения следует принимать полное расчетное наполнение.

Расчет водоотводящей сети выполняют исходя из средней скорости. Средняя скорость потока получается как частное от деления расхода (q) на площадь живого сечения (w). Под самоочищающей скоростью при максимальном расчетном расходе понимают такую минимальную среднюю скорость потока, при которой взвешенные частицы из потока не выпадают. При расчетах водоотводящей сети назначают такую скорость потока, которая при расчетном наполнении будет не меньше, чем минимальная самоочищающая. При расчетном наполнении труб

следует принимать следующие скорости движения потока (м/с) для труб диаметром:

Диаметр труб, мм	Скорость, м/с
150–200	0,7
300–400	0,8
450–500	0,9
600–800	1,0
900–1200	1,15
1300–1500	1,3
1500 и более	1,5

Для бытовых сточных вод с крупностью взвеси 1 мм минимально допустимая скорость течения, при которой трубы не заиливаются, может определяться по формуле, предложенной Н. Ф. Федоровым:

$$v_{\min} = A^n \sqrt{R}, \quad (4.4)$$

где $v_{\min}$ – незаиливающая скорость, м/с;

A – удельное сопротивление труб, $A = 1,42$;

$n = 0,35 + 0,5R$ – показатель степени корня;

R – гидравлический радиус, м.

Наименьшую расчетную скорость движения осветленных или биологически очищенных сточных вод в открытых лотках и самотечных трубопроводах допускается принимать равной 0,4 м/с.

Максимальная расчетная скорость движения сточных вод не должна быть опасной для механической прочности труб, по которым транспортируются вместе со сточными водами твердые вещества (галька, песок, обломки металла и т. д.). В соответствии с требованиями ТКП 45-4.01-56–2012 максимальная расчетная скорость движения сточных вод в металлических трубах должна быть не более 8 м/с, а в неметаллических – 4 м/с. Для дождевой сети – соответственно 10 и 7 м/с.

При расчетном наполнении для всех систем водоотведения в соответствии с ТКП 45-4.01-56–2012 рекомендуется принимать следующие наименьшие уклоны:

Диаметр труб, мм	Уклон
150	0,008
200	0,007

В зависимости от местных условий при неблагоприятном рельефе местности для отдельных коллекторов и участков уличной сети для труб диаметром 200 мм допускается уклон 0,005.

Наименьшие уклоны труб бытовой водоотводящей сети принимаются для труб диаметром: 150 мм – 0,008; 200 мм – 0,005; 250 мм и более – определяются гидравлическим расчетом в зависимости от допускаемых минимальных скоростей.

Уклоны менее 0,0005 не допускаются в связи с усилением засоряемости сетей и, следовательно, удорожанием эксплуатации их, а также в связи с трудностями выдерживания такого уклона при строительстве сетей.

Наименьшим уклоном называется уклон, обеспечивающий при расчетном заполнении незаиливающую скорость. Если наполнение труб диаметром 150 и 200 мм на отдельных участках, уложенных с нормативным уклоном, получается меньше расчетного, то такие участки считаются безрасчетными и скорости течения в них не определяются, а уклоны принимаются соответственно 0,008 и 0,005. Для ориентировочного назначения наименьшего уклона иногда используют формулу

$$i_{\min} = \frac{1}{d}. \quad (4.5)$$

Важнейшим этапом проектирования водоотводящей сети является гидравлический расчет на основании которого строится продольный профиль коллекторов. *Продольный профиль* представляет собой вертикальный разрез – разверстку верхнего слоя земли с запроектированным трубопроводом в направлении движения воды. Гидравлический расчет начинают с диктующих точек – начальных, низкорасположенных и наиболее удаленных точек схемы водоотведения. При построении продольного профиля от диктующих точек заглубление трубопровода получается наибольшим. Поэтому обеспечивается самотечное присоединение других более благоприятно расположенных всех боковых веток трубопроводов к проектируемому коллектору. Участок от диктующей точки до коллектора принято называть диктующей веткой. При построении продольного профиля трубопровода решается вопрос о соединении труб по высоте. В инженерной практике применяются два способа соединения труб в расчетной точке: «шелыга в шелыгу» и «по уровням воды». Опыт эксплуатации показывает, что для объектов водоотведения, имеющих

равнинный характер со слабо выраженным рельефом местности, предпочтительны соединения труб одинакового диаметра способом «по уровням воды», а разного диаметра – «шелыга в шелыгу».

9.1.7. Проектирование водоотводящих сетей

Проектирование водоотводящей сети обеспечивает разработку наиболее надежной и экономически эффективной системы водоотведения при соблюдении ряда важнейших оптимальных условий: скорости движения сточных вод на любом участке сети не должны быть меньше минимально допустимых для принятого диаметра труб; расчетное наполнение труб не должно превышать значений, рекомендуемых для соответствующих диаметров.

При проектировании водоотводящей сети важнейшим требованием является обеспечение минимума приведенных затрат. Основное влияние на величину приведенных затрат оказывают капитальные вложения. Поэтому при проектировании следует стремиться к минимальной стоимости строительства, в основном к минимальному объему земляных работ. Уменьшение объемов земляных работ связано с максимально возможным использованием рельефа местности.

Эти требования можно выполнить при укладке трубопроводов при различных условиях рельефа местности в следующих случаях: когда имеются наиболее благоприятные условия проектирования самотечной водоотводящей сети при сильно выраженном рельефе местности (уклон местности $i_m > 0,005$).

На рис. 4.11, *a*) изображена такая ситуация – уклон поверхности земли больше минимально допустимого уклона проектируемого трубопровода, а начальное заглубление его равно минимальному заглублению. В этом случае наиболее целесообразно проектировать трубопровод с уклоном, равным уклону поверхности земли. Расчет трубопровода выполняется методом подбора. Вначале задаются диаметром и затем проверяют, пропустит ли трубопровод при уклоне, равном уклону поверхности земли, расчетный расход при регламентируемом наполнении. Если пропускной способности недостаточно, то увеличивают диаметр, а если наполнение слишком незначительное, то диаметр уменьшают;

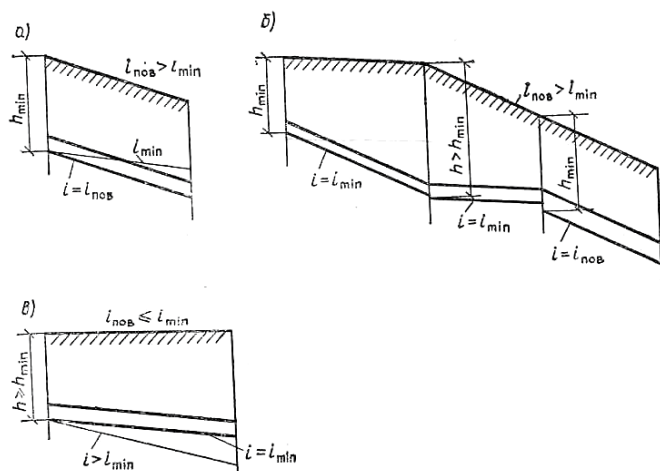


Рис. 4.11. Продольные профили расчетных участков при различных уклонах поверхности земли

б) когда рельеф более сложный и уклон поверхности земли изменяется с меньшего значения на большее. Этот случай представлен на рис. 4.11, б. Для сокращения объема земляных работ (выглубления сети) целесообразно в пределах участка с большим уклоном местности выйти на минимальную глубину. Это достигается на самом коротком участке, если уклон трубопровода равен минимальному уклону или уклону больше минимального, но меньше уклона местности, при этом в конце этого участка сеть выглубляется до $h = h_{\min}$;

в) когда уклон поверхности земли на расчетном участке меньше допустимого минимального уклона проектируемого трубопровода (рис. 4.11, в), что является наименее благоприятным. В этом случае целесообразно проектировать трубопровод с уклоном, равным минимальному уклону.

Расположение водоотводящих труб в поперечном сечении улиц города должно проектироваться с учетом наличия других подземных и надземных сооружений и коммуникаций и возможностей производства работ современными способами и рациональными механизмами.

Для реконструируемых систем следует предусматривать максимальное использование существующих трубопроводов.

При ширине проездов более 30 м целесообразно строить два

трубопровода по краям проездов. При этом обеспечивается сокращение протяженности соединительных веток от внутриквартальных сетей (рис. 4.12).

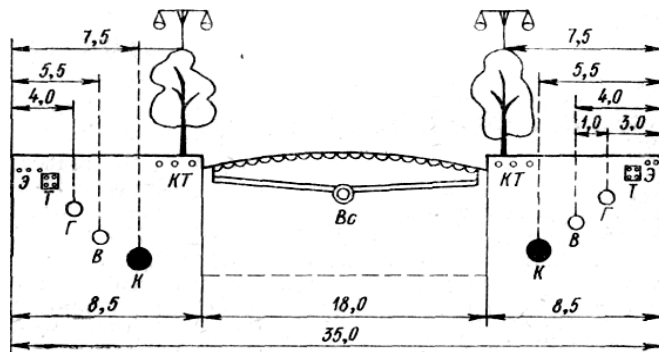


Рис. 4.12. Вариант размещения подземных сетей с двух сторон улицы:
К – канализация; *В* – водопровод; *Г* – газопровод низкого давления;
Т – телефонный кабель; *Э* – электрокабель; *КТ* – кабель троллейбуса;
Вс – водосток

Трассировку сети не рекомендуется производить в пределах проезжей части, в зонах зеленых насаждений.

При параллельной прокладке самотечных трубопроводов на одном уровне с водопроводами расстояние между стенками труб должно быть не менее 1,5 м при водопроводах диаметром до 200 мм и не менее 3 м при водопроводах большего диаметра.

При прокладке самотечных трубопроводов параллельно газопроводам расстояние в плане между стенками труб должно быть не менее для газопроводов различного давления: низкого (до 5 кПа) – 1,0 м, среднего (0,3 МПа) – 1,5 м, высокого (0,3–0,6 МПа) – 2 м.

На пересечении с железнодорожными путями, трассами метрополитенов, вблизи уникальных зданий и сооружений и в труднодоступных для ремонта участках следует предусматривать дублирующие линии с камерами для их связи. Расстояние в плане от зданий, сооружений, дорог и других сетей до канализации следует принимать

по ТКП 45-4.01-53. Например, до обреза фундамента зданий: самотечная линия – 3 м; напорная – 5 м; от оси ближайшего пути железной дороги – 4 м; от оси ближайшего трамвайного рельса – 1,5 м; до деревьев ценных пород – 1,5 м и т. д.

Главными задачами при проектировании городов являются:

- проектирование улиц и их направлений с учетом условий расположения сетей в плане;

- расположение в поперечном профиле улиц, а также исходя из необходимости обеспечения возможности использования при их прокладке уклонов местности, для уменьшения глубины заложения водоотводящих коллекторов;

- устранение необходимости перекачек сточных вод, а следовательно, и значительное снижение строительной стоимости водоотводящей сети и ее эксплуатации.

Сети различного назначения желательно укладывать по возрастающей глубине, что упрощает прокладку вводов и устройство пересечений.

При решении вопроса о расположении различных инженерных коммуникаций в поперечном сечении улиц необходимо рассмотреть варианты совмещенной прокладки их в одной траншее. В городах и на промышленных предприятиях со сложным хозяйством инженерные сети различного назначения прокладывают совмещенным способом в проходных тоннелях. Совмещенная прокладка трубопроводов, каналов, коллекторов различного назначения в одной траншее дает возможность более рационально и экономично организовать производство работ по прокладке труб и земляных работ по сравнению с прокладкой их раздельно.

В поперечном профиле улицы для каждого трубопровода назначается зона прокладки шириной в зависимости от его размера и глубины заложения. Укладка всех сетей должна вестись параллельно оси уличного проезда или красной линии застройки. Расстояние по вертикали в свету в местах пересечения водоотводящих труб с подземными коммуникациями, в том числе и с производственными водопроводными сетями, должно быть не менее 0,2 м.

При пересечении с линиями питьевого водопровода водоотводящие трубопроводы должны прокладываться, как правило, ниже их, с расстоянием между трубами в свету по вертикали не менее 0,4 м. При меньшем расстоянии и в случае прокладки водоотводящих труб выше водопроводных должны предусматриваться защитные мероприятия.

Размещая водоотводящие сети в поперечном профиле улицы, необходимо проводить зонирование всех трубопроводов и кабелей в подземном пространстве улицы с учетом упрощения устройства вводов и пересечений. Для этого желательно в плане трубопроводы и кабели

сети укладывать по возрастающей глубине от красных линий кварталов к оси улиц. Зонирование по глубине проводится главным образом для уличных разводящих сетей. Прокладка магистральных трубопроводов проектируется особо с учетом зонирования уличных сетей и комплексной технико-экономической целесообразности намечаемой прокладки.

9.1.8. Пересечение самотечных трубопроводов с естественными и искусственными препятствиями (дюкеры, эстакады, переходы)

Самотечные трубопроводы часто пересекаются с различными естественными и искусственными препятствиями. К естественным препятствиям относятся ручьи, реки, овраги, суходолы, а к искусственным – автомобильные и железные дороги, подземные коллекторы, трубопроводы различного назначения, кабели, пешеходные переходы, линии метрополитена и другие сооружения.

Конструкция пересечения зависит от взаимного высотного расположения (разности отметок) трубопровода и препятствия. В зависимости от этого возможны три случая их пересечения.

1. Если трубопровод непосредственно пересекается с препятствием, т. е. трубопровод и препятствие расположены на одной и той же отметке или разность их отметок незначительна, то пересечение выполняется в виде дюкера – напорного трубопровода, соединяющего два самотечных трубопровода. На рис. 4.13 показана схема дюкера через реку.

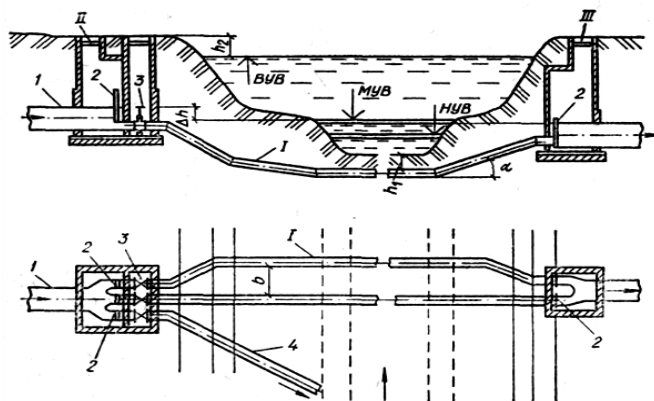


Рис. 4.13. Схема дюкера через реку:

I – напорные трубопроводы; *II* – верхняя камера; *III* – нижняя камера;
1 – подводящий самотечный трубопровод; 2 – щитовые затворы;
3 – задвижки; 4 – аварийный выпуск

Дюкер состоит из следующих основных элементов: напорных трубопроводов, верхней и нижней камер. Напорные трубопроводы дюкера выполняются не менее чем из двух ниток стальных труб с усиленной антикоррозионной изоляцией. Диаметр их должен быть не менее 150 мм. Обе нитки должны быть рабочими. Лишь при небольших расходах допускается устройство дюкера с одной рабочей и одной резервной трубой.

Дюкер укладывается в траншее по дну русла. Угол наклона (α) восходящей части дюкера должен быть не более 20° . Глубина заложения подводной части трубопровода должна приниматься не менее $A = 0,5$ м до верха трубы, а в пределах фарватера на судоходных реках – не менее $h = 1,0$ м. Расстояние между трубами дюкера в свету должно быть не меньше $b = 0,7 - 1,5$ м (в зависимости от напора воды и других особенностей устройства дюкера).

Аварийный выпуск может быть проложен из верхней камеры дюкера или из ближайшего колодца перед ним. Устройство аварийного выпуска должно быть согласовано со всеми органами, которые осуществляют контроль по охране и использованию водоема. В период паводков при высоком уровне вод в реке аварийный выпуск может использоваться для промывки дюкера. Промывка осуществляется следующим образом: при открытой задвижке на аварийном выпуске вода из водоема в результате разности отметок воды в нем и в отводящем самотечном трубопроводе устремляется через аварийный выпуск в напорные трубопроводы и двигаясь там с большой скоростью, интенсивно промывает их.

Верхняя камера дюкера состоит из двух отделений: первого – мокрого и второго – сухого. Эти отделения разделяются между собой водонепроницаемой перегородкой. В пределах первого отделения самотечный трубопровод переходит в открытые лотки. Первое отделение может подтопляться водой при повышенных расходах сточных вод, при снижении пропускной способности дюкера или при его промывке. Этим и объясняется название отделения – мокрое.

В окончании лотков перед трубами дюкера устанавливаются плоские затворы – шиберы. В сухом отделении размещаются напорные трубы дюкера с задвижками. При установке двух отключающих

устройств в верхней камере повышается надежность регулирования работы дюзера в случае выхода из строя одной из ниток трубопровода.

Каждое отделение верхней камеры должно иметь горловину и оканчиваться (оборудоваться) люком с крышкой. Превышение люка камер под высоким уровнем вод в водоеме должно быть не менее $h_2 = 0,5$ м.

Нижняя камера дюзера устраивается в виде одного отделения, где напорные трубопроводы переходят в открытые лотки, в начале которых должны устанавливаться щитовые затворы. На рис. 4.14 показана конструкция верхней и нижней камер дюзера из сборного железобетона диаметром 150–400 мм.

Камеры дюзера размещаются на незатопляемой даже при высоком уровне воды в водоеме территории. Дюзеры должны располагаться в местах с устойчивым, неразмываемым руслом, на участках с минимальной шириной реки. Трубопроводы дюзера прокладываются перпендикулярно руслу реки для обеспечения минимальной длины труб. При большой протяженности дюзера на трубах следует устраивать колодцы или камеры с ревизиями, а в пониженных местах – выпуски для опорожнения дюзера (обычно при широкой затопляемой пойме реки).

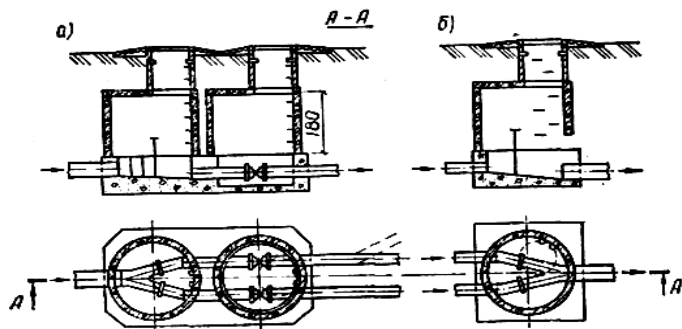


Рис. 4.14. Конструкция верхней (а) и нижней (б) камер дюзера

Все линии дюзера принимаются рабочими и рассчитываются на пропуск расхода по формуле

$$q_l = \frac{q_p}{n}, \quad (4.6)$$

где q_p – расчетный расход через дюкер л/с;
 n – число рабочих линий.

Диаметр труб определяют исходя из условия обеспечения самоочищающих скоростей $v \geq 1,0$ м/с по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4q_p}{\pi \cdot v}}. \quad (4.7)$$

Вода в трубах дюкера движется с заданной скоростью, в результате наличия перепада уровней воды Δh в верхней и нижней камерах, который равен потерям напора в дюкере и определяется по формуле

$$\Delta h = h_l + h_m = il + \sum \xi_i \left(\frac{v_p^2}{2g} \right), \quad (4.8)$$

где $h_l = il$ – потери напора по длине трубы, м;

h_m – потери напора в местных сопротивлениях, м;

i – гидравлический уклон (потери напора на единицу длины трубы);

l – длина трубопроводов дюкера, м;

$\sum \xi_i$ – сумма местных сопротивлений;

v_p – скорость движения воды в трубах при расчетных условиях м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с.

Сумма коэффициентов равна:

$$\sum \xi_i = \xi_{вх} + \xi_{зав} + m \xi_{отв} + \xi_{вых}, \quad (4.9)$$

где $\xi_{вх}$, $\xi_{зав}$, $\xi_{отв}$, $\xi_{вых}$ – коэффициенты местных сопротивлений соответственно на входе, в задвижке, в отводах и на выходе;

m – число отводов.

Дюкер является коротким трубопроводом, в котором потери напора в местных сопротивлениях соизмеримы с потерями напора по длине труб, поэтому при определении потерь напора учитываются и местные сопротивления.

В случае выхода одной нитки трубопровода дюкера из строя оставшаяся должна обеспечить пропуск всего расчетного расхода с учетом допустимого подпора. При подпоре будет происходить подтопление верхней камеры дюкера и лежащих выше участков подводящих самотечных трубопроводов. Очевидно, что при подтоплении не должно происходить разлива сточной жидкости из камеры дюкера и смотровых колодцев. Подтопление трубопроводов не должно приводить к перебоям в пользовании системой водоотведения

и вызывать затопления подвалов и других частей зданий и сооружений. Следует иметь в виду, что даже допустимый подпор может отрицательно влиять на работу водоотводящей сети. При подпоре трубопроводы будут работать под напором и полным сечением, снизятся скорости движения воды в них, а это, в свою очередь, приведет к отложению осадка. Поэтому подпор не должен вызывать подтопления трубопроводов большой протяженности. Подтопление не должно быть длительным. Величина допустимого подтопления подводящего коллектора определяется на основе анализа работы лежащих выше участков сети.

Если приняты две рабочие линии дюкера, то расчет следует начинать с предположения о необходимости пропуска по одной линии 75 % расхода. Таким образом, вначале величину Δh следует определить при расходе $q_2 = 0,75q_p$. При этом расходе находится и скорость v_p . Затем вычисляются потери напора в дюкере при пропуске всего расчетного расхода по одной линии и решается вопрос о допустимости получающегося подтопления. Если подтопление окажется недопустимым, то расход по одной линии увеличивается. Если подтопление вообще недопустимо, то расчет величины Δh ведется при условии пропуска всего расхода q_p по одной линии дюкера.

Дюкеры могут устраиваться и при пересечении самотечного трубопровода с автомобильными и железными дорогами, если они проходят в выемках (рис. 4.15). В этом случае трубопроводы прокладываются в футлярах (металлических или железобетонных) или осуществляется их обетонировка. В остальном дюкеры под железными и автомобильными дорогами проектируются аналогично проектированию дюкеров через реки.

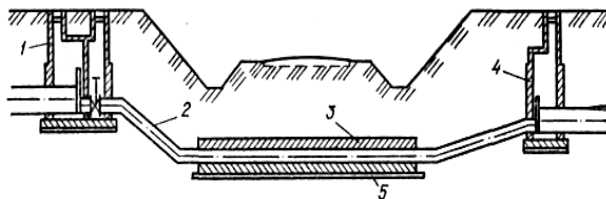


Рис. 4.15. Переход под железной дорогой дюкером:
1 – водоотводящий трубопровод; 2 – дюкер; 3 – защитный футляр;
4 – колодец; 5 – железнодорожный путь

При непосредственном пересечении водоотводящего трубопровода с препятствием переход может быть осуществлен также в виде сифона (рис. 4.16). Для зарядки сифона необходимо предусматривать вакуумное устройство в самой высокой точке. Высота сифона H определяется расчетом. Обычно она не превышает 5–7 м. Применение дюкера такой конструкции может потребоваться при невозможности остановки транспорта и необходимости проведения работ в сжатые сроки.

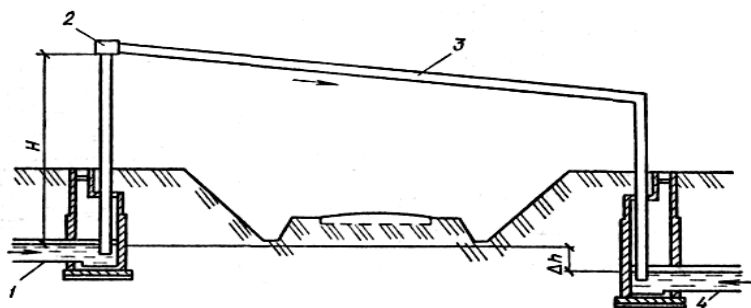


Рис. 4.16. Схема сифона:
1 – подводящий трубопровод; 2 – вакуум-насос; 3 – труба сифона;
4 – отводящий трубопровод

2. Если трубопроводы располагаются ниже препятствия (отметка трубопровода значительно меньше отметки препятствия), то пересечение выполняется в виде самотечного трубопровода из усиленных стальных или железобетонных труб, уложенных в футлярах, непроходных или проходных тоннелях. Глубина заложения трубы, футляра или тоннеля должна быть не менее 1 м при открытом способе производства работ и не менее 1,5 м – при закрытом. Длину футляра определяют исходя из размеров препятствия. Поперечные размеры футляра и тоннеля зависят от способов производства работ и размеров трубопровода. При открытом способе производства работ диаметр футляра следует принимать не менее чем на 200 мм больше наружного диаметра трубопровода. При закрытом способе размеры футляра должны определяться с учетом условий производства работ и техники безопасности.

Кожухи и тоннели предназначены для предохранения рабочего

трубопровода от нагрузок, возникающих при движении транспорта над ним. Одновременно кожух предохраняет дорогу от разрушения в случае аварии трубопровода. Футляры должны устраиваться с противокоррозионной изоляцией (торкретбетонное армированное, битумно-резиновое, полимерное покрытие) и защитой от электрической и химической коррозии (катодная поляризация с протекторными установками). Пространство между стенками футляра и трубопровода надлежит заполнять бетоном. До и после пересечения желательно устройство смотровых колодцев с отключающими устройствами.

Футляры при бестраншейной проходке прокладываются прокалыванием, продавливанием или методом горизонтального бурения. Самотечные коллекторы большого поперечного сечения прокладываются под препятствием в тоннелях, которые сооружаются способом щитовой или штольной проходки.

3. Если трубопровод располагается значительно выше препятствия (при пересечении оврагов, суходолов), то пересечение выполняется в виде самотечного трубопровода, уложенного по эстакаде (рис. 4.17) или существующему мосту. Эстакада – конструкция, представляющая собой мост на опорах (деревянный или из сборных железобетонных элементов), который одновременно может использоваться как пешеходный мост. Самотечный трубопровод из длинномерных металлических, железобетонных или асбестоцементных труб прокладывается по эстакаде в утепленном коробе. Диаметры труб, наполнение и скорости течения в них принимаются такими же, как и на лежащем выше участке коллектора. До и после эстакады желательно устройство колодцев с отключающими устройствами. Перед эстакадой целесообразно также устройство аварийного выпуска. На трубопроводе для прочистки труб устанавливают ревизии на расстояниях, равных расстояниям между линейными смотровыми колодцами. К выбору трассы эстакады предъявляются такие же требования, как и к трассировке дюкера.

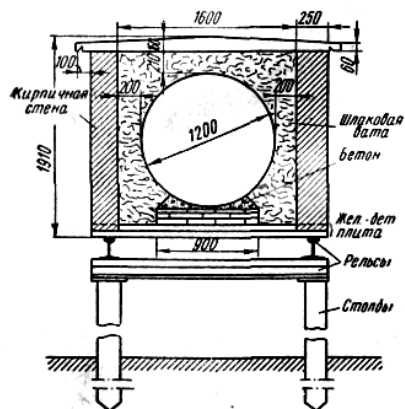


Рис. 4.17. Железобетонная эстакада
через овраг

9.2. Водоотводящая сеть промышленных предприятий

9.2.1. Схемы водоотводящих сетей промышленных предприятий

В технологических циклах промышленных предприятий независимо от вида производства образуются сточные воды с измененными физико-химическими свойствами по отношению к исходному качеству воды. Они подразделяются на три основных вида: производственные, хозяйственно-бытовые и атмосферные. Объем, режим поступления в водо-

отводящую сеть и состав сточных вод находятся в прямой зависимости от характера исходного сырья и принятого технологического процесса, качества и объема воды, потребляемой данным предприятием, от местных гидрогеологических условий. Составление схем водоотводящих сетей промышленных предприятий основывается на базе принятой системы водоотведения и зависит от конкретного технико-экономического решения по выбору и размещению комплекса инженерных сооружений для приема, транспортирования и очистки сточной воды, выпуска ее в водоем или передачи для последующего использования. На промышленных предприятиях может быть две или большее число водоотводящих сетей, предназначенных для отвода сточных вод разного состава и степени загрязнения, а также большее

число наземных и подземных сооружений. Составление схем сетей производят с учетом расположения производственных цехов и выпусков из них воды, расположения других подземных сооружений.

Схема и система водоотведения промышленного предприятия зависит от расхода и состава сточных вод, специфики предприятия, а также от геологических, географических и других условий. При этом учитываются также возможность спуска сточных вод в городскую водоотводящую сеть, мощность водоема и необходимая степень очистки. При отведении сточных вод промышленных предприятий принимается во внимание ряд факторов. Чаще всего на промышленных предприятиях устраивают полную раздельную систему водоотведения. Водоотведение трех основных видов сточных вод с промышленной площадки может осуществляться по одному коллектору, и при отсутствии резко выраженных видов загрязнителей принимается общесплавная система водоотведения (рис. 4.18). Объединение загрязненных вод в этом случае возможно, если не образуются газообразные и взрывоопасные вещества, а осадки не обладают более токсичными свойствами по сравнению с ПДК.

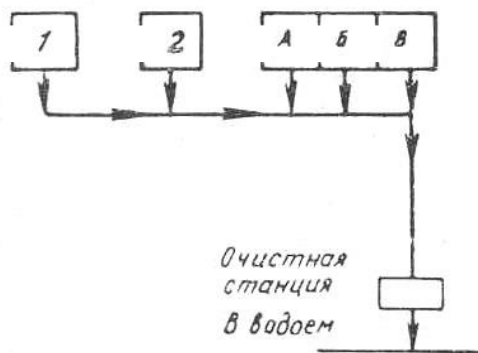


Рис. 4.18. Схема общесплавной системы водоотведения: А, Б, В – цехи (производственные воды); 1 – дождевые воды; 2 – бытовые воды

Некоторые предприятия пищевой и других отраслей промышленности имеют состав производственных вод, близкий к бытовым сточным водам, и тогда сети производственных и бытовых вод

объединяют. Атмосферные сточные воды в этом случае отводят по дождевой сети.

Иногда производственные сточные воды, в силу их специфики, нельзя объединять с бытовыми сточными водами. В этом случае устраивают местные очистные установки (шерстеуловители, нейтрализаторы, жироловки и др.), пройдя которые производственные воды могут быть смешаны с бытовыми сточными водами (рис. 4.19). При смешении некоторых промышленных стоков могут образовываться ядовитые газы, осадки, которые вызывают зарастание труб, и пр.

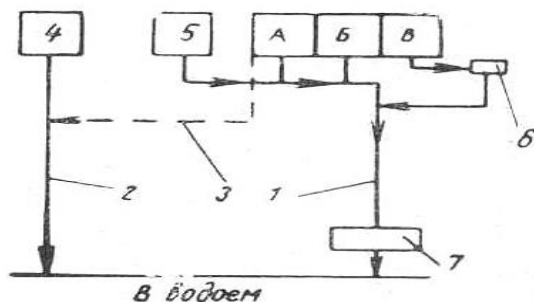


Рис. 4.19. Схема раздельной системы водоотведения с местными очистными установками:

А, Б, В – цехи (производственные воды); 1 – сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; 2 – сеть дождевых вод; 3 – выпуск условно чистых производственных вод; 4 – дождевые воды; 5 – бытовые воды; 6 – местные очистные установки; 7 – очистная станция

Большинство промышленных предприятий имеет самостоятельные сети производственных, бытовых и атмосферных вод (рис. 4.20), в этом случае производственные и бытовые воды направляются в водоем после специальной очистки. Иногда на промышленных предприятиях устраивают несколько самостоятельных сетей производственных сточных вод для отвода кислых, щелочных и других стоков.

Водоотводящие сети целесообразно трассировать вдоль проездов на определенном расстоянии от оси дорог. Насосные установки для перекачки производственных сточных вод, не выделяющих вредных газов, паров, могут устанавливаться в производственных помещениях.

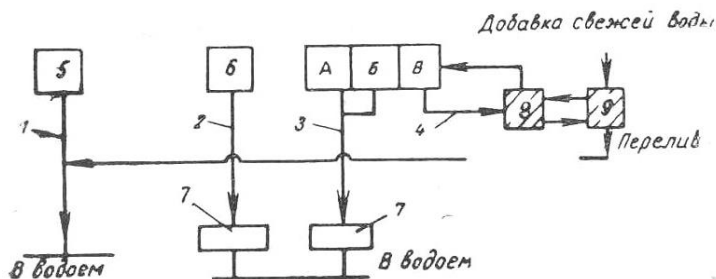


Рис. 4.20. Схема раздельной системы водоотведения с использованием производственных сточных вод для оборотного водоснабжения:

А, Б, В – цехи (производственные воды); 1 – сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; 2 – сеть дождевых вод; 3 – выпуск условно чистых производственных вод; 4 – дождевые воды; 5 – бытовые воды; 6 – местные очистные установки; 7 – очистные станции; 8 – насосная станция; 9 – установка для охлаждения воды

9.2.2. Расчет и проектирование водоотводящих сетей

Все сточные воды, образующиеся на территории предприятия, собираются и транспортируются по системе труб и каналов. Наибольшее распространение получила закрытая водоотводящая сеть. Сточные воды, опасные в санитарном отношении, а также содержащие взрыво- и пожароопасные примеси, транспортируют только по системе закрытых трубопроводов.

Расчет лотков и труб для отвода сточных вод от отдельных производственных аппаратов и их групп осуществляют по максимальному секундному расходу. Лотки в цехах, внутренние трубопроводы и наружные коллекторы от отдельных цехов или заводских корпусов рассчитывают по максимальному часовому расходу, общезаводские и внеплощадочные лотки – по совмещенному графику часовых расходов от нескольких цехов или корпусов. Производственные сточные воды содержат разнообразные по размерам и удельному весу нерастворенные примеси. Их распределение по живому сечению труб и каналов зависит от скорости потока. При скорости потока более 0,8 м/с они распределяются относительно равномерно и находятся во взвешенном состоянии.

Примеси (кварцевый песок, окалина, частицы шлака и т. д.) перемещаются около дна труб и каналов. Если скорость потока невысока, то тяжелые примеси выпадают на дно. Из-за этого происходит зарастание трубопроводов и каналов. Их пропускная способность уменьшается.

Наличие в сточных водах взвешенных и выпадающих на дно веществ повышает общий коэффициент шероховатости труб и каналов.

В самотечных участках водоотводящей сети режим движения сточных вод неравномерный и неустановившийся. Это обусловлено неравномерностью поступления стоков от производственных цехов и аппаратов. Поэтому возможно образование подпоров в местах поворота сетей и спад в перепадных колодцах при различных уклонах по длине труб и каналов. Равномерный режим движения сточных вод происходит на транзитных и прямолинейных участках водоотводящей сети без боковых присоединений.

Водоотводящие трубы и каналы рассчитывают на частичное наполнение при максимальном притоке сточных вод. Это позволяет производить гидравлический расчет по формулам равномерного движения воды в трубопроводах и каналах. Такое допущение упрощает расчет и обеспечивает достаточную точность результатов.

При расчете труб и каналов, транспортирующих сильно концентрированные производственные сточные воды с высоким содержанием взвешенных веществ, необходимо учитывать транспортирующую способность потока. Она зависит от ряда факторов: высоты наполнения h , м; скорости потока v , м/с; гидравлической крупности взвеси u , мм/с.

Содержание фракций взвеси P_v крупнее 0,005 мм определяется по формуле

$$P_v = \left(\frac{0,0535}{h} \right) \cdot \left(\frac{v}{1,2uh^{0,2}} \right)^4 \cdot \left(\frac{1-1,2uh^{0,2}}{v} \right). \quad (4.10)$$

Для определения гидравлической крупности взвеси (u) пользуются экспериментальными данными. Наименьшие уклоны труб и каналов принимают в зависимости от их диаметра и допустимых наименьших скоростей движения сточных вод. Трубы для городских стоков и близких к ним по составу механических примесей укладывают с уклоном не менее: при диаметре 150 мм – 0,007, 200 мм – 0,005, 250 мм и более – 0,004.

Транспортирующая способность потока – количество твердого материала, переносимого потоком в критическом состоянии. Критическая скорость – состояние потока, при котором твердые частицы начинают осаждаться, а соответствующая этому состоянию средняя скорость потока называется критической.

Критическая скорость высококонцентрированных потоков определяется по формуле

$$v_{кр} = 8\sqrt[3]{D} \cdot \sqrt{C_0} \cdot \Psi, \quad (4.11)$$

где D – диаметр трубопровода, ед. изм;

C_0 – отношение объема загрязнений к общему объему;

Ψ – коэффициент транспортабельности.

9.2.3. Конструирование водоотводящей сети

Под конструированием водоотводящей сети понимаются некоторые особенности ее проектирования в плане и по высоте. Главное требование конструирования сети – обеспечение в водопроводящей сети оптимальных гидравлических условий течения жидкости, при которых исключается подтопление трубопроводов и снижение скоростей течения жидкости, что, в свою очередь, исключает заиливание трубопроводов, т. е. обеспечивает их самоочищение.

В местах изменения направления трубопровода в плане, изменения его уклона, присоединения к нему других веток, а также на прямолинейных участках труб через 40–150 м следует устраивать смотровые колодцы. Между колодцами трубопроводы должны прокладываться прямолинейно. Соединение самотечных трубопроводов в колодцах следует выполнять в виде открытых лотков. На поворотах лотки должны выполняться по кривым с радиусом не менее диаметра трубы.

Угол поворота потока в трубопроводах, изменяющих свое направление в плане или при присоединениях трубопроводов, должен быть не более 90°. Любой угол поворота трубопровода в плане может быть выполнен при условии устройства в колодце перепада-стояка.

Диаметр трубопровода в направлении движения воды в коллекторе может быть увеличен без всякого ограничения, если это обосновано расчетом. Расчет трубопровода в направлении движения воды при увеличении расхода может привести к уменьшению его диаметра. Это происходит при резком и значительном увеличении уклона

трубопровода и увеличении его пропускной способности. Опыт проектирования и эксплуатации показывает, что диаметр трубопровода не следует уменьшать более чем на один размер по сортаменту при диаметре трубопровода до 300 мм и более чем на два размера – при больших диаметрах. Соединение труб в этом случае осуществляется по лоткам труб.

При плоском рельефе местности или незначительном уклоне поверхности земли на всех участках коллектора трубопровод проектируется с минимальным уклоном. Это приводит к тому, что уклон трубопровода на отдельных участках уменьшается, а скорость возрастает.

Боковые присоединения нарушают поток воды в основном трубопроводе. Поэтому желательно, чтобы в боковых присоединениях скорость движения воды была меньше, чем в основном трубопроводе. В этом случае указанное нарушение потока и связанные с этим последствия будут минимальными. При большой разнице в заглублении труб это условие может обеспечиваться либо путем устройства перепадного колодца перед присоединением на боковой ветке, либо путем прокладки предыдущего перед присоединением участка трубопровода на боковой ветке с повышенным уклоном (рис. 4.21).

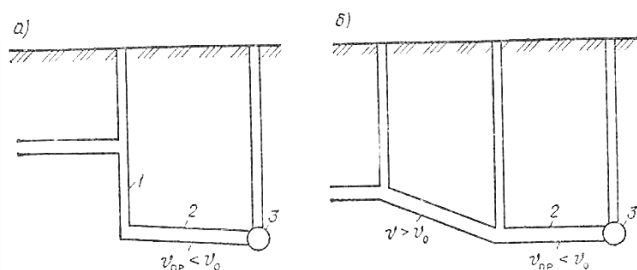


Рис. 4.21. Продольные профили боковых веток с перепадным колодцем (а) и участок с повышенным уклоном (б)

9.3. Водоотводящие сети атмосферных осадков (водостоки)

9.3.1. Внутренние водостоки и наружная дождевая водосточная сеть

В целях организованного отвода с территории города или промышленного предприятия дождевых и талых вод устраивают дождевую канализацию (водостоки). Такой отвод необходим, так как при сильных дождях может произойти затопление улиц и подвалов зданий, нарушение нормального движения транспорта, подъем уровня грунтовых вод. Эти воды нельзя выпускать в водоемы без очистки.

Исследования количества и состава загрязнений в поверхностном стоке дают основания считать, что по концентрациям загрязнений поверхностный сток с городских территорий можно отнести к хозяйственно-бытовым сточным водам средней, а иногда и высокой концентрации (взвешенных веществ – 50–16000 мг/л; БПК₂₀ – 200–300 мг/л; нефтепродуктов – до 15–20 мг/л).

Основными факторами, влияющими на качество поверхностного стока, являются наличие в городе промышленных предприятий и их характер, вид применяемого топлива, тип поверхностного покрова, интенсивность движения пешеходов и транспорта, метод очистки улиц, степень их озеленения.

Сеть дождевой канализации может быть разделена на две части:

- внутреннюю, называемую внутренними водостоками, предназначенную для отвода атмосферных осадков с крыш больших по площади зданий;

- наружную, предназначенную для отвода атмосферных осадков с территории населенных мест и промышленных предприятий и от внутренних водостоков. Эта сеть может быть открытой, устраиваемой из открытых лотков и канав, закрытой (подземной), состоящей из уложенных в землю труб и каналов, и смешанной, которая представляет собой сочетание открытой и закрытой сетей.

Наружная закрытая дождевая канализация состоит обычно:

- а) из дождеприемников, т. е. устройств, для приема дождевых вод, стекающих с поверхностей улиц, кварталов, дворов;

- б) сети труб и каналов;

- в) смотровых, перепадных и других колодцев на сети;

- г) выпусков в водоемы или овраги.

Дождевые воды перекачиваются насосными установками в очень редких случаях.

Открытая дождевая сеть состоит из лотков и канав разного размера (с естественной или искусственной одеждой) и выпусков упрощенных конструкций. Дождеприемники при этом не устраивают.

9.3.2. Трассировка дождевой сети

Под трассированием сетей водоотведения в период их проектирования понимают выбор наиболее целесообразного расположения трубопроводов и изображение их осей на плане объекта водоотведения. Основным принцип трассирования – сбор поверхностных вод со всей территории населенного пункта или промышленного предприятия и подача их к месту очистки или к выпуску в водный объект кратчайшим путем и по возможности самотеком.

Трассирование начинается с выбора площадки под очистные сооружения и мест выпускных вод. Места выпуска поверхностного стока с учетом требований, указанных в ТКП 45-4.01-57–2012, согласовываются с органами Государственного комитета по охране природы, санитарно-эпидемиологической службой и органами рыбоохраны.

Перед началом трассирования вся территория населенного пункта или промпредприятия на плане разделяется на бассейны поверхностного стока. Ограничительными линиями этих бассейнов являются границы населенного пункта (промпредприятия), а также водоразделы, тальвеги и берега водных объектов (рек, озер, морей). Например, на рис. 4.22 в населенном пункте выделено три бассейна поверхностного стока: *А*, *Б* и *В*. В пределах каждого бассейна может быть применена своя система водоотведения и схема расположения трубопроводов решается индивидуально. Наиболее предпочтительной является децентрализованная схема трассировки сети с прокладкой перехватывающих водосточных коллекторов по тальвегам и забором ручьев и малых рек в коллекторы.

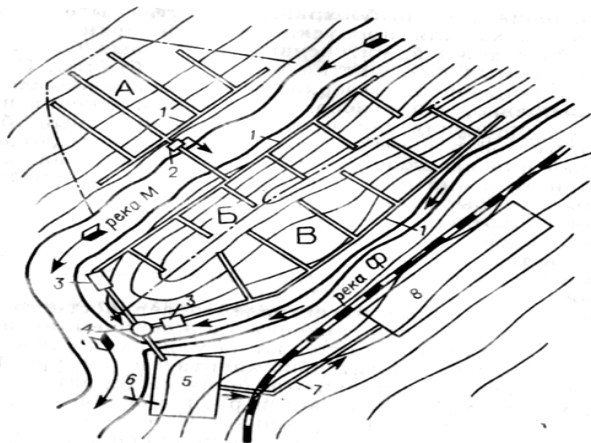


Рис. 4.22. Пример расположения коллекторов в бассейнах водоотведения А, Б и В для отведения поверхностных вод с территории города: 1 – трубопроводы для отведения поверхностных вод (коллекторы и магистрали); 2 – ливнепуск; 3 – регулирующие емкости (резервуары); 4 – насосная станция; 5 – очистные сооружения для поверхностного стока; 6 – выпуск в водоток; 7 – подача очищенной воды в систему промышленного водоснабжения; 8 – территория промпредприятия

При трассировании сетей водоотведения внутри бассейна в первую очередь наносят на план местности так называемые главные для данного бассейна перехватывающие коллекторы, которые собирают все атмосферные стоки с данного бассейна. Затем на плане указывают уличные коллекторы и магистрали. Главные коллекторы по возможности располагают вдоль берегов водных объектов или в тальвегах. Для уменьшения глубины заложения труб уличных коллекторов и магистралей при плоском рельефе местности следует стремиться, чтобы они пересекали горизонтали под углами, близкими к углу, равному 90° . Однако вопрос о размещении трубопроводов на плане местности во всех случаях решается индивидуально.

При плоском рельефе границы бассейнов водоотведения определяют исходя из охвата всей территории самотечной сетью при максимальной глубине заложения труб до 5–6 м, а главный коллектор размещают посередине бассейна. Если же признано целесообразным прокладывать главный коллектор подземным (тоннельным) способом, то площадь бассейна стока при плоском рельефе во многих случаях не

ограничивается.

В систему поверхностного водоотведения нередко включают также ручьи или небольшие речки, протекающие на территории города. При этом они могут быть частично или полностью заключены в трубы либо протекать в виде естественного благоустроенного водотока, который будет использоваться также для пропуска дождевой воды во время сильных ливней. При реконструкции систем поверхностного водоотведения следует стремиться использовать существующие коллекторы и сооружения дождевой канализации.

Размещение уличных магистралей поверхностного водоотведения зависит от расположенияждеприемников – внутри кварталов и на улицах или только на улицах, а также от схемы трассирования сетей относительно кварталов. Трассирование дождевой сети водоотведения на территории промышленных предприятий определяется расположением цехов и проездов, размещениемждеприемников и мест выпусков из цехов внутренних водостоков, а также расположением других трубопроводов.

Обычно сети поверхностного стока размещают посередине улиц, в пределах разделительных полос. При ширине улиц 60 м и более дождевые сети прокладывают по обеим сторонам улиц в пределах газонов. В этих случаях разделительные полосы или газоны засаживают только кустарником. Посадка деревьев разрешается на расстоянии не менее 5 м от оси труб поверхностного водоотведения.

Наименьшая глубина заложения труб дождевой сети принимается по опыту эксплуатации подобных сетей в данном районе. При отсутствии данных по эксплуатации дождевых сетей в рассматриваемом районе минимальная глубина заложения лотка труб от поверхности земли согласно ТКП 45-4.01-56–2012 может быть назначена меньше глубины промерзания на 0,3 м при диаметре труб до 500 мм и на 0,5 м при большем диаметре труб. Во всех случаях расстояние от поверхности земли до верха трубы должно быть не менее 0,7 м. При необходимости меньшей глубины заложения труб следует принимать меры для их защиты от повреждения наземным транспортом и промерзания.

Глубина заложения H (м) уличного коллектора (рис. 4.23) в начальной точке вычисляется по формуле

$$H = h + i_n l_n + i_{el} l_e + (z_1 - z_2) + \Delta d, \quad (4.12)$$

где h – глубина заложения линии присоединения в наиболее удаленномждеприемнике, м;

- $i_n, i_{\text{в}}$ – уклоны труб присоединительной ветви и внутриквартальной сети ($i_n = 0,02$; $i_{\text{в}} = 0,005$ при $d = 200$ мм);
- $l_n, l_{\text{в}}$ – длины присоединительной ветви и внутриквартальной сети от наиболее удаленного колодца до колодца на уличной магистрали (принимаются по плану квартала с нанесенными на нем дождеприемниками и внутриквартальной сетью), м;
- z_1, z_2 – отметки поверхности земли после планировки соответственно на уличном проезде и у самого удаленного дождеприемника, м;
- Δd – перепад между лотками внутриквартальной и уличной сети ($\Delta d \geq 0,5d_y$, где d_y – диаметр уличной сети), м.

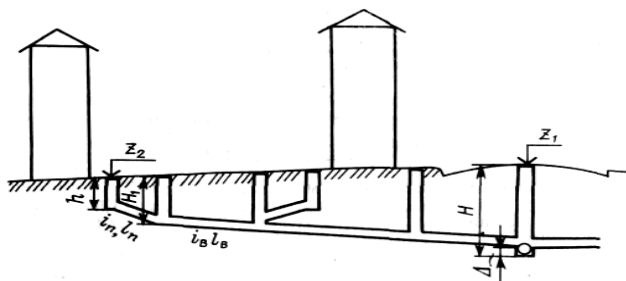


Рис. 4.23. Схема к определению начальной глубины заложения уличной магистрали

Расстояния по вертикали в свету от трубопроводов дождевой сети водоотведения до других подземных инженерных сетей принимаются в следующих пределах:

- для водопроводов, транспортирующих питьевую воду, при расположении их выше трубопроводов дождевого водоотведения – 0,4–0,5 м;
- других трубопроводов, кроме водопроводов, транспортирующих воду питьевого качества, – 0,3 м;
- трубопроводов тепловых сетей и горячего водоснабжения, выполненных бесканальной прокладкой и расположенных выше или ниже труб дождевого водоотведения, – не менее 0,4 м;
- вводов хозяйственно-питьевого водопровода в здания при диаметре труб до 150 мм и прокладке его ниже труб дождевого водоотведения – не менее 0,5 м.

9.3.3. Расчетная интенсивность, продолжительность и повторяемость дождя

Для определения размеров труб и водосточных каналов необходимо знать расчетный максимальный расход дождевой воды, поступающей в сеть. Этот расход зависит от принятой расчетной интенсивности дождя, его продолжительности, коэффициента стока и площади водосбора, с которого поступает сток.

Интенсивность дождя – это количество осадков, выпавших в единицу времени. Различают интенсивность по слою i и по объему q . Первую получают непосредственно по записям ленты дождемера, пользуясь формулой

$$i = \frac{h}{t}, \quad (4.13)$$

где h – слой выпавших осадков, мм;

t – продолжительность выпадения осадков, мин.

Интенсивность по объему измеряется отношением количества осадков (л/с), выпавших на 1 га территории. Ее получают, зная интенсивность по слою i , по формуле $q = 166,7i$.

Величину интенсивности дождя q описывают следующим эмпирическим выражением:

$$q = A / t^n, \quad (4.14)$$

где A – многофакторный безразмерный параметр, зависящий от географического положения местности и метеорологических условий;

t – продолжительность дождя, мин;

n – метеорологический параметр.

По действующему ТКП 45-4.01-57–2012 величину A рекомендуется определять по следующей формуле:

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma, \quad (4.15)$$

где q_{20} – интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при $P = 1$ год, л/с с 12 га;

P – период времени в годах, в течение которого дождь расчетной интенсивности будет превышен один раз;

m_r – среднее число дождей в год;

γ – метеорологический параметр.

Наиболее существенное влияние на расчетную величину интенсивности дождя оказывает выбор величины периода однократного превышения расчетной интенсивности P , иначе называемого периодом однократного переполнения водоотводящей сети.

Период (в годах), в пределах которого может выпасть один такой дождь и произойдет один раз переполнение сети, называется периодом однократного переполнения сети (P) или периодом однократного превышения расчетной интенсивности дождя. Выбор величин P для конкретных условий является одним из основных факторов рационального проектирования; чем больше принята величина P , тем при прочих равных условиях получают большие размеры труб и, следовательно, большую стоимость канализации, но в то же время обеспечивают большую гарантию от затопления канализуемой территории. При малой величине P вероятность переполнения сети, а значит, и затопление территории канализуемого объекта со всеми вытекающими последствиями увеличивается.

Продолжительность дождя определяется по лентам самопишущих дождемеров и измеряется в часах или минутах.

Дожди различной интенсивности имеют различную *повторяемость*, которая показывает вероятность повторения дождей с одинаковой интенсивностью. Повторяемость определяют как частное общего количества всех выпавших дождей определенной интенсивности (или продолжительности) за возможно длительный период наблюдений (15 – 25 лет) и продолжительности этого периода. Наиболее сильные дожди (ливни) обычно повторяются редко. Поскольку канализационную сеть рассчитывают на максимальные расходы сточных вод, для расчета труб ливневой сети следовало бы принимать максимальные по интенсивности дожди. Однако такие дожди могут повторяться лишь через несколько лет. Трубы дождевой сети в таком случае получились бы значительных размеров, а с расчетной нагрузкой работали бы только один раз в несколько лет. Поэтому такие максимально возможные расходы не учитывают, допуская переполнение труб при очень сильных дождях.

9.3.4. Коэффициенты стока и покрова

Выпадающая на поверхность земли дождевая вода стекает в дождевую сеть не полным объемом. Часть ее просачивается (фильтруется) в грунт и задерживается неровностями поверхности, часть испаряется. Чем длительнее дождь, чем больше его интенсивность, тем больше дождевой воды стечет в водоотводящую сеть. На сток дождевой воды в водоотводящую сеть влияют также покрытие и уклон местности, грунтовые условия. Та часть дождевой воды, которая поступает в дождевую сеть, определяется так называемым *коэффициентом стока* ψ , величина которого определяется отношением

$$\psi = \frac{q_c}{q_b}, \quad (4.16)$$

где q_c – количество стекающей в сеть дождевой воды в единицу времени с данной площади, мм/ (с · га);

q_b – количество дождевой воды, выпадающей в единицу времени на ту же площадь, мм/ (с · га).

По исследованиям Н. Н. Белова, коэффициент стока зависит от вида покрытия поверхности, интенсивности и продолжительности дождя и описывается следующей формулой:

$$\psi_{mid} = Z_{mid} \cdot q^{0,2} \cdot t^{0,1}, \quad (4.17)$$

где Z_{mid} – средневзвешенный коэффициент покрова, принимаемый с учетом фактической доли каждого вида покрытия (табл. 4.1, 4.2).

Таблица 4.1. Значения коэффициента покрова Z для разных поверхностей

Вид поверхности	Z
Брусчатые мостовые	0,224
Булыжные мостовые	0,145
Щебеночные покрытия	0,125
Гравийные садово-парковые дорожки	0,09
Грунтовые поверхности	0,064
Газоны	0,038

Для водонепроницаемых поверхностей (кровли и асфальтовые покрытия) величину Z принимают в зависимости от параметра A :

A	300	400	500	600	700	800	1000	1500
Z	0,32	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23

При больших площадях стока учитывают неравномерность выпадения дождя с помощью коэффициента простираемости дождя K по поверхности земли:

F , га	500	1000	2000	4000	6000	8000	10000
K	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,55

Таблица 4.2. **Определение средневзвешенного значения коэффициента покрова Z_{mid}**

Вид покрытия	Доля покрытия в общей площади f_i	Z	$f_i \cdot Z$
Кровля и асфальт ($A = 400$)	0,25	0,3	0,075
Газоны	0,35	0,038	0,013
Грунтовые поверхности	0,25	0,064	0,016
Гравийные дорожки	0,15	0,09	0,014
			$\sum f_i \cdot Z = 0,118$

$$Z_{\text{mid}} = Z \cdot \sum f_i. \quad (4.18)$$

С учетом зависимости (4.17) уравнение (4.18) приобретает вид и коэффициент стока можно определять по данной формуле

$$\Psi_{\text{mid}} = Z_{\text{mid}} \cdot \frac{A^{0,2}}{t^{0,2n-0,1}}. \quad (4.19)$$

9.3.5. Сток талых и поливомоечных вод

Расход талых вод целесообразно определять по слою стока за часы снеготаяния в течение суток. В зоне с холодной зимой и устойчивым снежным покровом талые воды стекают в период весеннего снеготаяния в течение 8–10 сут. Продолжительность снеготаяния составляет около 10 ч (обычно с 10 до 20 ч при максимуме в 14 ч). Для определения

расхода талых вод (л/с) СоюздорНИИ предложена следующая формула:

$$q = \frac{5,5}{10 + T} \cdot h_c \cdot K \cdot F, \quad (4.20)$$

где T – продолжительность стекания воды (время добегания), ч;

h_c – слой стока за 10 дневных часов, мм;

K – коэффициент, учитывающий частичный вывоз и окучивание снега и обычно принимаемый 0,4–0,7;

F – площадь стока, га.

Годовое количество талых вод определяется по сумме атмосферных осадков в зимнее время.

При мойке дорожных покрытий расходуется 1,2–1,5 л воды на 1 м² площади. Коэффициент стока при механизированной мойке составляет около 0,6. Если мойка производится один раз в сутки, то объем моечных вод равен 9 м³/(сут · га). Объем поливочно-моечного стока за год (м³) определяется по формуле

$$W_{\Pi} = 0,09 \cdot F \cdot b \cdot f, \quad (4.21)$$

где F – площадь стока, га;

b – количество дней, в течение которых производится полив;

f – площадь дорожных покрытий, %.

9.3.6. Расчетные участки и их расходы

Для определения расчетных расходов дождевых вод в различных сечениях сети применяют формулу (4.14), а параметр A , характеризующий интенсивность дождя, можно определить по формуле (4.15).

Расходы дождевых вод (q_r , л/с) определяются по методу предельных интенсивностей по формуле

$$q_r = \frac{Z_{\text{mid}} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}}, \quad (4.22)$$

где Z_{mid} – среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока, определяется по табл. 1 [5];

A и n – климатические параметры дождя; параметр n определяется для территории Республики Беларусь по картам изолиний;

F – расчетная площадь стока, га.

Критическая продолжительность дождя равна времени добегания воды от наиболее удаленной точки площади стока до расчетного участка (рис. 4.24) и определяется по формуле

$$t_r = t_{\text{con}} + t_{\text{can}} + t_p, \quad (4.23)$$

где t_{con} – время поверхностной концентрации, принимаемое при наличии внутриквартальной сети 5 мин, при ее отсутствии 10 мин;

t_{can} – время пробега воды по уличному водосточному лотку, мин;

t_p – время пробега воды по трубопроводам водоотводящей сети, мин.

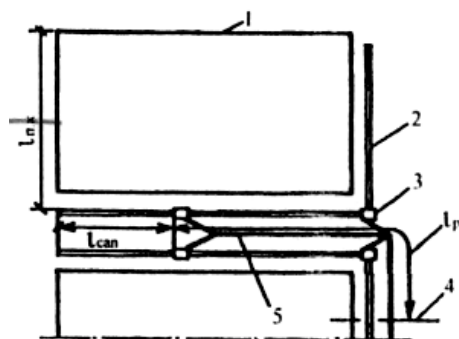


Рис. 4.24. Схема к определению критической продолжительности дождя: 1 – граница квартала; 2 – лоток; 3 – дождеприемник; 4 – расчетное сечение; 5 – трубопровод водоотводящей сети

Время пробега воды по водосточному лотку рекомендуется определять по формуле

$$t_{\text{can}} = 1,25 \cdot l_{\text{can}} / (v_{\text{can}} \cdot 60), \quad (4.24)$$

где l_{can} – длина лотка, м;

v_{can} – скорость движения воды в конце лотка, м/с;

1,25 – коэффициент, учитывающий, что средняя скорость воды по длине лотка меньше, чем в конце его.

Время движения воды по трубопроводам водоотводящей сети (t_p , мин) следует рассчитывать по следующей формуле:

$$t_p = \sum l_p / (v_p \cdot 60), \quad (4.25)$$

где l_p – длина расчетных участков сети, м;

v_p – скорость движения воды на соответствующих участках, м/с.

С учетом зависимостей (4.24) и (4.25) уравнение приобретает следующий вид:

$$t_r = t_{\text{con}} + 1,25 \cdot l_{\text{can}} / (v_{\text{can}} \cdot 60) + \sum l_p / (v_p \cdot 60). \quad (4.26)$$

С учетом зависимостей (4.15) и (4.26) формула для определения расхода дождевых вод (q_r , л/с) приобретает вид

$$q_r = \frac{Z_{\text{mid}} A^{1,2} F K}{t_r^{1,2n-0,1}}. \quad (4.27)$$

При $t_r < 10$ мин в формулу следует вводить поправочный коэффициент 0,9 при $t_r = 7$ мин – 0,8, при $t_r = 5$ мин, коэффициент не применяется.

Расчетный расход при подборе диаметра трубопроводов корректируют с учетом наличия свободной емкости водосточной сети перед началом дождя расчетной интенсивности:

$$q_{\text{cal}} = \beta \cdot q_r, \quad (4.28)$$

где β – коэффициент, учитывающий степень заполнения сети в зависимости от параметра n :

n	$\leq 0,4$	0,5	0,6	$\geq 0,7$
β	0,8	0,75	0,7	0,65

При уклонах поверхности земли 0,01–0,03 значения коэффициента β следует увеличивать на 10–15 %.

В расчетные формулы входят значения скорости v_{can} и v_p , которыми при использовании метода итерации (последовательного приближения) задаются до начала гидравлического расчета, исходя из фактических уклонов уличных лотков и трубопроводов.

9.3.7. Гидравлический расчет дождевой сети

Расчетный расход дождевых вод q_{cal} (л/с) для гидравлического расчета дождевых сетей определяется по формуле (4.28).

Развернутый вид формулы по определению расхода дождевого стока на участках дождевой сети следующей:

$$q_{cal} = \frac{\beta \cdot z_{mid} \left[q_{20} 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma \right]^{1,2}}{(t_{con} + t_{can} + t_r)^{1,2n-0,1}}, \quad (4.29)$$

где величины t_p и F являются переменными на различных участках.

Для упрощения расчетов обозначим через ϕ (коэффициент уменьшения интенсивности) выражение $\frac{20^{1,2n}}{(t_{can} + t_r)^{1,2n-0,1}}$ и через q_{20p}

(интенсивность дождя продолжительностью 20 мин при определенном значении

периода однократного переполнения сети $t_{can} + t_r = 0$) выражение

$$q_{20}^{1,2} \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^{1,2\gamma}.$$

Тогда преобразованная формула по определению расхода дождевых вод, поступающих в сеть, принимает вид

$$q_{cal} = \beta \cdot z_{mid} \cdot q_{20p} \cdot \phi \cdot F. \quad (4.30)$$

Гидравлический расчет дождевой сети заключается в определении диаметров труб на пропуск расчетных расходов дождевых вод при полном наполнении сети. При расчете должны соблюдаться допустимые уклоны и скорости течения дождевых вод. Соединение труб в колодцах принимается «шелыга в шелыгу».

Гидравлический расчет рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Определяется параметр A .
2. Определяется величина

$$q_{20} = \frac{q_{20}^{1,2} \cdot \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^{1,2\gamma}}{5^{1,2n-0,1}} \quad (4.31)$$

при $t_{con} = 5$ мин, так как заданием на проектирование предполагается наличие внутриквартальной дождевой сети.

3. Определяется среднее значение коэффициента стока z_{mid} как средневзвешенная величина в зависимости от значений коэффициентов, характеризующих поверхности покрытий, по формуле

$$z_{\text{mid}} = \frac{\sum z_i \cdot F_i}{\sum F_i}, \quad (4.32)$$

где z_i – коэффициенты, характеризующие различные поверхности;

F_i – площадь того или иного вида покрытия в процентах или долях от единицы (по заданию на проектирование).

4. Определяется удельный расход дождевых вод, поступающих в сеть с 1 га канализуемой территории при $t_p = 0$, по формуле

$$q_r^0 = \beta \cdot z_{\text{mid}} \cdot q_{20}. \quad (4.33)$$

а) для водопроницаемых поверхностей z_i определяется по табл. 9 [5];

б) для водонепроницаемых поверхностей z_i определяется по табл. 10 [5] в зависимости от значения параметра A .

5. Расчетный коллектор разбивается на расчетные участки, и производится определение площадей стока, тяготеющих к каждому расчетному участку. С этого пункта рекомендуется расчет вести в табличной форме (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Гидравлический расчет дождевого коллектора

Номер участка	Длина участка L , м	Площадь стока F , м ²				q_r^0 при $t_p = 0,1$ л/(с · га)	Исчисленный расход Q_r , л/с	Скорость v_r , м/с	Продолжительность протока, мин		Коэффициент уменьшения интенсивности ϕ
		собственная	приток	транзит	общая				t_p	$\sum t_p$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Окончание табл. 4.3

Номер участка	Расчетный расход q_{cal} , л/с	Диаметр D , мм	Уклон i	Пропускная способность трубы q_p , л/с	Падение на участке $H = il$, м	Отметки на участках				Глубина заложения	
						земли		лотков труб			
						нач.	кон.	нач.	кон.	нач.	кон.
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

6. На каждом расчетном участке определяется так называемый

исчисленный (завышенный) расход по формуле

$$Q_r = q_r^0 \cdot F, \quad (4.34)$$

где F – площадь, обслуживаемая данным участком сети, га.

Данный расход не учитывает продолжительность протока дождевых вод по трубам и каналам, т. е. коэффициент φ .

7. Определяется значение коэффициента φ . Для этого на первом участке задаются скоростью течения дождевого стока, которая принимается для дождевой сети не менее 0,8 м/с, и определяется продолжительность (мин) протока на участке по формуле

$$t_r = 0,017 \sum \frac{l}{v_p} p. \quad (4.35)$$

Для первого участка суммируются величины продолжительности протока и продолжительности поверхностной концентрации дождя, и по суммарному значению в минутах и значению коэффициента n по табл. П 4.5 [30] определяется значение коэффициента φ . Для каждого последующего участка продолжительность протока дождевых вод определяется путем суммирования продолжительностей протока на всех предыдущих участках.

8. Определяется действительный расчетный расход дождевых вод на участке по формуле

$$q_{cal} = \varphi \cdot Q_r. \quad (4.36)$$

9. По величине расчетного расхода на участке q_{cal} и уклона i , приблизительно равного уклону поверхности земли на участке, производится гидравлический расчет при полном наполнении сети. Расхождение между q_{cal} и пропускной способностью трубопровода q_p допускается в пределах 5–10 %.

10. Так как действительная скорость протекания дождевого стока, определенная по таблицам гидравлического расчета, отличается от ранее принятой скорости, то производится перерасчет действительного расчетного расхода по вышеприведенной методике. Гидравлический расчет производится в табличной форме. Определяется начальная глубина заложения сети в первой точке.

11. Производится построение продольного профиля расчетного коллектора, на котором показывается выпуск дождевого стока в реку.

9.3.8. Очистные сооружения на водосточных сетях.

Использование водоотводящих сетей для удаления снега

Основная масса загрязнений сточных вод, отводимых водосточными сетями, представлена взвешенными веществами и нефтепродуктами.

Так как по этим показателям доля водосточной сети в общей массе сбросов весьма значительна, становится очевидной необходимость очистки дождевых стоков перед их выпуском в водоем.

В настоящее время на водосточных сетях запроектированы, построены и эксплуатируются очистные сооружения, рассчитанные в основном на задержание взвешенных веществ и нефтепродуктов. Эти сооружения и технологически подразделяются на следующие основные типы:

- щитовые заграждения в акваториях рек на выпусках водосточных коллекторов;
- пруды-отстойники;
- сооружения камерного типа с фильтрами доочистки;
- промышленные ливневые очистные сооружения с физико-химической очисткой и фильтрами доочистки.

Щитовые заграждения представляют собой полупогружную перегородку между оголовком дождевого коллектора и основным руслом реки (рис. 4.25).

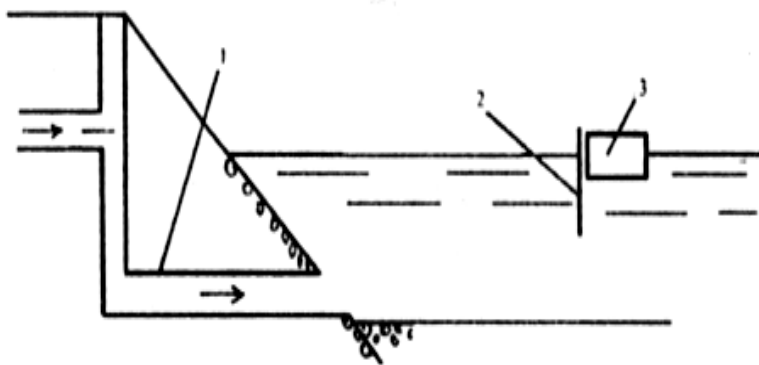


Рис. 4.25. Схема щитового заграждения:

- 1 – береговой выпуск дождевого коллектора;
2 – полупогружная перегородка; 3 – понтоны

Часть отгороженной речной акватории между оголовком коллектора и щитовым ограждением работает как отстойник-нефтеловушка и предотвращает попадание в речное русло аварийных и залповых сбросов. Удаление задержанных загрязнений производится периодически с использованием специальных плавсредств.

Пруды-отстойники представляют собой железобетонные открытые емкости, выполненные в виде горизонтальных отстойников с решетками для задержания мусора и маслосборниками (рис. 4.26).

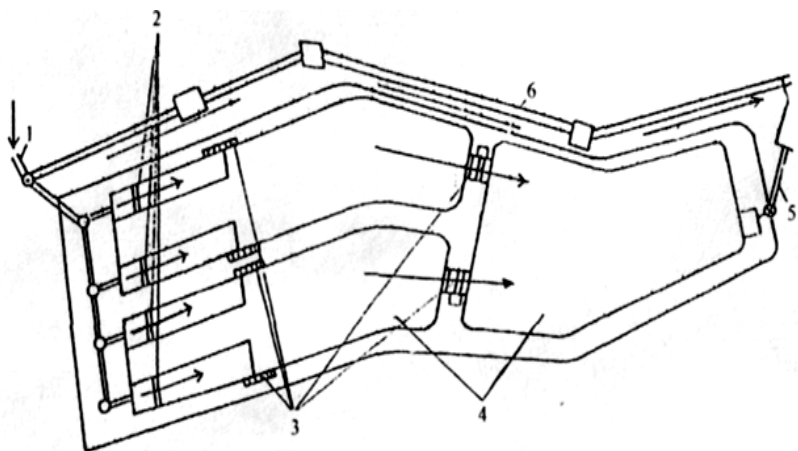


Рис. 4.26. Схема пруда-отстойника:
1 – вход воды; 2 – решетки; 3 – маслосборники; 4 – пруды-отстойники;
5 – выпуск осветленной воды; 6 – обводной коллектор

После прудов-отстойников возможно устройство искусственных или использование естественных водоемов для дополнительной очистки осветленной в отстойниках воды. В этой схеме также применяется доочистка на фильтрах.

Выпавший осадок периодически удаляется из прудов-отстойников экскаваторами.

Сооружения камерного типа технологически аналогичны описанным выше прудам-отстойникам (рис. 4.27). Конструктивно они

отличаются от прудов-отстойников лишь наличием верхнего покрытия, предохраняющего их от промерзания в зимний период.

На сооружениях очистки так называемого промышленного ливневого стока, принадлежащих МГУП «Промотходы», используется технологическая схема с физико-химической очисткой поступающей воды (рис. 4.28).

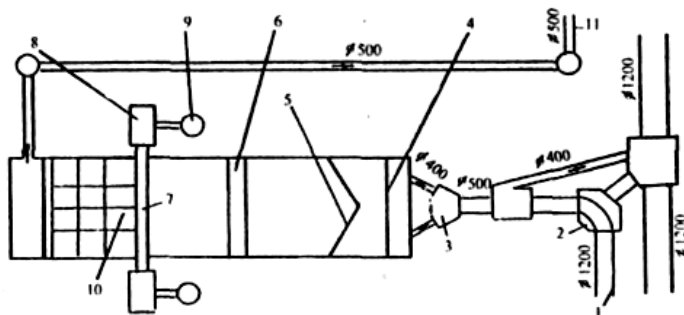


Рис. 4.27. Очистные сооружения камерного типа:
1 – подводный коллектор; 2 – разделительная камера; 3 – вход осветляемой воды; 4 – переливная стенка; 5 – решетка;
6 – плавающий понтон; 7 – сборник нефтепродуктов;
8 – нефтеразделительная камера; 9 – слив воды; 10 – фильтры доочистки; 11 – отвод очищенной воды

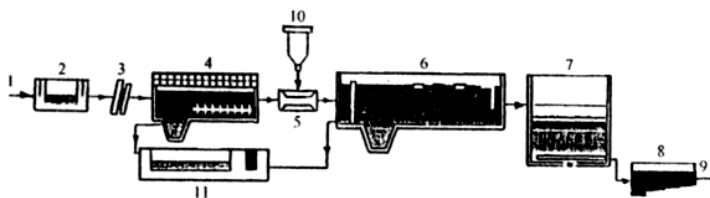


Рис. 4.28. Принципиальная схема очистки промышленного ливневого стока на МГУП «Промотходы»: 1 – поступающий на очистку сток; 2 – приемная камера; 3 – механизированные решетки; 4 – песколовки; 5 – смеситель; 6 – горизонтальные отстойники; 7 – мелкозернистые фильтры; 8 – резервуар чистой воды; 9 – сброс очищенного стока в водоприемник; 10 – реагентное хозяйство; 11 – бетонированные площадки для переработки нефтесодержащих осадков

В данной технологической схеме наряду с песколовками также используют регулирующие емкости, позволяющие усреднять пиковые ливневые расходы. В качестве реагента используют сернокислый алюминий. При квалифицированной эксплуатации промышленных ливневых очистных сооружений обеспечивается весьма высокое качество очистки воды по основным контролируемым параметрам.

Технологическая новизна в эксплуатации групповых промышленных ливневых очистных сооружений заключается в микробиологическом обезвреживании на бетонированных иловых площадках нефте-содержащих осадков из песколовков и отстойников по технологии «олеоворин», при которой обеспечивается деструкция нефтепродуктов до уровня, позволяющего впоследствии размещать эти осадки на полигонах твердых бытовых отходов.

Получаемое качество промышленного ливневого стока, очищенного на групповых очистных сооружениях, позволяет повторно использовать его для заправки поливомоечных машин.

Накопленный опыт эксплуатации различных типов очистных сооружений на водосточных сетях позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее дешевые по стоимости и простые по конструкции щитовые заграждения достаточно эффективны и обеспечивают удовлетворительную защиту водоемов от аварийных и залповых несанкционированных сбросов загрязнений;
- пруды-отстойники и сооружения камерного типа при аналогичной эффективности значительно более капиталоемки и целесообразность их широкого размещения вызывает сомнения;
- наиболее эффективными являются групповые сооружения очистки промышленного ливневого стока с повторным использованием очищенной воды.

В последние годы особую актуальность приобрела проблема уборки и удаления снега с городских улиц и проездов. Из-за значительной загрязненности снега, выпадающего на городских территориях, сброс его в городские водоемы запрещен по экологическим требованиям. Вывоз снега за пределы города на специально подготовленные полигоны экологически неприемлем.

Фоновым загрязнением снега являются пылевые загрязнения, неравномерно осаждающиеся в зависимости от уровня загрязненности атмосферы и направления господствующих ветров. Осевшие частицы

пыли во время оттепелей и весеннего снеготаяния смываются в водные объекты. Величина пылевого загрязнения является умеренной и не слишком загрязняет почву и воды.

Локальные загрязнения снега связаны с накоплением загрязняющих веществ при несвоевременной уборке мусора в местах его интенсивного образования (рынки и т. д.). Весной эти скопления медленно тают, интенсивно загрязняя почву и воду на локально ограниченных участках.

Наиболее значительными и опасными являются загрязнения снега на дорогах, где, как показывают измерения, снег загрязняется противогололедными реагентами и особенно сильно имеющими высокую токсичность нефтепродуктами. Именно эти загрязнения оказывают дестабилизирующее влияние на водные экосистемы, делая их опасными для человека.

Сильное влияние загрязнений убираемого с дорог снега на экологическую обстановку связано с огромными площадями дорог в территориальном балансе города. Загрязнение снега нефтепродуктами вызывается интенсивным движением транспорта и морозным выветриванием асфальтовых покрытий при воздействии противогололедных смесей и отсутствии постоянного снежного покрова (большое количество ежегодных циклов замораживания и оттаивания, намного превышающее морозостойкость покрытия).

Продукты выветривания асфальта осаждаются на дне водотоков и водоемов, вызывая отравление токсикантами всей трофической цепи экосистемы.

Снижение загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами до уровня требований санитарных норм по воде предусматривает уменьшение уровня концентрации нефтепродуктов в стекающей с территории города воде примерно втрое (до 0,3 мг/л).

В этой связи экономически наиболее приемлемым вариантом решения этой проблемы является использование транспортирующей способности самотечных канализационных коллекторов, которое возможно по следующим направлениям: зимнее депонирование снега на «сухих» снегосвалках; сброс снега в снегосплавные камеры с последующим отводом талой воды в канализационную сеть.

Размещение «сухих» снегосвалок возможно на свободных или резервных городских территориях. «Сухая» снегосвалка располагается на железобетонном водонепроницаемом основании (рис. 4.29).

При весеннем таянии накопившегося за зимний период снега талая вода по сборному каналу отводится на очистные сооружения,

возможная схема которых также приведена на рис. 4.29. После локальной очистки талые воды сбрасываются в городскую водоотводящую сеть и поступают на городские очистные сооружения.

С экологической точки зрения данная схема удаления снега наиболее предпочтительна (вариант полураздельной системы водоотведения), однако ее реализация обусловлена наличием достаточного количества свободных городских территорий для размещения «сухих» снегосвалок.

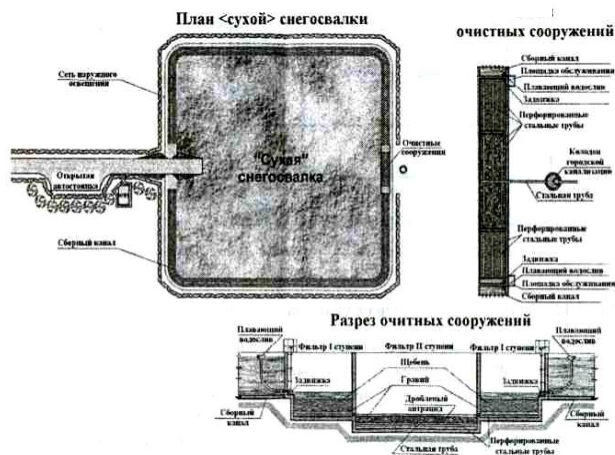


Рис. 4.29 «Сухая» снеговалка:
а – план «сухой» снеговалки; б – план очистных сооружений;
в – разрез очистных сооружений

Для размещения снегосплавных камер на канализационных сетях требуется значительно меньшая свободная городская территория; одно из возможных конструктивных решений таких камер приведено на рис. 4.30.

Разработанная конструкция снегосплавной камеры предусматривает растапливание сточной воды сбрасываемого снега в течение всего зимнего периода уборки и вывоза снега, а выделенные из снега мусор и песок предусматривается улавливать в специальных отделениях. Отвод

талой воды осуществляется через водоотводящую сеть города на очистные сооружения.

Наиболее приемлемым решением проблемы удаления снега, вывозимого с убираемых городских территорий, является сочетание «сухих» снегосвалок и снегосплавных камер, размещаемых с учетом наличия свободных территорий, а также диаметров и трасс городских канализационных коллекторов, способных обеспечивать растаивание снега и отвод талой воды.

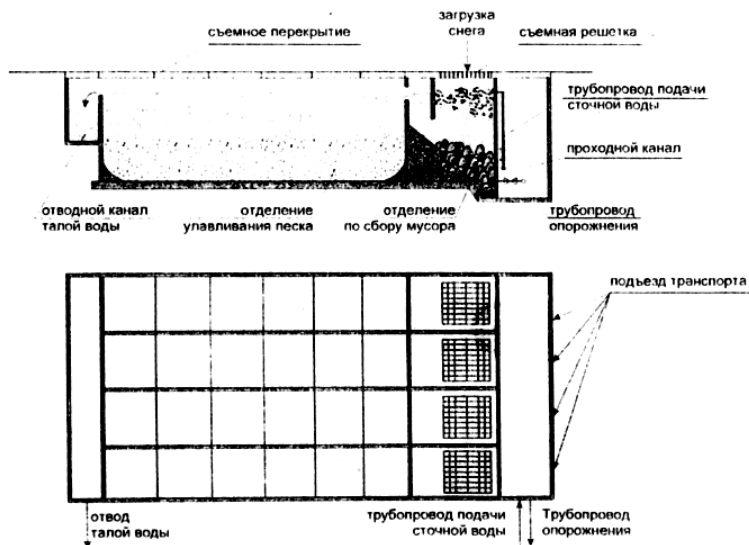


Рис. 4.30. Снегосплавная камера с улавливанием песка и крупных включений

9.3.9. Особенности конструирования водосточных сетей

Водосточные сети прокладывают, как правило, во вторую очередь, когда водопроводные и канализационные сети уже построены, и их расположение принимается во внимание при трассировании водостоков. Водосточные коллекторы прокладывают обычно вдоль оси улиц, с подключением к нимждеприемников, располагаемых вдоль бордюрного камня в месте сопряжения дорожного полотна и тротуара.

Дождеприемники представляют собой камеры, перекрытые чугунными решетками на уровне покрытия дороги (рис. 4.31).

В плане дождеприемники могут быть круглыми диаметром 700 или 1000 мм и прямоугольными размером 600 × 900 мм. Они выполняются из кирпича, бетона или железобетона. Вода из дождеприемника по соединительной ветке отводится в водосток. Соединительные ветки располагают ниже глубины промерзания.

В зарубежной практике используют дождеприемники, решетка которых жестко связана с несущим дорожным покрытием, что позволяет работать им совместно при зимних деформациях земляного полотна и не разрушать его при оттаивании. Использование пластмассовых камер, а также соединительных веток и коллекторов из пластмассовых труб существенно снижает стоимость строительства водосточных сетей.

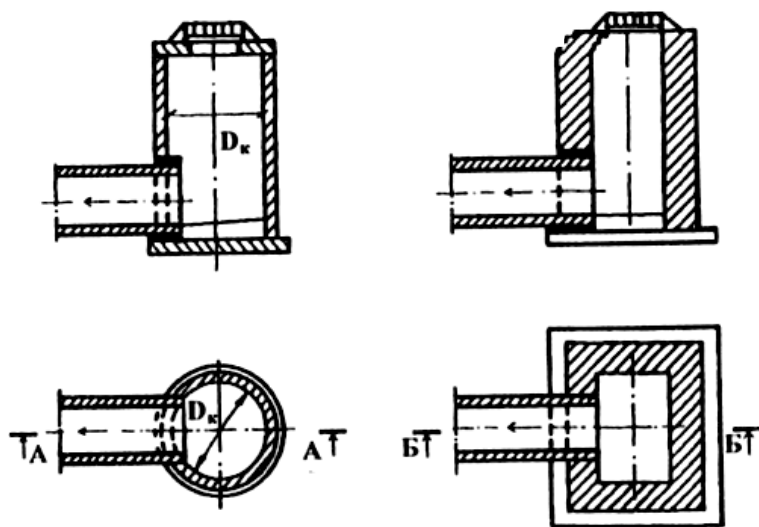


Рис. 4.31. Дождеприемники:
а – круглые железобетонные; б – прямоугольные кирпичные

Дождеприемники следует устанавливать:

- на затяжных участках спусков через определенные расстояния, определяемые расчетом, исходя из максимальной ширины потока в лотке перед решеткой, равной 1 м;
- на перекрестках и пешеходных переходах со стороны притока поверхностных вод;

- в пониженных местах при пилообразном профиле лотков улиц;
- в пониженных местах площадей, дворовых и парковых территорий, площадок парковки автомобилей.

В последнее время, особенно в практике строительства элитного жилья, проектируют внутриквартальные водосточные сети, которые позволяют непосредственно подключить к ним выпуски стояков внутренних водостоков. Это позволяет избежать образования дополнительных наледей на проезжей части улиц и проездов в зимний период.

10. ПЕРЕКАЧКА СТОЧНЫХ ВОД

10.1. Типы и схемы насосных станций для перекачки сточных вод

Насосные станции систем водоотведения – это комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий отведение сточных вод в соответствии с нуждами потребителя. Насосные станции обеспечивают подачу сточных вод на очистные сооружения, если рельеф местности не позволяет отводить эти воды самотеком. Строительство насосных станций позволяет также избежать большого заглубления самотечных коллекторов.

Тип насосной станции водоотведения определяется: глубиной заложения подводящего коллектора; объемом сточных вод, поступающих на насосную станцию; видом перекачиваемой сточной жидкости;

гидрогеологическими условиями строительства; типом устанавливаемых насосных агрегатов и способом их управления.

По роду перекачиваемой жидкости насосные станции водоотведения делятся на четыре группы: для перекачивания бытовых сточных вод, производственных сточных вод, атмосферных вод и осадков, образующихся на очистных сооружениях.

К насосным станциям, перекачивающим производственные стоки, предъявляется ряд требований, учитывающих агрессивность сточной жидкости по отношению к бетону, чугуну, стали. Также необходимо применять специальные насосы и устройства для периодической промывки установок чистой водой.

Насосные станции для перекачки атмосферных вод сооружают на сетях в тех случаях, когда отсутствует возможность их транспортировки

самотеком к месту сброса.

Насосные станции для транспортировки осадков находятся в едином комплексе сооружений очистки сточной жидкости и обработки осадков. Они служат для перекачки сброшенного осадка и активного ила на сооружения для дальнейшей их обработки.

В зависимости от места расположения в общей схеме водоотведения города и выполняемых функций станции могут быть:

- локальные – предназначены для транспортировки сточных вод от отдельно стоящих зданий, административно-хозяйственных помещений, домов индивидуальной застройки и т. п. в самотечные коллекторы;

- районные – осуществляют транспортировку сточных вод от жилых микрорайонов из лежащих ниже коллекторов в лежащие выше;

- главные – перекачивают сточную жидкость, отводимую со всей территории города на очистные сооружения.

В настоящее время при возведении насосных станций для перекачки сточных вод предусматривается строительство в едином комплексе с насосной станцией аварийно-регулирующих или аварийных резервуаров, предназначенных:

- для сглаживания неравномерности притока сточных вод;
- обеспечения надежной работы систем водоотведения в аварийных ситуациях (отключение энергоснабжения насосных станций или создавшаяся аварийная обстановка на насосной станции и др.).

Состав оборудования, его конструктивные особенности, тип, количество основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из объема сточных вод, поступающих на насосные станции.

Схемы и конструкции насосных станций зависят:

- от гидрогеологических условий и глубины заложения станций, их пропускной способности;

- состава и свойств перекачиваемой жидкости;

- типа и числа устанавливаемого оборудования;

- особенностей расположения насосных агрегатов по отношению к уровню жидкости в резервуаре (под заливом или нет);

- системы управления агрегатов и др.

Насосные станции, как правило, располагаются в пониженных местах, имеют глубокое заложение, даже ниже уровня подземных вод. В этом случае целесообразно применение насосных станций шахтного типа, имеющих круглую в плане форму (рис. 5.1, а, б). Применение опускного способа строительства позволяет преодолевать трудности

возведения сооружений, обусловленные сложными гидрогеологическими условиями и большой глубиной заложения. Круглая форма целесообразна и в конструктивном отношении.

При устройстве насосных станций, предназначенных для перекачки сточных вод, содержащих пожаро- и взрывоопасные вещества, приемные резервуары отделяют от машинного отделения (рис. 5.1, в). При этом появляется возможность уменьшения заглубления машинного отделения и строительства его с меньшим заложением, чем приемный резервуар. При этом приемный резервуар может возводиться опускным способом, а машинное отделение – открытым способом. Положение оси насоса и разницы отметок заложения резервуара и машинного отделения определяют расчетом с учетом высоты всасывания насосов.

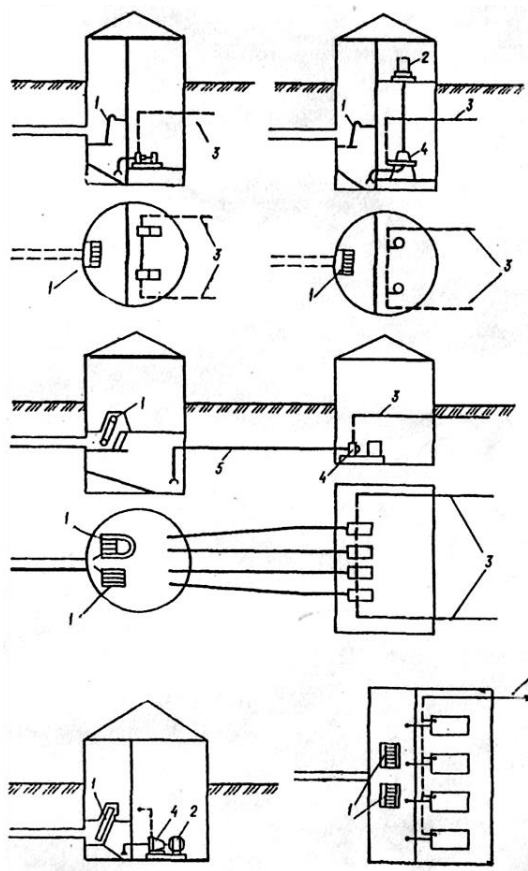


Рис. 5.1. Схемы насосных станций:
а, б – шахтного типа соответственно с горизонтальными и вертикальными насосами; *в* – с отдельно стоящим приемным резервуаром; *г* – прямоугольная в плане;
 1 – решетки; 2 – электродвигатели; 3 – напорные трубопроводы; 4 – насосы; 5 – всасывающий трубопровод

Значительно упрощается схема и конструкция насосной станции, если она имеет небольшую глубину и возводится в сухих легких грунтах. Она может иметь прямоугольную форму, а резервуар совмещаться с машинным отделением (рис. 5.1, *г*). В скальных грунтах

насосная станция может быть выполнена по схеме, представленной на рис. 5.1, 2, а основание – с уступом (машинное отделение с меньшим заложением, чем резервуар).

Многообразие условий проектирования обуславливает применение разнообразных схем и конструкций насосных станций. Рассмотренными выше схемами станций не исчерпываются возможные их варианты. В зависимости от условий проектирования могут быть применены различные комбинации из описанных выше схем.

Насосные агрегаты и другое оборудование следует размещать таким образом, чтобы к ним был удобный подход для обслуживания. Целесообразна схема расположения насосных агрегатов в один ряд и с установкой их перпендикулярно стене, отделяющей машинный зал от приемного резервуара.

Размер насосных станций следует определять исходя из габаритов оборудования и величины проходов между ним, а также состава вспомогательных и бытовых помещений в соответствии с рекомендациями ТКП.

Подземная часть насосных станций выполняется из бетона или железобетона, а наземная – из кирпича. Для перекачки различных расходов разработаны типовые проекты насосных станций с различным заглублением подводящих трубопроводов.

10.2. Расчет и проектирование насосных станций

Расположение насосных станций. Отвести воду к очистным сооружениям и обеспечить ее подачу на требуемую высоту или выпуск в водоем самотечными трубопроводами удастся сравнительно редко. Для этого возникает необходимость в перекачке сточных вод насосными станциями, которые по напорным трубопроводам транспортируют воду в заданные места и на требуемые высоты. Число насосных станций, места их расположения и параметры работы устанавливаются при разработке схем водоотведения, выполнении гидравлического расчета трубопроводов и построении их продольных профилей.

Определенные конкретные условия проектирования обычно допускают многообразие решений схем водоотведения, удовлетворяющих техническим и санитарным требованиям. Возможны решения с разным числом насосных станций и различным расположением их в схеме

водоотведения, однако эти решения не будут однозначны в экономическом отношении. Выбор числа и мест расположения насосных станций производят одновременно с выбором схем водоотведения и на основании экономического сравнения нескольких вариантов схем. Экономическое сравнение вариантов производят по приведенным затратам на стадии выполнения технического проекта.

Эти схемы разрабатывают на основании подробного анализа условий проектирования. Хотя расчет сети на этом этапе проектирования еще невозможен, разработка должна производиться с учетом экономических, экологических и санитарно-технических требований. Предварительный экономический анализ схем может производиться по соотношению укрупненных объемов строительных работ (соотношению длин и диаметров самотечных и напорных трубопроводов, глубин заложения самотечных трубопроводов или объемов земляных работ, числа и глубин подземных частей насосных станций и др.) и основных параметров работы насосных станций (перекачиваемых расходов воды, создаваемых напоров и др.).

Для открытого способа производства работ глубина заложения труб не должна превышать: в легких сухих грунтах – 7,5–8,0 м; при наличии подземных вод – 5,5–6,0 м; в скальных грунтах – 5,0 м, потому что при сооружении трубопроводов на больших глубинах возникают трудности и резко возрастает стоимость строительства.

На рис. 5.2 представлены два варианта расположения насосной станции в схеме водоотведения города. При равной производительности насосных станций и практически одинаковых напорах преимущество одного из приведенных вариантов будет зависеть в основном от соотношения капитальных вложений. Необходимо иметь в виду, что второй вариант будет уступать первому по надежности вследствие большой протяженности напорных трубопроводов.

Опыт проектирования показывает, что лучшими экономическими показателями отличаются схемы с районными насосными станциями (РНС), расположенными в начальной части коллекторов. Это объясняется малой мощностью РНС и существенным снижением заглубления главных коллекторов и главной насосной станции (ГНС), обычно диктуемым начальными участками сети, имеющими большие уклоны.

Насосные станции и напорные трубопроводы достаточно часто выходят из строя, что требует значительных затрат на ремонт. Лишь

сравнительно высокий резерв оборудования, принимаемый при проектировании, позволяет обеспечивать бесперебойность работы систем водоотведения. В настоящее время еще не разработаны обоснованные показатели надежности работы насосных станций и невозможна оценка систем водоотведения с учетом надежности их работы. Однако, основываясь на предшествующем опыте, при проектировании сравнительно часто отдают предпочтение схемам с меньшим числом насосных станций, которые обладают повышенной надежностью. Опыт эксплуатации показывает, что достаточно трудно выработать конкретные рекомендации по выбору числа насосных станций и определению мест их расположения.

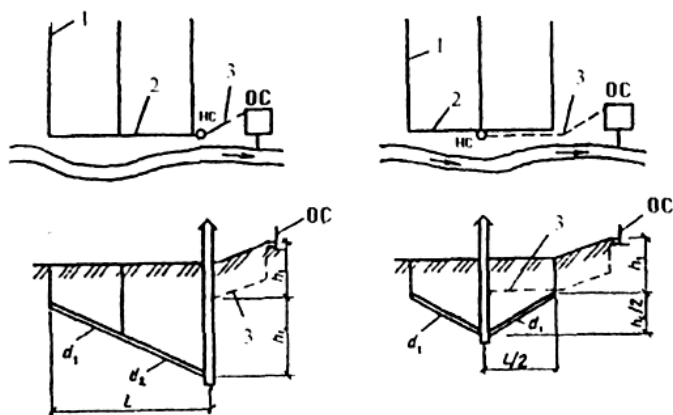


Рис. 5.2. Схемы водоотведения города с одной насосной станцией (а, в) и продольные профили главных коллекторов (б, г):
1 – коллекторы; 2 – главные коллекторы; 3 – напорные трубопроводы

При выборе места расположения насосных станций и их числа необходимо учитывать характеристики выпускаемых промышленностью насосов. Окончательно место расположения насосных станций должно уточняться с учетом гидрогеологических условий и планировки кварталов, очередности строительства системы водоотведения, размещения подводящих самотечных трубопроводов, аварийных выпусков, напорных трубопроводов и других соображений.

Насосные станции надлежит располагать в отдельно стоящих зданиях на расстоянии не менее 20 м от жилых домов и пищевых предприятий при их производительности до 50 тыс. м³/сут и не менее 30 м при большей производительности. По периметру территории насосных станций необходимо предусматривать защитные зеленые насаждения шириной не менее 10 м. Не следует располагать насосные станции на проездах и набережных.

Насосные станции для перекачки производственных сточных вод могут блокироваться с производственными корпусами, а также размещаться непосредственно в цехах предприятий.

Насосные станции следует располагать на незатопляемой территории. Отметка порога у входа в них должна быть не менее чем на 0,5 м выше самого высокого уровня воды в водоеме с учетом нагона волны. Все подводящие самотечные трубопроводы перед насосной станцией должны объединяться в один, так как в насосную станцию допускается ввод лишь одного трубопровода.

Перед насосными станциями целесообразно предусматривать аварийные выпуски, использование которых возможно лишь в чрезвычайных случаях. Задвижки на аварийных выпусках должны пломбироваться. Наличие аварийных выпусков позволяет значительно уменьшить последствия прекращения работы насосных станций (затопление территорий города и поступление сточных вод в водоемы, заполнение подводящих трубопроводов и резервуаров насосных станций осадком и др.) в результате сокращения сроков простоя насосных станций. На рис. 5.3 показан пример размещения насосной станции и трубопроводов различного назначения на территории квартала. Места расположения насосных станций и возможность устройства аварийных выпусков должны согласовываться со службами контроля качества воды и охраны рыбных ресурсов.

Для *расчета насосной станции* требуется знать расходы в отдельные часы суток и особенно максимальный, средний и минимальный расходы, а также геометрическую высоту подъема воды.

Расходы устанавливают по суммарной таблице притока всех видов сточных вод.

Геометрическая высота подъема воды равна разности отметок подачи и откачки:

$$H_{\text{nc}} = z_0 - z_{\text{nc}}, \quad (5.1)$$

где z_0 — отметка подачи сточных вод;

$Z_{ис}$ – отметка откачки уровня сточных вод.

За расчетную отметку откачки уровня сточных вод принимают: отметку среднего уровня воды в приемном резервуаре; отметку уровня воды в подводящем коллекторе при минимальном притоке, если насосная станция не имеет регулирующего резервуара, что характерно для крупных насосных станций.

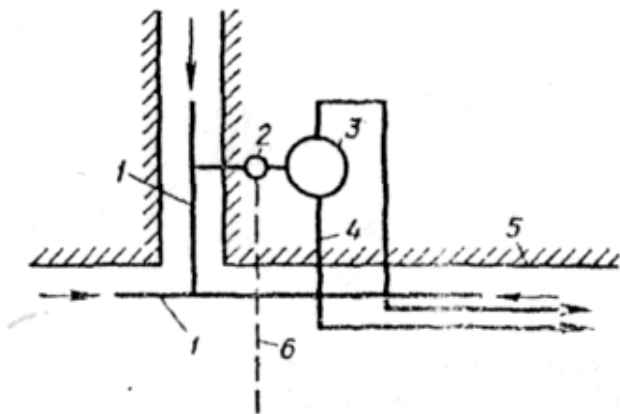


Рис. 5.3. Схема расположения насосной станции и трубопроводов:
1 – самотечные трубопроводы; 2 – камера; 3 – насосная станция;
4 – напорный трубопровод; 5 – красные линии (границы квадратов);
6 – аварийный выпуск в реку

За отметку подачи сточных вод принимают: отметку верха (шелыги) напорного трубопровода в точке присоединения, если напорный трубопровод присоединяется к приемному колодцу или отводящему самотечному трубопроводу выше горизонта воды в них; отметку максимального расчетного горизонта при подаче под уровень воды (при расположении верха напорного трубопровода ниже уровня воды); отметку верха трубопровода при прохождении им повышенного участка местности, имеющего отметку земли выше уровня воды в точке подачи.

Насосные станции могут подавать воду на очистные сооружения или перекачивать ее из бассейна в бассейн. Если насосная станция подает воду на очистную станцию, то в этом случае требуется определять отметку подачи воды. Очистные станции располагают в непосредственной близости к водоему. В процессе проектирования

специально определяют взаимное высотное расположение отдельных сооружений, чтобы течение воды от сооружения к сооружению происходило само-теком. Лишь в очень редких случаях в пределах очистных сооружений прибегают к перекачке сточных вод. Для обеспечения самотечного движения сточной воды по очистным сооружениям и выпуска ее в водоем предусматривается определенный расчетный перепад воды h_{oc} между первым (головным) очистным сооружением и высоким уровнем воды в водоеме, равным величине общих потерь напора в пределах очистных сооружений и выпуска воды в водоем. Очевидно, что величина этого перепада зависит от числа, состава и конструкции очистных сооружений и выпуска. Таким образом, отметка подачи сточных вод (рис. 5.4).

На основании опыта проектирования рекомендуется ориентировочно принимать значения величины перепада $h_{oc} = 7 - 8$ м, если биологическая очистка воды производится на биологических фильтрах, которые применяются при расходах воды до 20–30 тыс. м³/сут. Если биологическая очистка сточных вод производится на аэротенках, которые применяются при расходах более 20 тыс. м³/сут, то величина перепада может быть от 4 до 5 м. По расчетам может получаться, что отметка z_0 будет значительно превышать отметку поверхности земли в данном месте. Это будет указывать на то, что очистные сооружения должны быть расположены на насыпных грунтах.

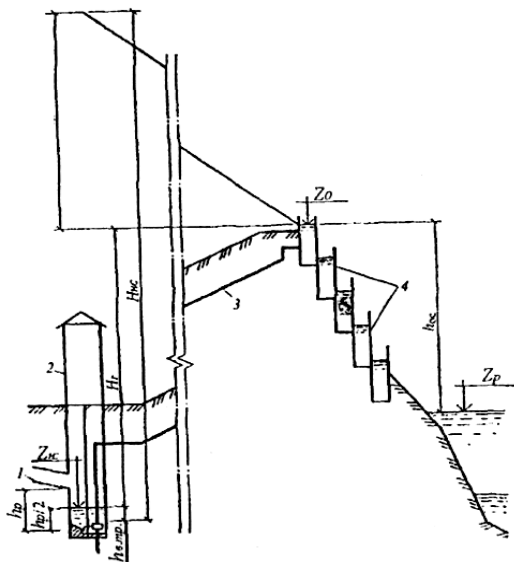


Рис. 5.4. Высотная схема расположения насосной станции и напорного трубопровода: 1 – самотечный подводящий трубопровод; 2 – насосная станция; 3 – напорный трубопровод; 4 – очистные сооружения

$$Z_0 = Z_p + h_{ос} , \quad (5.2)$$

где Z_p – верхний уровень воды, м;

$h_{ос}$ – величина перепада между очистными сооружениями, м.

Если насосная станция обеспечивает перекачку сточных вод из одного самотечного коллектора в другой, то уровень воды в самотечном трубопроводе в точке подачи воды и отметки подачи воды определяют по продольному профилю самотечного трубопровода.

Расчету насосной станции должно предшествовать определение диаметра напорных трубопроводов. Число напорных трубопроводов необходимо принимать не менее двух с устройством в случае необходимости между ними переключений. Скорость движения сточных вод следует принимать в напорных трубопроводах в пределах насосных станций от 1 до 2,5 м/с, а за пределами их 1,0–1,5 м/с; во всасывающих трубопроводах 0,7–1,5 м/с.

Расчет насосных станций производят в следующем порядке:

определение расчетного расхода; определение напора, который должна создавать насосная станция; подбор насосов по расходу и напору; построение характеристик (трафиков) совместной работы насосов и напорных

трубопроводов и определение рабочих точек.

Напор, который создает насосная станция, находится по формуле (см. рис. 5.4)

$$H_{nc} = H_{\Gamma} + h_{н.тр} + h_{р.тр}, \quad (5.3)$$

где $h_{н. тр}$ и $h_{в. тр}$ – потери напора соответственно в напорном и всасывающем трубопроводах, м.

Исследования показали, что особо следует определять потери напора в напорных трубопроводах, расположенных в пределах насосных станций. Вследствие более высоких скоростей движения воды в них и наличия большого числа местных сопротивлений потеря напора в них оказывается соизмеримой с потерями напора в напорном трубопроводе за пределами насосной станции, имеющем значительную длину.

Всасывающие трубопроводы представляют собой короткие трубы, в которых потери напора по длине и в местных сопротивлениях также соизмеримы между собой.

С учетом вышеизложенного

$$H_{nc} = H_{\Gamma} + h'_{н.тт} + h''_{н.тт} + h_{н.с}, \quad (5.4)$$

где $h'_{н.тр}$ и $h''_{н.тр}$ – потери напора в напорном трубопроводе, расположенном соответственно за пределами и внутри насосной станции, м.

Формулу (5.4) можно также записать в следующем виде:

$$H_{nc} = H_{\Gamma} + h_{н. тр} + h_{nc}, \quad (5.5)$$

где h_{nc} – потери напора во всех трубопроводах, расположенных в пределах насосной станции, м.

В результате математических преобразований формула (5.3) окончательно принимает следующий вид:

$$H_{nc} = H_{\Gamma} + iL + i_1 L_{н.тт} + \sum \frac{v_{н.тт}^3}{2g} + i_2 L_{в.тт} + \sum \frac{v_{в.тт}^3}{2g}, \quad (5.6)$$

где i – гидравлический уклон напорного трубопровода за пределами насосной станции длиной L ;

i_1 – гидравлический уклон напорного трубопровода в пределах насосной станции длиной $L_{н.тр}$;

i_2 – гидравлический уклон всасывающего трубопровода длиной $L_{в.тр}$;

$v_{н. тр}$ и $v_{в. тр}$ – скорости движения воды соответственно в напорном трубопроводе в пределах насосной станции и во всасывающем трубопроводе, м/с.

Напор, который должна создавать насосная станция, приблизительно можно определить и по формуле

$$H_{нс} = H_r + K \cdot i \cdot L, \quad (5.7)$$

где K – коэффициент, учитывающий потери напора в трубопроводах, расположенных в насосной станции, и равный 1,05–1,1.

Для вычисленных расхода и напора производят подбор насосов по каталогу. Общую подачу рабочих насосов выбирают из условия перекачки максимального расчетного притока сточных вод. Для станций средней и большой пропускной способности число и подачу насосов следует выбирать с учетом неравномерности притока сточных вод на станции (режим работы станции должен обеспечиваться с высоким КПД при максимальном, среднем и минимальном притоках).

Рекомендуется насосные станции общесплавной и полураздельной системы водоотведения проектировать с двумя группами насосов. Одна группа предназначена для перекачки бытовых и производственных сточных вод в сухую погоду, а другая используется для перекачки дождевых вод и включается в работу только во время дождя. Это объясняется большой разницей в расходе бытовых и производственных сточных вод и расходе дождевых вод.

10.3. Определение вместимости приемных резервуаров и особенности их устройства

Приемные резервуары насосных станций могут устраиваться как совмещенные в одном здании с машинным отделением, так и в отдельно стоящих друг от друга зданиях. Вместимость приемных резервуаров надлежит определять с учетом притока сточных вод, подачи насосов и принятого режима их работы. Вместимость приемных резервуаров насосных станций для перекачки бытовых сточных вод должна быть не менее 5-минутной максимальной подачи одного из насосов. При

крупных насосных станциях (пропускной способностью более 100 тыс. м³/сут) приемным резервуарам придают форму распределительного канала. Вместимость резервуаров определяется конструктивными соображениями – необходимой площадью и глубиной для размещения насосов, механических решеток и др.

Частое включение насосных агрегатов в работу усложняет эксплуатацию насосной станции и отрицательно влияет на работу электроаппаратуры управления насосами и системы электроснабжения. Поэтому частота включения насосных агрегатов в течение 1 ч допускается не более 3 раз при ручном управлении и не более 5 раз при автоматическом. Частота включения насосов зависит от вместимости приемного резервуара. Вместимость, вычисленная по 5-минутной максимальной подаче одного насоса, обычно рекомендуется проверять на соблюдение требований о числе включений насоса за 1 ч.

Вместимость приемного резервуара обычно рекомендуют определять путем построения интегрального графика притока и откачки сточных вод одним насосом в час минимального и среднего (50 % от максимального) притока сточных вод. На рис. 5.5 показан пример определения вместимости резервуара. Ломаная линия *III* откачки сточных вод с периодическим выключением насоса строится следующим образом. Приток воды за 1 ч, равный 350 м³, делят на пять частей (по 70 м³),

которые откладывают по оси ординат. Через полученные точки проводят пунктирные линии. Из точек их пересечения с прямой *I* притока воды проводят линии, параллельные линии *II* подачи насоса, до пересечения с ближайшей нижней пунктирной линией. Образовавшаяся ломаная линия *III* характеризует работу насоса с выключением его 5 раз за 1 ч. Горизонтальные участки ломаной линии характеризуют время простоя насоса, а наклонные – режим его работы. Наибольшая разность ординат между линиями *I* и *III* показывает требуемый минимальный объем резервуара для обеспечения пяти включений насоса за 1 ч. Он оказался равен 39 м³.

Пятиминутная подача насоса равна:

$$W_p = \frac{q_{\text{нас}} \cdot 5}{60}, \quad (5.8)$$

где $q_{\text{нас}}$ – подача насоса, равная 800 м³/ч.

$$W_p = \frac{800 \cdot 5}{60} = 66,7 \text{ м}^3.$$

Вместимость резервуара следует принять равной $66,7 \text{ м}^3$. Приведенный выше расчет показывает, что при принятой вместимости резервуара число включений за 1 ч будет меньше 5.

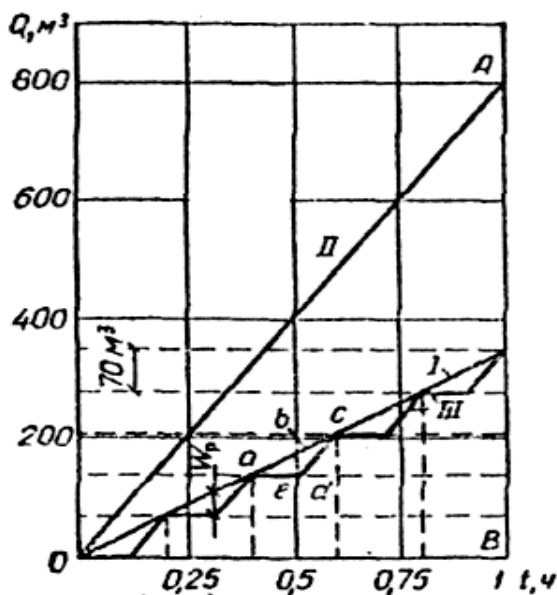


Рис. 5.5. Интегральный график притока и откачки воды насосной станцией: *I* – приток сточных вод; *II* – откачка воды одним насосом; *III* – то же, с периодическим его выключением

Вместимость резервуара и параметры работы насосов при включении могут быть определены и аналитически. Необходимые зависимости можно вывести из рис. 5.5. Отрезок ординаты *cd* представляет собой приток воды за время $1/n$ (между двумя остановками насоса – одного цикла стоянки и работы насоса), равный величине $q_{\text{пр}}/n$ (где $q_{\text{пр}}$ – приток воды за 1 ч, n – число включений за 1 ч). Отрезок абсциссы *ed* представляет собой время работы насоса, которое определяется из подобия треугольников *OAB* и *ecd*:

$$t_{\text{раб}} = \frac{q_{\text{пр}}}{n \cdot q_{\text{нас}}}. \quad (5.9)$$

Отрезок абсциссы представляет собой время остановки насоса

$$t_{\text{СТ}} = \frac{1}{n} - \frac{q_{\text{пр}}}{n \cdot q_{\text{нас}}} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left(1 - \frac{q_{\text{пр}}}{q_{\text{нас}}}\right). \quad (5.10)$$

Вместимость резервуара, равная объему притока воды за время остановки насоса, определяется по следующей зависимости:

$$W_p = t_{\text{СТ}} \cdot q_{\text{пр}} = \left(\frac{q_{\text{пр}}}{n}\right) \cdot \left(1 - \frac{q_{\text{пр}}}{q_{\text{нас}}}\right). \quad (5.11)$$

Для условий, представленных на графике:

$$t_{\text{раб}} = 350 / (5 \cdot 800) = 0,088 \text{ ч};$$

$$t_{\text{СТ}} = (1 / 5) \cdot (1 - 350 / 800) = 0,112 \text{ ч};$$

$$W_p = (350 / 5) \cdot (1 - 350 / 800) = 39 \text{ м}^3.$$

Вместимость получилась такая же, как и при графическом решении.

Проведем анализ расчетной зависимости (5.8), имеющей максимум.

Представим уравнение (5.11) в виде

$$W_p = \frac{q_{\text{пр}}}{n} - \frac{q_{\text{пр}}^2}{n q_{\text{нас}}}. \quad (5.12)$$

Для установления условий, при которых зависимость имеет максимум, найдем первую производную и приравняем ее к нулю. В итоге получим:

$$\begin{aligned} \frac{dW_p}{dq_{\text{пр}}} &= \frac{1}{n} - \frac{2q_{\text{пр}}}{n q_{\text{нас}}} = 0; \\ \frac{q_{\text{пр}}}{q_{\text{нас}}} &= 0,5. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Следовательно, при соотношении (5.13) вместимость резервуара

получается максимальной. Формула для определения максимальной вместимости резервуара следует из уравнения (5.12) с учетом соотношения (5.13):

$$W_{p.\max} = \left(\frac{q_{\text{нас}}}{2n} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \right),$$

или

$$W_{p.\max} = 0,25 \frac{q_{\text{нас}}}{n}. \quad (5.14)$$

Именно по формуле (5.14) следует определять вместимость резервуара из условий обеспечения регламентируемого числа включений n .

Уравнение для определения вместимости резервуара по максимальной подаче одного насоса за определенное время t (мин) имеет вид

$$W_p = tq_{\text{нас}} / 60. \quad (5.15)$$

Из сравнения зависимостей (5.13) и (5.14) следует, что

$$t = 15 / n. \quad (5.16)$$

По формуле (5.16) определяется время, которое необходимо принимать при расчете вместимости резервуара по формуле (5.15), чтобы соблюдались требования о регламентируемом числе включений n . При $n = 3$, $t = 5$ мин; при $n = 5$, $t = 3$ мин. Полученные результаты подтверждают обоснованность рекомендаций ТКП об определении вместимости резервуара.

Графический анализ еще полнее раскрывает особенности уравнения (5.12). Разделив левую и правую части уравнения на $q_{\text{нас}}$, получим

$$\frac{W_p}{q_{\text{нас}}} = \left(\frac{q_{\text{пр}}}{nq_{\text{нас}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{q_{\text{пр}}}{q_{\text{нас}}} \right). \quad (5.17)$$

Приемные резервуары насосных станций полураздельных и общесплавных систем водоотведения выполняют с переливным устройством и разделительной стенкой на два отделения (одно – для стока в сухую погоду, другое – во время дождя); возможна установка

двух самостоятельных резервуаров. Вместимость приемных резервуаров или их отделений для притока в сухую погоду определяется так же, как и вместимость резервуаров насосных станций для перекачки бытовых сточных вод полной раздельной системы водоотведения.

Вместимость приемных резервуаров насосных станций дождевой сети рассчитывается так же, как вместимость регулирующего резервуара. Вместимость приемных резервуаров насосных станций дождевой сети полураздельно и общесплавной систем водоотведения должна быть не меньше объема воды, поступающей за время, необходимое для запуска насоса с наибольшей подачей.

В приемных резервуарах насосных станций возможно выпадение осадка. Этим и определяются особенности их устройства. Дно приемных резервуаров в насосных станциях бытовых сетей полных раздельных систем водоотведения должно иметь уклон к приямкам не менее 0,1. По периметру наружных стен резервуаров рекомендуется прокладывать трубопроводы, снабженные патрубками и присоединенные к напорному трубопроводу. С их помощью можно взмучивать и смывать осадок к приямкам. Кроме того, в помещении над резервуаром (помещении решеток) следует устанавливать поливочные краны, оборудованные шлангами с брандспойтами, которые также служат для взмучивания и смыва осадка в резервуарах. Одной из эффективных мер удаления осадка из резервуаров является обеспечение режима работы насосной станции с периодическим полным опорожнением резервуара.

10.4. Напорные трубопроводы и аварийные выпуски

Число напорных трубопроводов от насосных станций следует принимать не менее двух с устройством в случае необходимости между ними переключений. Лишь при специальном обосновании допускается прокладка одного трубопровода. Напорные трубопроводы, как правило, должны выполняться из неметаллических труб (асбестоцементных, железобетонных, пластмассовых), внутри насосных станций – из стальных труб.

В высоких точках перегиба трубопровода необходимо устанавливать вантузы для выпуска и впуска воздуха, а в низких точках – выпуски для опорожнения трубопроводов при ремонтах и периодического сброса осадка. При повороте труб в горизонтальной и вертикальной плоскостях на угол более 10° следует устраивать упоры,

конструкция и размеры которых должны определяться расчетом. Арматуру напорных трубопроводов надлежит располагать в колодцах или камерах.

Для предупреждения затопления помещения решеток в аварийных случаях на самотечных трубопроводах в колодце перед насосной станцией устанавливают затвор (здвижку), а для сброса воды в водоем устраивают аварийный выпуск. В начале аварийного выпуска в колодце устанавливают задвижку. Приводы затвора на самотечном трубопроводе и задвижки аварийного выпуска должны механизироваться, а управление ими должно осуществляться с поверхности земли.

Задвижка аварийного выпуска должна быть опломбирована.

Устье (начало) аварийного выпуска следует располагать выше отметки высоких вод в водоеме для обеспечения спуска воды даже в период паводка. Оно обычно выполняется в виде берегового оголовка, но можно выносить его и на некоторое расстояние от берега. Отметка устья аварийного выпуска должна быть ниже меженного горизонта воды.

К использованию аварийных выпусков можно прибегать лишь в исключительных случаях. Их устройство должно согласовываться с органами санитарно-эпидемиологической службы, службы охраны рыбных запасов, а также регулирования использования и охраны вод.

Перспективным направлением развития систем водоотведения городов, поселков городского типа и крупных предприятий является практическая реализация идеи «зарегулирования стока» с целью уменьшения коэффициента неравномерности притока сточных вод на очистные сооружения.

Известно, что в общем случае коэффициент неравномерности K , определяемый как отношение максимальной за год величины расхода к средней, имеет две составляющие: коэффициент суточной неравномерности K_1 и коэффициент часовой неравномерности K_2 :

$$K = K_1 \cdot K_2. \quad (5.18)$$

Коэффициент общей неравномерности определяется в соответствии с ТКП 45-4.01-54-2012. Значения часового коэффициента неравномерности изменяются в пределах от 1,20 до 1,35 в зависимости от производительности системы.

10.5. Аварийно-регулирующие резервуары

В 90 – х г. XX ст. был построен и введен в эксплуатацию новый тип водоотводящего сооружения – аварийно-регулирующий резервуар (АРР), предназначенный для приема бытовых и производственных сточных вод при авариях, отказах на сооружениях и в часы пик. Использование регулирующих емкостей достаточного объема в составе водоотводящих систем (ВС) позволяет уменьшить значение K_1 за счет снижения численного значения K_2 до 1.

Наличие регулирующей емкости в составе сооружений водоотводящих систем качественно меняет тип ВС, так как после створа регулирования, т. е. для последующих элементов ВС, расчетный расход может быть уменьшен на величину K_2 . Становится возможным обеспечить для любых суток равномерный режим загрузки; значительно увеличивается резерв пропускной способности в створе регулирования и для всей последующей цепочки коммуникаций и сооружений. Особенно эффективно использование АРР в составе действующих ВС, так как увеличивается коэффициент использования существующих основных фондов ВС.

При необходимости увеличения пропускной способности существующих основных сооружений ВС использование традиционных способов, таких как строительство каналов, насосных станций (НС), водоводов, очистных сооружений, требует в некоторых случаях 5–10-кратно больших затрат, чем строительство АРР.

На рис. 5.6 представлена принципиальная схема расположения АРР относительно насосной станции. Создание нового структурного элемента водоотводящей системы «НС и АРР» позволяет осуществлять прием сточных вод в часы пик в АРР от напорных водоводов НС и последующее самотечное опорожнение АРР в ночное время или в то время, когда это возможно.

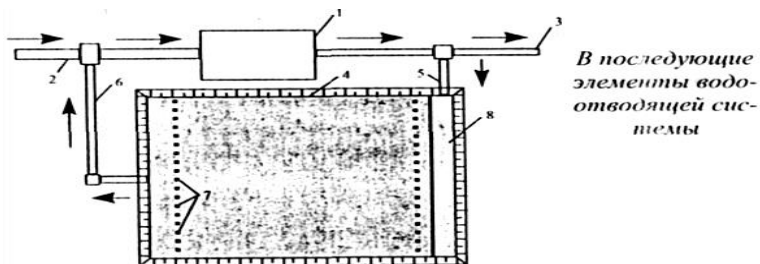


Рис. 5.6. Схема расположения АРР относительно НС:

- 1 – насосная станция перекачки сточных вод; 2 – подводящий канал к НС;
3 – напорный водовод от НС; 4 – регулирующая емкость АРР; 5 – труба,
соединяющая напорный водовод от НС с АРР; 6 – труба, соединяющая АРР
с подводящим каналом НС; 7 – фильтры-поглотители для газовоздушной смеси;
8 – галерея задвижек АРР

Качественное отличие регулируемой ВС от нерегулируемой ВС состоит в том, что НС без АРР осуществляет подачу сточных вод в последующие элементы ВС в соответствии с режимом поступления сточных вод на НС. При наличии регулируемого привода на одном-двух насосах НС рабочая точка перемещается по кривой $H(q)$ водоводов в пределах $[q_{\min}; q_{\max}]$. При рассредоточенной системе подачи сточных вод в АРР, обеспечивающей изменения подачи с достаточно малым шагом, можно получить множество точек подачи НС. Это новое качество ВС позволяет в принципе при любом режиме поступления сточных вод на НС осуществлять любой режим подачи сточных вод в последующие после створа регулирования элементы ВС.

На рис. 5.7 представлена принципиальная высотная схема расположения АРР относительно подводящего канала НС, в соответствии с которой обеспечивается самотечное опорожнение АРР в подводящий канал НС. АРР располагают в непосредственной близости от насосной станции. Он представляет собой заглубленную, полузаглубленную железобетонную или металлическую емкость, прямоугольную или круглую в плане. Аварийно-регулирующий резервуар при закрытых люках и монтажных проемах герметичен и изолирован от окружающей среды. На перекрытии АРР располагаются фильтры-поглотители:

один на 1,5–3,0 тыс. м³ вместительности АРР. Сорбентом фильтра-поглотителя является активированный уголь. В процессе подачи сточных вод в АРР вытесняемая из АРР газовоздушная смесь проходит через фильтры-поглотители.

На основе инженерного решения «НС и АРР» приняты: рассредоточенная система подачи сточных вод в АРР через эжекторы с коническим насадком, расположенным под углом к горизонту, определяемым расчетом; лотковая часть днища АРР, имеющая уклон в сторону опорожнения, при котором обеспечивается самоочищающая скорость смыва осадка сточных вод.

Подача сточных вод в АРР от напорных водоводов НС осуществляется через эжекторы с коническим насадком, вследствие

чего происходит смешение стоков с воздухом в количестве 15–20 % от расхода воды и достигается равномерная гидравлическая нагрузка на любую секцию лотковой части днища за счет диспергирования струи, выбрасываемой из конического насадка. Наличие растворенного кислорода в сточной воде за время пребывания ее в АРР исключает процессы гниения и выделения из нее дурнопахнущих веществ. Скорость потребления растворенного в сточной воде кислорода следует принимать $3\text{--}5 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$. Интенсивное выделение из сточной воды сероводорода начинается при уменьшении содержания в ней растворенного кислорода до $0,1 \text{ г}/\text{м}^3$. Рассредоточенная система подачи сточных вод в АРР обеспечивает гибкость технологии в режимах подачи сточных вод в АРР, его опорожнения и организации смыва осадка из лотковой части днища АРР.

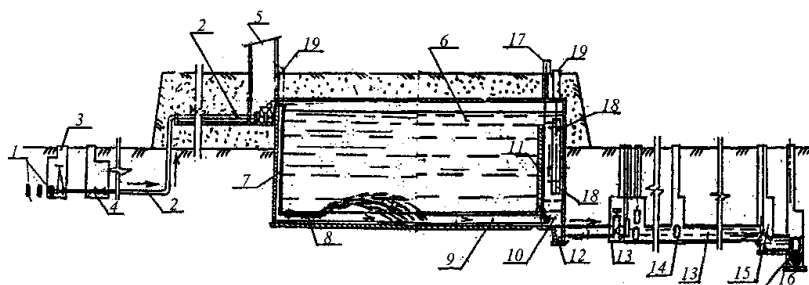


Рис. 5.7. Принципиальная высотная схема расположения АРР по отношению к подводящему каналу НС: 1 – напорные водоводы от НС; 2 – трубопровод, подающий воду галереей задвижек; 3 – колодезь с задвижками; 4 – колодезь с расходомером;

5 – галерея задвижек с регулируемыми устройствами; 6 – аварийно-регулирующий резервуар; 7 – подающая в АРР труба; 8 – эжектор с коническим насадком на подводящей к АРР трубе; 9 – лотковая часть днища АРР; 10 – водосборный канал; 11 – поперечная перегородка с водопропускным проемом; 12 – приемок опорожнения АРР; 13 – труба опорожнения АРР с запорно-регулирующими устройствами; 14 – канал опорожнения АРР с колодезьями на присоединении от смежных секций АРР; 15 – водоизмерительный пост на канале опорожнения АРР; 16 – колодезь; 17 – фильтр-поглоитель;

18 – переливная труба АРР; 19 – лазы в АРР

Основными расчетными параметрами водоотводящей системы, в состав которой входят НС и АРР, являются: приращение производительности ВС в створе регулирования и в последующих

после створа регулирования элементах ВС; величина требуемого регулирующего объема АРР; расчетные расходы для систем подачи и опорожнения АРР; диаметры коммуникаций систем подачи сточных вод в АРР и его самотечного опорожнения; диаметр и количество лотков в одной секции лотковой части днища АРР и уклон лотков в сторону опорожнения; параметры переливного устройства АРР; высотная схема АРР относительно подводящего канала НС; количество фильтров-поглотителей; количество и конструктивные размеры эжекторов с конической насадкой рассредоточенной системы подачи сточных вод в АРР; диаметры воздушных труб, через которые обеспечивается засасывание воздуха при подаче сточных вод в АРР через эжекторы с конической насадкой (обычно принимается 0,5 диаметра подающей в АРР трубы).

11. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

11.1. Общие технологические схемы очистки сточных вод

11.1.1. Состав и свойства сточных вод. Условия растворения и потребления кислорода

В водоотводящую сеть поступают загрязнения минерального, органического и бактериального происхождения. К *минеральным загрязнениям* относятся: песок, глинистые частицы, частицы руды, шлака, растворенные в воде соли, кислоты, щелочи и другие вещества. *Органические загрязнения* бывают растительного и животного происхождения. К загрязнениям растительного происхождения относятся: остатки растений, плодов, овощей и злаков, бумага, растительные масла, гуминовые вещества и др. Основным химическим элементом, входящим в состав этих загрязнений, – углерод. К загрязнениям животного происхождения относятся: физиологические выделения людей и животных, остатки тканей животных, органические кислоты и др. Основным химическим элементом этих загрязнений – азот. В бытовых водах содержится примерно 60 % загрязнений органического происхождения и 40 % – минерального. В производственных сточных водах это отношение может быть иным и изменяться в зависимости от вида обрабатываемого сырья и технологического процесса производства.

К *бактериальным загрязнениям* относятся живые микроорганизмы – дрожжевые и плесневые грибки и различные бактерии. В бытовых

сточных водах содержатся также болезнетворные бактерии (патогенные), возбудители заболеваний брюшного тифа, паратифа, дизентерии, сибирской язвы и др., а также яйца гельминтов (глистов), попадающие в сточные воды с выделениями людей и животных. Возбудители содержатся и в некоторых производственных сточных водах, например в сточных водах кожевенных заводов, фабрик первичной обработки шерсти и др.

Загрязнения в сточных водах по своему физическому состоянию могут быть в нерастворенном, коллоидном и растворенном виде. Нерастворенные вещества находятся в сточных водах в виде грубой суспензии с размером частиц более 100 мкм и в виде тонкой суспензии (эмульсии) с размером частиц 100–0,1 мкм. Исследованиями установлено, что в бытовых сточных водах количество нерастворенных взвешенных веществ более или менее постоянно и равно 65 г/сут на одного человека, пользующегося системой водоотведения из них 40 г могут осаждаться при отстаивании.

Зная норму водоотведения на одного человека и количество загрязнений, приходящихся на одного человека в сутки, можно определить содержание их в единице объема сточных вод, т. е. их концентрацию:

$$p = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \quad (6.1)$$

где p – концентрация загрязнений, мг/л;

a – количество загрязнений от одного человека, л/сут;

q_n – норма водоотведения, г/сут.

Состав и количество производственных сточных вод на каждом предприятии различаются. Даже предприятия одного типа, например кожевенные заводы, в зависимости от характера технологического процесса могут сбрасывать сточные воды различного состава и в разных количествах. Некоторые производственные сточные воды содержат загрязнений не больше, чем бытовые, а другие – значительно больше.

Производственные сточные воды делятся на условночистые и загрязненные. *Условночистые воды* – чаще всего те, которые использовались для охлаждения; они почти не загрязняются, а только нагреваются. *Загрязненные производственные воды* делятся на группы, содержащие определенные загрязнения: а) преимущественно минеральные; б) преимущественно органические; в) органические

ядовитые вещества.

Производственные сточные воды в зависимости от концентрации загрязнений могут быть высококонцентрированными и слабоконцентрированными. В зависимости от активной реакции среды производственные воды по степени агрессивности делятся на малоагрессивные воды слабокислые с рН 6 – 6,6 и слабощелочные с рН 8 – 9 и сильноагрессивные (сильнокислые с рН < 6 и сильнощелочные с рН > 9).

Атмосферные воды могут быть сильно загрязнены веществами, смываемыми с территории предприятия. В этом случае они должны очищаться, как и производственные сточные воды.

В современных городах сточные воды промышленных предприятий поступают в городскую бытовую водоотводящую сеть, поэтому в городах обычно имеются смешанные воды, т. е. городские воды, количество загрязнений в которых сильно колеблется. Концентрацию смеси

($p_{см}, г/м^3$) в бытовых и производственных сточных водах, поступающих в городскую водоотводящую сеть, определяют по уравнению

$$p_{см} = \frac{p_6 Q_6 + \sum p_{пр} Q_{пр}}{Q_6 + \sum Q_{пр}}, \quad (6.2)$$

где p_6 – концентрация загрязнений в бытовых сточных водах, г/м³;

Q_6 – расход бытовых сточных вод, м³/сут;

$p_{пр}$ – концентрация загрязнений в производственных сточных водах отдельных предприятий, г/м³;

$Q_{пр}$ – расход производственных сточных вод, м³/сут.

Для бытовых сточных вод количество химических веществ, вносимых с загрязнениями от человека, остается более или менее постоянным. Так, на одного человека в сутки приходится: азота аммонийных солей – 8 г, хлоридов – 9 г, фосфатов – 1,7 г. Концентрация этих веществ (мг/л) в сточной воде изменяется в зависимости от степени разбавления загрязнений водой: чем выше норма водоотведения, тем ниже концентрация. Количество ингредиентов, поступающих с загрязнениями в производственные сточные воды, сильно колеблется и зависит не только от содержания их в обрабатываемом продукте, но и от технологического процесса производства, режима поступления вод в производственную сеть и других причин.

11.1.2. Биохимическая и химическая потребность в кислороде

Всякое органическое вещество при наличии кислорода воздуха и под воздействием микроорганизмов-минерализаторов окисляется. Органическое вещество в сточной воде, попадающее в водоем, подвергается биохимическому окислению. Скорость этого процесса зависит в первую очередь от наличия свободного кислорода, содержащегося в сточной воде и в водоеме. Кислород пополняется вновь в основном с поверхности водного зеркала за счет диффузии из воздуха. Процесс биохимического аэробного окисления, т. е. в присутствии кислорода, имеет две фазы: в первой фазе окисляются углерод содержащие вещества, выделяя углекислоту и воду; во второй – азотсодержащие вещества, сначала до солей азотистой кислоты, а затем до солей азотной кислоты – нитратов. Эта фаза носит название *нитрификации*. Если кислорода достаточно, то процесс окисления в первой углеродистой фазе подчиняется определенному закону, а именно: скорость окисления (или скорость потребления кислорода) при одинаковой температуре в каждый момент времени пропорциональна количеству остающихся в сточной воде органических веществ. Чем меньше остается в воде органических веществ, тем медленнее идет процесс окисления. Этот закон может быть представлен уравнением

$$L_t = L_a \cdot 10^{-t k_1}, \quad (6.3)$$

где L_t – количество кислорода, необходимое для окисления органического вещества за некоторый период времени t ;

L_a – количество кислорода, которое необходимо для окисления органического вещества, имеющегося в начале процесса;

k_1 – константа скорости биохимического потребления кислорода сточной водой.

Значение константы пропорциональности изменяется в зависимости от температуры: чем выше температура, тем больше константа.

Скорость растворения кислорода в каждый данный момент обратно пропорциональна степени насыщенности воды кислородом или прямо пропорциональна его недонасыщенности (дефициту). Если обозначить через D_a начальный дефицит кислорода, т. е. недостачу его до полного насыщения, выраженную в долях от полного дефицита, а через D_t – дефицит кислорода в воде через некоторое время времени t , то закон растворения может быть выражен уравнением

$$D_t = D_a \cdot 10^{-k_2 t}, \quad (6.4)$$

где k_2 – константа скорости растворения кислорода, зависящая от природы газа, температуры среды, состояния поверхности водоема и условий перемешивания воздуха с водой.

Величина константы k_2 , как и величина k_1 , сильно колеблется; для предварительных подсчетов она может быть принята равной 0,2 при температуре воды 20 °С.

По содержанию в воде солей азотистой и азотной кислот можно судить о полноте происходящих процессов окисления. Если в воде содержится большое количество нитратов, это свидетельствует о том, что вода чистая и процесс окисления органических веществ в воде в основном закончен. При отсутствии кислорода в воде для последующего окисления веществ может частично использоваться кислород, содержащийся в солях азотистой и азотной кислот. Этот процесс отщепления кислорода от солей азотистой и азотной кислот носит название процесса *денитрификации*.

Степень загрязнения сточной воды органическими веществами можно определить по количеству кислорода, необходимому для окисления органических веществ под воздействием аэробных микроорганизмов-минерализаторов, которые существуют в присутствии кислорода. Общее количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ аэробными микроорганизмами-минерализаторами, называется *биохимической потребностью в кислороде*, обозначается БПК и выражается количеством кислорода в миллиграммах на литр (мг/л) или в граммах на кубический метр (г/м³).

Биохимическую потребность в кислороде сточной жидкости определяют лабораторным путем. Биохимическая потребность в кислороде в 5-суточной пробе при температуре 20 °С обозначается БПК₅. В качестве основного показателя для расчета очистных сооружений служит величина БПК_{полн}, т. е. количество кислорода, расходуемое для полного окисления биохимическим путем. Для многих видов сточных вод для проведения полного биохимического процесса необходимо 20 сут, т. е. БПК_{полн} или БПК₂₀.

Концентрация сточных вод по БПК₂₀ в зависимости от нормы водоотведения может быть определена по формуле

$$L_a = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \quad (6.5)$$

где L_a – БПК₂₀, мг/л;

a – БПК₂₀, г/сут (на одного человека);

q_n – норма водоотведения, л/сут (на одного человека).

В процессе биохимического окисления часть органического вещества расходуется на прирост микроорганизмов-минерализаторов, так что БПК₂₀ не учитывается. При определении БПК₂₀ не учитывают также стойкие органические вещества, которые биохимически не разрушаются.

Чтобы полнее оценить содержание органического вещества в сточной воде, определяют химическое потребление кислорода. Общее количество кислорода, необходимое для перевода углерода органических соединений в углекислоту, водорода в воду, азота в аммиак, серы в серный ангидрид, называется *химической потребностью в кислороде* и обозначается ХПК.

Разность ХПК – БПК₂₀ может служить показателем прироста микробальной среды (ила). Для городских сточных вод эта разность не имеет существенного значения, так как БПК₂₀ городских сточных вод составляет 86 % ХПК; однако многие производственные сточные воды имеют ХПК, превышающую БПК₂₀ на 50 % и более.

Соотношение между БПК₂₀ и ХПК свидетельствует о необходимости применения биохимической очистки сточных вод, что нужно знать как при решении вопроса приема промышленных сточных вод в городские водоотводящие сети, так и при самостоятельной очистке промышленных сточных вод.

Для определения БПК смеси можно пользоваться формулой

$$L_{см} = \frac{L_б Q_б + \sum L_{np} Q_{np}}{Q_б + \sum Q_{np}}, \quad (6.6)$$

где $L_б$ – БПК₂₀ бытовых сточных вод мг/л;

$Q_б$ – расход бытовых сточных вод, м³/сут;

L_{np} – БПК₂₀ производственных сточных вод мг/л;

Q_{np} – расход производственных сточных вод, м³/сут.

11.1.3. Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод.

Влияние сточных вод на водоем

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам

санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами целый ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений.

Полный санитарно-химический анализ содержит следующие показатели: температуру; окраску; запах; прозрачность; величину pH; сухой остаток; плотный остаток и потери при прокаливании; взвешенные вещества, оседающие вещества по объему и по массе; перманганатную окисляемость; химическую потребность в кислороде; биохимическую потребность в кислороде; азот (общий аммонийный, нитритный, нитратный); фосфаты; хлориды; сульфаты; тяжелые металлы и другие токсичные элементы; поверхностно-активные вещества; нефтепродукты; микробное число, бактерии группы кишечной палочки (БГКП); содержание яиц гельминтов.

Для процессов биологической очистки важнейшее значение имеет *температура*, потому что от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска – один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков – свидетельство присутствия производственных сточных вод.

Запах – органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20 °С и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т. д.

Концентрация ионов водорода выражается *величиной pH*. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение pH в пределах 6,5–8,5.

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворимыми и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1–3 см, а после очистки увеличивается до 15 см.

Взвешенные вещества – показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того, этот

показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ – один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100–500 мг/л.

Под *окисляемостью* понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. Окисляемость – групповой показатель. В зависимости от природы используемого окислителя различают химическую и биохимическую окисляемость.

Перманганатная окисляемость – кислородный эквивалент легко окисляемых примесей.

БПК – кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Самоочищающая способность водоема зависит от условий смешения и разбавления сточных вод водой водоемов. Для удовлетворения санитарных требований устанавливают предельно допустимый сброс (ПДС) лимитирующих веществ в целях ограничения поступления загрязнений в водоем со сточными водами.

Для расчета разбавления в средних и больших реках наибольшее распространение получил метод Фролова – Родзиллера. Коэффициент смешения определяют по формуле

$$\alpha = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}, \quad (6.7)$$

где α – коэффициент, зависящий от гидравлических условий смешения;
 L – длина русла от места выпуска сточных вод до расчетного створа, м;
 Q – расход воды (при 95%-ной обеспеченности) в створе реки у

места выпуска сточных вод, м³/с;
 q – расход сточных вод, м³/с.
 Коэффициент α вычисляют по формуле

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \quad (6.8)$$

где φ – коэффициент извилистости русла, определяемый как отношение длины русла от выпуска до расчетного створа по фарватеру к расстоянию между этими сечениями по прямой;

ξ – коэффициент, учитывающий место расположение выпуска (береговой выпуск – $\xi = 1$, русловой – $\xi = 1,5$);

E – коэффициент турбулентной диффузии, который находят по формуле

$$E = v_{\text{ср}} H_{\text{ср}} / 200, \quad (6.9)$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения воды в реке на участке между выпуском и расчетным створом, м/с;

$H_{\text{ср}}$ – средняя глубина реки на том же участке, м.

Для определения кратности разбавления в расчетных створах используют формулу

$$n = \frac{\alpha Q + q}{q}. \quad (6.10)$$

11.1.4. Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть. Условия сброса сточных вод в водоем

Условия сброса сточных вод в водоотводящие сети обусловлены следующими факторами: особенностями устройства водоотводящих сооружений, особенностями работы водоотводящих сетей, применяемыми методами очистки сточных вод, дальнейшим использованием очищенных сточных вод и осадков, образующихся в процессе очистки. При строительстве всех водоотводящих сооружений, которые находятся под землей, используются трубы, изготовленные из бетона и железобетона. Бетон и железобетон подвержены коррозии. Степень их коррозии в значительной степени зависит от состава и свойств сточных вод, поэтому нужно предусматривать меры по защите труб. Кроме того, сточные воды содержат разные по состоянию

загрязнения, которые из-за несоблюдения незаилающих скоростей могут выпадать в осадок и засорять трубы сети. Поэтому в водоотводящие сети не должны поступать производственные сточные воды, которые могут привести к резкому возрастанию содержания нерастворенных примесей и других включений в сточных водах, плохо транспортируемых потоками воды. Не допускается сброс в бытовую сеть сточных вод, содержащих жиры, масла, смолы, бензин, нефтепродукты, ядовитые вещества, нерастворенные примеси с большим удельным весом, волокнистые примеси, которые могут привести к разрушению труб, засорению или закупорке водоотводящей сети, затруднить работу насосных станций и т. д. В эти сети не допускается также сброс сточных вод, из которых могут выделяться ядовитые или взрывоопасные газы.

Сточные воды местной и пищевой промышленности по переработке сельскохозяйственных продуктов могут спускаться в бытовые сети без ограничений. Сточные воды мясокомбинатов и кожевенных заводов могут приниматься в эти сети лишь после обработки и обеззараживания. Сточные воды тяжелой промышленности должны проходить необходимую степень очистки и использоваться на предприятиях в повторно-оборотной системе водоснабжения. Сплав снега по сетям допускается в трубах диаметром более 300 мм при наполнении не более 0,5 диаметра, скорости течения воды должны быть не менее 0,7 м/с.

Условия спуска сточных вод в водоемы установлены Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами. Правила устанавливают нормы качества воды для водоемов по двум видам водопользования. К первому виду относятся участки водоемов, используемые для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второму виду относятся участки водоемов, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных мест. Для каждого из двух видов водопользования установлены показатели состава и свойств воды водоема у пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования.

Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами регламентируется содержание взвешенных веществ в воде водотоков и водоемов: при спуске очищенных сточных вод в водоемы первого вида пользования их содержание не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/л, а в водоемах второго вида – на 0,75 мг/л;

запрещается спуск в водоемы сточных вод с содержанием взвешенных веществ, гидравлическая крупность которых превышает 0,4 мм/с для проточных водоемов и 0,2 мм/с для водохранилищ.

Содержание растворенного кислорода в воде водоема (после смешения с ней сточных вод) не должно быть ниже 4 мг/л, а для водоемов рыбохозяйственного назначения обоих видов летом и для водоемов первого вида зимой – ниже 6 мг/л.

Полная потребность в кислороде при 20 °С не должна превышать 3 мг/л для воды водоемов первого вида и 6 мг/л для водоемов второго вида. В водоемах рыбохозяйственного назначения обоих видов БПК₅ при 20 °С не должна превышать 2 мг/л. Реакция рН воды водоема после смешения ее со сточными водами не должна быть ниже 6,5 (слабокислая) и выше 8,5 (щелочная).

Водоемы не должны содержать минеральных масел и других плавающих веществ, образующих на поверхности пленки и пятна. По ядовитым и радиоактивным веществам установлены предельно допустимые концентрации их в водоеме у места выпуска.

Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами также регламентированы интенсивность запахов и привкусов, окраски, нормы по минеральному составу, температуре, возбудителям заболеваний и др.

Состав и свойства воды должны соответствовать этим требованиям в 1 км выше по течению от пункта водопользования, а в непроточных водоемах и водохранилищах – в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

11.1.5. Определение необходимой степени очистки сточных вод

1. Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ.

Допустимое содержание взвешенных веществ (m, мг/л) в спускаемых в водоем сточных водах определяется по уравнению (в соответствии с санитарными правилами)

$$a Q_p b + qm = (a Q_p + q) (b + p), \quad (6.11)$$

откуда

$$m = p \cdot \left(\frac{a Q_p}{q} + 1 \right) + b, \quad (6.12)$$

где a – коэффициент смешения;

Q_p – расход воды в водоеме при 95%-ной обеспеченности, м³/с;

b – содержание взвешенных веществ в водоеме до спуска в него сточных вод, г/м³.

q – расход сточных вод, м³/с;

p – допустимое санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод, г/м³.

Если в составе очистной станции предусмотрена биологическая очистка, то вынос ила из вторичных отстойников не должен превышать величины m , т. е. допустимого содержания взвешенных веществ.

Степень необходимой очистки по взвешенным веществам в процентах может быть определена по формуле

$$\Xi = \frac{C - m}{C} 100, \quad (6.13)$$

где C – содержание взвешенных веществ, в сточной воде до очистки, мг/л.

2. Определение необходимой степени очистки сточных вод по растворенному кислороду в воде водоема.

В соответствии с Правилами спуска сточных вод в воде водоема после смешения со сточной водой содержание растворенного кислорода должно быть не ниже 4 мг/л, а для рыбохозяйственных водоемов первого вида – 6 мг/л. Исходя из этого, можно определить допустимую для данного водоема максимальную величину БПК спускаемых сточных вод.

Эту задачу можно решить двумя способами: 1) принимать во внимание только тот растворенный кислород, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод и вновь не пополняется; 2) учитывать пополнение кислорода за счет его поступления в водоем с поверхности водного зеркала (за счет реэрации).

Уравнение баланса кислорода в воде водоема и в сточной воде по первому способу составляют исходя из предположения, что количество содержащегося в речной воде растворенного кислорода должно быть не менее 4 г/м³ или 6 г/м³ в течение первых двух суток.

Допустимая величина БПК сточных вод ($L_{\text{полн}}^{\text{ст}}$), сбрасываемых в водоем, исходя из условий минимального содержания растворенного кислорода выражается уравнением

$$L_{\text{полн}}^{\text{ст}} = \frac{aQ_p}{0,4q} (O^p - 0,4L_{\text{полн}}^p - O) - \frac{O}{0,4}, \quad (6.14)$$

где $L_{\text{полн}}^{\text{ст}}$ – полное биохимическое потребление кислорода сточными водами, г/м³;

Q_p – расход воды в реке в межень, м³/сут;

q – расход спускаемых сточных вод, м³/сут;

0,4 – коэффициент для пересчета полного потребления кислорода за двое суток;

O^p – содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м³;

$L_{\text{полн}}^p$ – полное биохимическое потребление кислорода речной водой, г/м³;

O – минимальное содержание кислорода в воде, принимаемое 4 или 6 г/м³.

При расчете по второму способу учитывают среднюю скорость движения воды в водоеме, температуру воды, константы скорости потребления кислорода и скорости поверхностной реэрации. Этот расчет более полный и точный, но требует специальных натуральных изысканий на участке реки, для которого выполняется расчет.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК_{полн}. В расчете учитывается самоочищение сточных вод в водоеме за счет биохимических процессов, а также разбавление сточных вод водами водоема.

Величина БПК_{полн} сточной жидкости, прошедшей очистку, определяется по формуле

$$L_{\text{ст}} = \frac{aQ_p}{q \cdot 10^{-k_{\text{ст}}t}} \cdot (L_{\text{п.д}} - L_p \cdot 10^{-k_p t}) + \frac{L_{\text{п.д}}}{10^{-k_{\text{ст}}t}}, \quad (6.15)$$

где Q_p – расход воды в водоеме, м³/с;

q – расход сточных вод, м³/с;

$k_{\text{ст}}$ и k_p – константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой;

$L_{\text{п.д}}$ – предельно допустимая БПК_{полн} смеси речной и сточной воды в расчетном створе (для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования первого и второго видов эта

величина принимается соответственно равной 3 и 6 мг/л);
 L_p – БПК_{полн} речной воды до места выпуска сточных вод, мг/л;
 t – продолжительность перемещения воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта, сут., определяемая по формуле

$$t = \frac{L_{\text{фар}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (6.16)$$

где $L_{\text{фар}}$ – расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа, км.

Необходимая степень очистки определяется по формуле

$$\Theta = \frac{L_a - L_{\text{ст}}}{L_a} 100, \quad (6.17)$$

где L_a – БПК_{полн} сточных вод, поступающих на очистку, мг/л.

11.1.6. Методы очистки сточных вод

Методы очистки сточных вод можно разделить: на механические, физико-химические и биохимические. В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке, возможна последующая утилизация осадков. Если по условиям сброса сточных вод в водоем требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки.

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся: решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. *Песколовки* служат для выделения примесей минерального состава, главным образом песка. *Отстойники* задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Для очистки производственных сточных вод, содержащих специфические загрязнения, применяют сооружения, называемые *жироловками, нефтеловушками, масло- и смолоуловителями* и др.

Механическая очистка сточных вод с помощью данных сооружений

является предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удастся задержать до 60 % нерастворенных загрязнений.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод, с учетом технико-экономических показателей, используют весьма редко. Эти методы в основном применяют для очистки производственных сточных вод.

К методам физико-химической очистки производственных сточных вод относятся: реагентная очистка, сорбция, экстракция, эвапорация, дегазация, ионный обмен, озонирование, электрофлотация, хлорирование, электродиализ и др.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации и биологические пруды). В сооружениях второго вида аналогичная очистка осуществляется в искусственно созданных условиях – в аэротенках и биофильтрах.

Глубокая очистка сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водоем необходимо снизить концентрацию взвешенных веществ, величину показателей БПК, ХПК и др.

При глубокой очистке сточных вод, главным образом от взвешенных веществ, используются фильтры различных конструкций. Для глубокой очистки от растворенных органических веществ применяют сорбционные, биосорбционные, озонаторные и другие установки. Глубокая очистка сточных вод от соединений азота и фосфора может осуществляться физико-химическими и биологическими методами.

Для очистки сточных вод предусматривается комплекс отдельных сооружений, в которых по ходу движения сточная вода постепенно очищается сначала от крупных, а затем от все более и более мелких загрязнений, находящихся в нерастворенном состоянии.

Сооружения для механической очистки составляют первую группу, в которую входят последовательно: решетки, песколовки, отстойники. Самостоятельную группу составляют сооружения по обработке осадка – метантенки или двухъярусные отстойники с иловыми

площадками. В некоторых случаях осуществляется механическое обезвоживание осадка.

Ко второй группе относятся сооружения для биологической очистки, в которых окисляются оставшиеся после механической очистки органические загрязнения. Очистка сточной воды заканчивается процессом обеззараживания.

Выбор метода очистки и подбор состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от ряда факторов: необходимой степени очистки сточных вод, рельефа местности, энергетических затрат, характера грунтов, размера площади для очистных сооружений, расхода сточных вод, мощности водоема и др.

11.1.7. Технологические схемы очистки сточных вод

Для достижения определенного эффекта задержания загрязняющих веществ с помощью очистных сооружений следует произвести расчет необходимой степени очистки.

На сооружениях механической очистки эффект снижения взвешенных веществ составляет 40–60 %, что приводит также к снижению величины БПК_{полн} на 20–40 %. Возможен и вариант, при котором необходимый эффект очистки может быть достигнут только сооружениями механической очистки.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений (после аэротенков или биофильтров и вторичных отстойников) по взвешенным веществам и БПК₅ до 15–20 мг/л.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается при использовании хлора. Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал в начале или за решеткой. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовок перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые площадки; дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактным резервуаром.

При больших расходах сточных вод можно применять

технологическую схему с механической очисткой сточных вод, которая производится на решетках, в песколовках и отстойниках.

Если сточная вода сбрасывается в мощный водоем и по местным условиям можно ограничиться только ее механической очисткой, состав сооружений может быть принят по схеме, приведенной на рис. 6.1. Первоначально сточная жидкость проходит через решетку, устанавливаемую для задержания крупных веществ органического и минерального происхождения, затем через песколовку, предназначенную для выделения тяжелых примесей, главным образом минерального происхождения, через отстойники, в которых выделяются осаждающиеся и всплывающие органические вещества, через хлораторную с контактным резервуаром для обезвреживания воды и контакта хлора с водой. Обработка ила происходит в метантенках, далее ил из них подается на иловые площадки для подсушивания перегнившего ила.

При небольших расходах сточных вод и необходимости полной биологической очистки их исходя из местных условий может быть рекомендована схема, показанная на рис. 6.2. По этой схеме механическая очистка производится на решетках, в песколовках и двухъярусных отстойниках, где взвешенные вещества не только осаждаются, но и перегнивают. Биологическая очистка осуществляется на полях орошения или фильтрации.

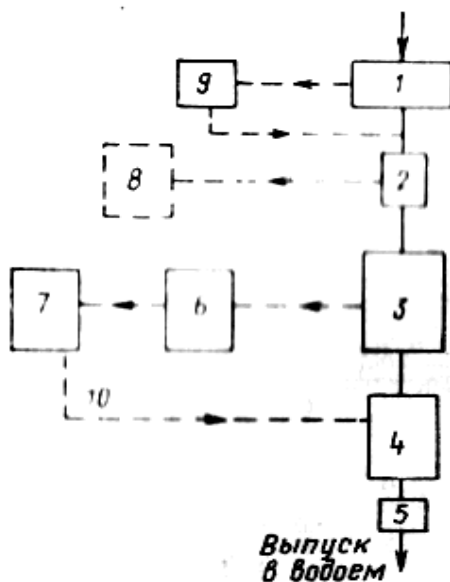


Рис. 6.1. Схема станции с механической очисткой сточных вод: 1 – решетка; 2 – песколовка; 3 – отстойники; 4 – хлораторная установка; 5 – контактный резервуар; 6 – метантенк; 7 – иловые площадки; 8 – песковые площадки; 9 – дробилки; 10 – трубопровод дренажной воды

На рис. 6.3 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются для расходов сточных вод порядка 10–20 тыс. м³/сут.

После сооружений механической очистки (решетки, песколовки и первичные отстойники) вода поступает на биофильтры и затем в двухъярусные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка (биопленка), выносимая водой из биофильтров, далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

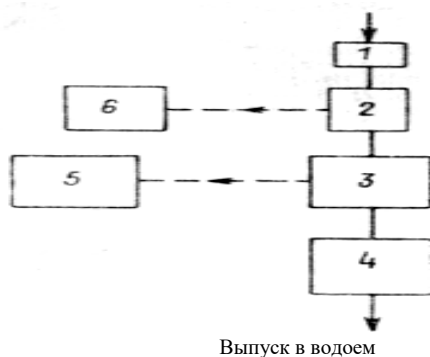


Рис. 6.2. Схема станции с биологической очисткой сточных вод:
 1 – решетка; 2 – песколовка; 3 – двухъярусный отстойник; 4 – поля орошения или фильтрации;
 5 – иловые площадки; 6 – песковые площадки

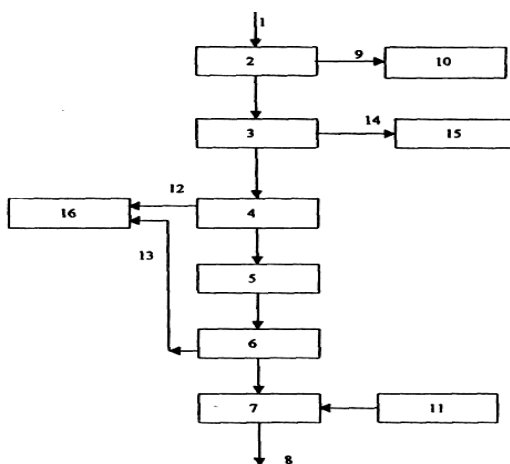


Рис. 6.3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах:
 1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – первичные отстойники; 5 – биофильтры; 6 – двухъярусные отстойники;
 7 – контактный резервуар; 8 – выпуск; 9 – отбросы;
 10 – дробилки; 11 – хлораторная установка; 12 – осадок из первичных отстойников; 13 – биопленка из двухъярусных

отстойников; 14 – песок; 15 – бункер песка; 16 – иловые площадки

Проходя через фильтрующую загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней взвешенные и коллоидные органические вещества, не осевшие в первичных отстойниках. Микроорганизмы биопленки окисляют органические вещества и получают необходимую для своей жизнедеятельности энергию. Таким образом из сточной воды удаляются органические вещества, а в теле биофильтра увеличивается масса биологической пленки. Отработанная и омертвевшая пленка смывается протекающей сточной водой и выносится из биофильтра.

11.1.8. Методы удаления из сточных вод отдельных компонентов

Одними из самых эффективных способов удаления из сточных вод отдельных компонентов (тяжелые металлы, нефтепродукты, хлорорганика, СПАВ, фенолы) являются адсорбция и ультрафильтрация.

Углеродные сорбенты (активные угли) являются гидрофобными сорбентами с высокой степенью карбонизации (90–95 %). Марка активного угля позволяет судить о его назначении или происхождении. Например, БАУ – березовый активный уголь, АГ – активный гранулированный, АР – активный рекуперационный, ОУ – осветляющий уголь и т. д. Сорбенты характеризуются пористостью, структурой пор и химическим составом. Пористость активных углей составляет 57–75 %. Другой характеристикой сорбентов является их химический состав или химическое сродство с извлекаемыми загрязнениями. Поэтому применение активных углей целесообразно в сточных водах, а силикагелей – в нефтепродуктах. Между степенью адсорбции органического вещества и его растворимостью (гидрофильностью) существует обратное отношение. С понижением температуры степень адсорбции снижается, и снижение величины рН в большинстве случаев вызывает увеличение адсорбции типичных органических веществ в сточных водах. Молекулы загрязнений образуют ассоциации, которые имеют большую энергию поглощения, чем гидроксильные группы, и на первый план выступает величина работающих пор, а не химический состав сорбента. Поэтому становится возможным применение активных оксидов, природных или искусственных крупнопористых сорбентов для очистки сточных вод от углеродов, находящихся в эмульгированном виде. Для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ наиболее

эффективны углеродные сорбенты.

В комплекс технологического оборудования для проведения адсорбционной очистки сточных вод входят адсорбер, в зависимости от конструкции которого выбираются системы подачи и отвода сорбента на регенерацию, емкости для его хранения и отделения сорбента от очищенной воды, оборудование для подачи и отвода сточной воды.

Выбор конструкции адсорберов зависит от задач адсорбции (извлечение ценных веществ, глубокая очистка), свойств и расходов сточных вод, свойств активного угля, а также характера процесса (периодический или непрерывный) и использования активного угля (постоянно или периодически). Для концентрирования и извлечения технически ценных веществ, т.е. при регенерационной очистке сточных вод, наилучшие условия создают аппараты с неподвижным слоем активного угля (насыпные фильтры). Для небольших расходов концентрированных вод в одном аппарате весьма удачно сочетаются адсорбция и десорбция, если десорбция осуществляется паром или химическими растворителями, не требующими выгрузки сорбента.

Для очистки сточных вод используют и другую конструкцию очистного сооружения, технология которого основана на совмещении в специальном сооружении – биосорбере – процессов адсорбции органических загрязнений из воды с их биологическим окислением микроорганизмами, иммобилизованными на поверхности и в микропористой структуре пористого гранулированного носителя. Это позволяет непрерывно осуществлять эффективное и глубокое удаление из воды органических трудноокисляемых и токсичных соединений без необходимости термической и химической регенерации или замены сорбента. При коротком времени пребывания в биосорберах происходит интенсивное удаление органических веществ, в особенности таких консервативных, как СПАВ, нефтепродукты, вещества, определяющие остаточные значения ХПК воды, очищенной в аэротенках. Одновременно осуществляется значительное удаление взвешенных веществ. В результате доочистки на биосорберах биологически очищенных сточных вод их БПК_{полн} снижается до 1,5–3,0 мгл/л, практически полностью удаляются СПАВ и нефтепродукты, содержание взвешенных веществ не превышает 3 мгл/л.

11.2. Сооружения механической очистки сточных вод

11.2.1. Состав сооружений: решетки, песколовки

Решетки – это первое устройство в схеме очистных сооружений. Они представляют собой вертикально или наклонно поставленные на пути движения сточных вод прутья с прозорами различной величины в зависимости от требуемой степени очистки. Прутья решеток бывают прямоугольными, реже – круглыми. Угол наклона решетки к горизонту составляет $60-70^\circ$. В настоящее время чаще применяются неподвижные решетки, остов которых наглухо закреплен в неподвижной раме.

По способу удаления задержанных примесей различают решетки с очисткой ручным способом и механизированные.

Простейшие решетки (рис. 6.4) устанавливают при количестве снимаемых отбросов менее $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$. Их очищают вручную металлическими граблями. Примеси сбрасывают на дренирующие площадки или дырчатые желоба, а затем вывозят в закрытых контейнерах в специально отведенные санитарными органами места и обеззараживают.

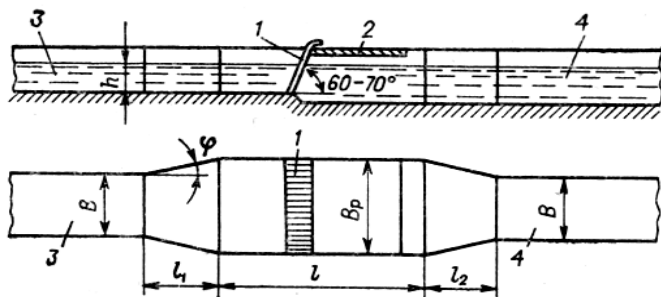


Рис. 6.4. Схема решетки простейшего типа:

1 – решетка; 2 – настил; 3 – подводящий канал; 4 – отводящий канал

Решетки с механизированной очисткой применяют при большом количестве отбросов (более $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$). Впереди неподвижной решетки расположены 2–4 отдельные граблины, закрепленные на двух бесконечных тяговых цепях, которые перемещаются электроприводом со скоростью $0,3-0,4 \text{ м/мин}$. Задержанные отбросы направляются в

установленную рядом с решеткой молотковую дробилку, после которой измельченная масса сбрасывается в подводящий канал перед решеткой.

В зданиях решеток устраивают приточно-вытяжную вентиляцию с 5-кратным обменом воздуха. Вытяжка осуществляется из канала решетки. Предусматривают местный отсос воздуха от дробильной установки. Для решеток с ручной очисткой допускается естественная вентиляция помещения.

В настоящее время находят применение *решетки-дробилки* (рис. 6.5), которые одновременно задерживают твердые частицы, находящиеся в воде, и перемалывают их. Принцип действия установки состоит в следующем. Решетку-дробилку устанавливают в камере с круговым движением сточных вод или на трубопроводе. Барабан, приводимый в движение электродвигателем через коробку передач, задерживает отбросы в прозорах шириной 6–10 мм. Затем эти отбросы подаются вращающимся барабаном к режущим гребням, перемалывающим твердые частицы, которые в измельченном виде поступают снова в сточную воду. В решетках-дробилках скорость движения воды в прозорах и потеря напора значительно выше, чем в обычных решетках. При максимальном расходе потеря напора может достигнуть 10 см.

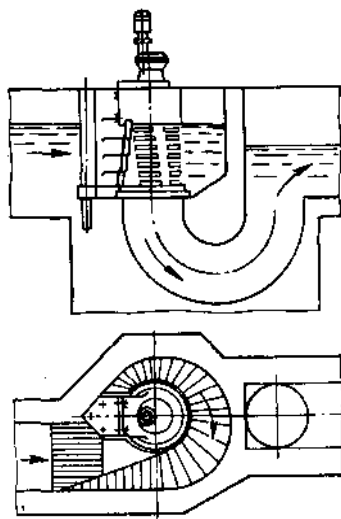


Рис. 6.5. Схема установки решетки-дробилки РД-600

Чтобы обеспечить нормальную работу решеток-дробилок и системы их каналов, необходимо регулировать наполнение в них и скорость движения воды. Преимущество решеток-дробилок заключается в том, что для них не требуется устраивать специальные помещения.

Песколовки предназначены для задержания минеральных примесей, содержащихся в сточной воде. Необходимость предварительного выделения минеральных примесей обуславливается тем, что при раздельном выделении из сточной жидкости минеральных и органических загрязнений облегчаются условия эксплуатации сооружений, предназначенных для дальнейшей обработки воды и осадка, – отстойников, метантенков и др.

Принцип действия песколовки основан на том, что под влиянием сил тяжести частицы, удельный вес которых больше, чем удельный вес воды, по мере движения их вместе с водой в резервуаре выпадают на дно.

Горизонтальная песколовка (рис. 6.6) состоит из рабочей части, где движется поток, и осадочной, назначение которой – собирать и хранить выпавший песок до его удаления. Расчет песколовки заключается в определении размеров (длины, ширины и высоты) как рабочей, так и осадочной части.

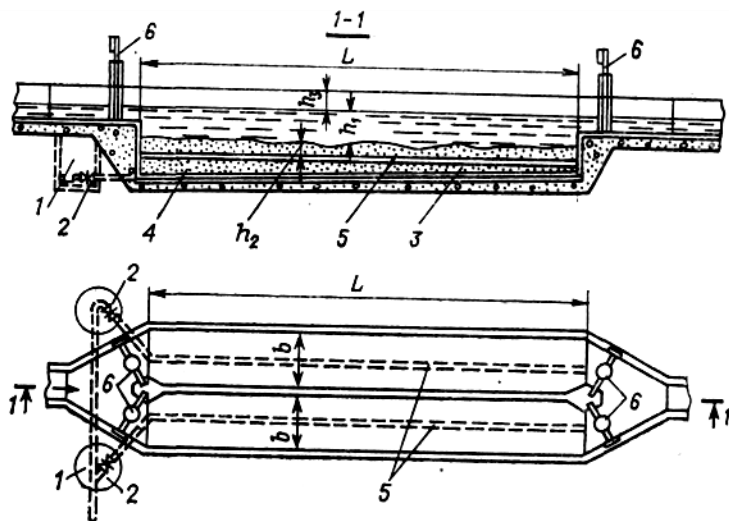


Рис. 6.6. Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением сточных вод: 1 – колодец; 2 – задвижка; 3 – осадок; 4 – слой гравия; 5 – дренажная труба; 6 – шиберы

Песколовка с круговым движением воды. Движение воды происходит по кольцевому лотку. Выпавший песок через щели попадает в конусную часть, откуда периодически откачивается гидроэлеватором. Песчаная пульпа может направляться в песковые бункера.

Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане, подвод воды к ним осуществляется по касательной (тангенциально). Подвод воды по касательной и движение ее в сооружении по кругу вызывают вращательное движение потока. При одновременном поступательном и вращательном движении создается винтовое движение. Вращательное движение положительно влияет на работу песколовок, так как оно способствует отмывке от песка органических веществ и исключает их выпадение в осадок. Благодаря этому осадок из тангенциальных песколовок содержит меньше органических загрязнений, чем в песколовках других типов.

Песковые площадки и бункера. Песок, задержанный в песколовках, чаще всего удаляется с помощью гидроэлеваторов и затем в виде песчаной пульпы перекачивается на специально устраиваемые песковые площадки. Песковые площадки – это земельные площадки, разбитые на карты с ограждающими валиками высотой 1–2 м (рис. 6.7). Размеры площадок определяются из условия напуска песка слоем $3 \text{ м}^3/\text{м}^2$ в год с периодической вывозкой подсушенного песка. Профильтрованная вода собирается и перекачивается в канал перед песколовками.

Рис. 6.7. Песковая площадка:

1 – пескопровод; 2 – разводящий лоток;
3 – трубопровод для отвода дренажной воды

На станциях производительностью до 75000 м³/сут для отмывки песка от органических загрязнений и его обезвреживания можно устраивать круглые песковые бункера с впуском в них пульпы по касательной. Обезвреженный песок выгружается в автомашины и вывозится. Песок можно отмывать в напорных гидроциклонах диаметром 300 мм. Бункера, расположенные вне здания, зимой должны обогреваться горячей водой.

11.2.2. Горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники

Отстойники применяют для предварительной очистки сточных вод, если по местным условиям требуется их биологическая очистка, или как самостоятельные сооружения, если по санитарным условиям вполне достаточно выделить из сточных вод только механические примеси.

В зависимости от назначения отстойники подразделяются на *первичные*, которые устанавливают до сооружений биологической обработки сточных вод, и *вторичные*, устанавливаемые после этих сооружений.

По конструктивным признакам отстойники подразделяются на горизонтальные, вертикальные и радиальные. К отстойникам условно могут быть отнесены и осветлители. В них одновременно с отстаиванием происходит фильтрация сточных вод через слой взвешенных веществ.

В *горизонтальных отстойниках* жидкость движется почти горизонтально – вдоль отстойника, в вертикальных она движется снизу вверх, а в радиальных – от центра к периферии. Горизонтальный отстойник (рис. 6.8) представляет собой резервуар (обычно прямоугольный в плане), состоящий из нескольких отделений (два и более); вода подводится в торцевую часть, проходит вдоль отстойника до противоположного конца и, осветленная, сливается в отводной канал.

Вертикальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары с коническим дном, в которых поток осветляемой воды движется в вертикальном направлении. В зависимости от типа впускного устройства вертикальные отстойники подразделяются на следующие виды: с центральным впуском воды; с нисходяще-восходящим движением воды; с периферийным впуском воды.

В вертикальных отстойниках с центральным впуском сточная вода подводится лотком к центральной раструбной трубе, опускаясь по которой вниз осветляемая вода отражается от конусного отражательного щита и поступает в зону осветления. Осветленная вода собирается периферийным сборным лотком. Всплывающие вещества жирового состава собираются в центре отстойника кольцевым лотком, из которого отводятся трубопроводом в самотечную иловую сеть. Выпадающий осадок накапливается в иловой конусной части отстойника, из которой удаляется под гидростатическим напором 1,0–2,0 м через иловую трубу в самотечную иловую сеть.

Рис. 6.8. Горизонтальный отстойник:
a – разрез; *б* – план; 1 – подводящий лоток;
 2 – распределительный лоток; 3 – полупогружные
 доски; 4 – сборный лоток; 5 – отводной лоток; 6 – лоток
 для сбора и удаления плавающих веществ;
 7 – трубопровод для удаления осадка

Достоинствами вертикальных первичных отстойников являются простота их конструкции и удобство в эксплуатации, а недостатками – большая глубина сооружений, что ограничивает их максимальный диаметр – 9 м, а также невысокая эффективность осветления воды.

Более совершенными с технологической точки зрения являются вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком осветляемой воды. В отстойнике этого типа зона осветления разделена полупогружной перегородкой на две равные по площади зеркала воды части.

Разновидностью вертикальных отстойников являются квадратные в плане (12×12 и 14×14) четырехбункерные отстойники с центральным впуском воды и сбором осветленной воды периферийным лотком.

Простота конструкции вертикальных отстойников обусловила их широкое применение на очистных сооружениях средней пропускной способностью 2,0–15,0 м³/сут.

Радиальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары, в которых сточная вода подается в центр отстойника и движется радиально от центра к периферии. Скорость движения осветляемой воды в радиальном отстойнике изменяется от максимальных значений в центре к минимальным значениям на периферии.

Круглая в плане форма радиальных отстойников позволяет уменьшать необходимую толщину стеновых панелей за счет применения высокопрочной, предварительно напряженной арматуры, что сокращает их удельную материалоемкость. Вращающаяся ферма обеспечивает простоту эксплуатации радиальных отстойников.

11.2.3. Преаэраторы, биокоагуляторы и осветлители

Преаэраторы, биокоагуляторы и осветлители применяются: при содержании в сточных водах взвешенных веществ более 300 мг/л и необходимости снизить их концентрацию в большей степени, чем могут снизить первичные отстойники; при наличии примесей производственных сточных вод, оказывающих неблагоприятное влияние на процессы биологической очистки и эксплуатацию последующих сооружений. Применяются эти сооружения для предварительной аэрации – насыщения сточных вод воздухом в специальных резервуарах (преаэраторах) или в подводящих каналах перед первичными отстойниками.

Преаэраторы могут предусматриваться перед первичными отстойниками всех типов в виде отдельно пристроенных или встроенных сооружений. Отдельно расположенные преаэраторы проектируются не менее чем из двух секций, каждая из которых является рабочей. При установке преаэраторов эффективность задержания загрязнений в отстойниках увеличивается на 10–15 %.

Биокоагулятор – это вертикальный отстойник с камерой биокоагуляции в центре. Принцип работы биокоагулятора заключается в следующем: сточная жидкость через вертикальную трубу поступает в центральную камеру, где помещены фильтросы, через которые воздух поступает в зону аэрации. В камеру добавляют активный ил из аэротенков. Активный ил, перемешиваясь со сточной жидкостью, спускается вниз – в зону отстаивания первичного отстойника. Вода, пройдя через взвешенный слой в зоне отстаивания, осветляется и через желоба удаляется из отстойников. Пребывание сточной жидкости в течение 20 мин в центральной камере биокоагулятора достаточно, чтобы процесс коагуляции основных загрязнений сточной жидкости был завершен и они выпали в осадок.

Осветлители проектируются в виде вертикальных отстойников с внутренней камерой флокуляции, с естественной аэрацией за счет разницы уровней воды в распределительной чаше и осветлителе.

Диаметр осветлителя составляет не более 9 м. Разность уровней жидкости в распределительной чаше и в осветлителе – 0,6 м. Объем камеры флокуляции – на пребывание в ней сточной жидкости не менее 20 мин. Глубина камеры флокуляции – 4–5 м. По конструкции различают осветлители с естественной аэрацией и осветлители-перегниватели. Осветлители с естественной аэрацией применяются при небольших расходах сточной воды. Осветлители-перегниватели являются комбинированными сооружениями, состоящими из перегнивателя и осветлителя с естественной аэрацией, концентрически располагаемого внутри перегнивателя.

11.2.4. Основы расчета сооружений для механической очистки сточных вод

Расчет решетки.

При расчете решетки определяют ее размеры и потери напора, которые возникают при прохождении сточной жидкости через решетку. Ширину решетки B_p , число прозоров n , площадь живого сечения ω определяют по расходу сточных вод и заданной скорости движения сточной жидкости через решетку. Эта скорость должна быть такой, чтобы задержанные на решетке отбросы под влиянием кинетической энергии струи не продавливались через прозоры. Исходя из этого условия, скорость принимают $v_p = 0,8 \dots 1$ м/с.

Определяют расход воды (q) по формуле

$$q = \omega \cdot v_p = b \cdot n \cdot h \cdot v_p, \quad (6.18)$$

где ω – площадь живого сечения решетки, мм;

b – величина прозора решетки, мм;

n – число прозоров;

h – глубина потока сточной воды, м.

Общая ширина решетки определяется по формуле

$$B_p = bn + S(n - 1), \quad (6.19)$$

где S – толщина стержня, мм.

Число прозоров в решетке

$$n = \frac{q \cdot K_{ст}}{b \cdot h \cdot v_p}, \quad (6.20)$$

где $K_{ст}$ – коэффициент, учитывающий стеснение потока механическими граблями ($K_{ст} = 1,05 - 1,1$).

Потеря напора в решетке может быть определена по формуле

$$h_p = \xi \frac{v_1^2}{2g} \cdot K, \quad (6.21)$$

где ξ – коэффициент сопротивления;

v_1 – скорость движения воды в канале перед решеткой, равная 0,7 – 0,8 м/с;

K – коэффициент, учитывающий увеличение потери напора за счет засорения решетки, принимаем $K = 3$.

Коэффициент сопротивления определяется по формуле

$$\xi = \beta \left(\frac{S}{b} \right)^{4/3} \cdot \sin \varphi, \quad (6.22)$$

где β – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения стержней решетки (для прямоугольных – 2,42);

S – толщина стержня, мм;

φ – угол наклона решетки к горизонту, град.

Расчет горизонтальной песколовки.

Расчет песколовки заключается в определении размеров (длины, ширины и высоты) как рабочей, так и осадочной части.

Длину проточной части песколовки определяют по формуле

$$L = \frac{1000 \cdot v \cdot h}{u_0}, \quad (6.23)$$

где v – скорость горизонтального движения жидкости в песколовке, принимаемая 0,3 м/с при максимальном расходе;

h – глубина проточной части песколовки, м;

u_0 – гидравлическая крупность песка, мм/с.

Ширину песколовки определяют по формуле

$$B = \frac{q}{v \cdot h}, \quad (6.24)$$

где q – расход воды, м³/с;

v – горизонтальная скорость движения жидкости, м/с;

h – глубина проточной части песколовки, м.

Если песколовка состоит из нескольких отделений, то ширина одного отделения будет равна:

$$b = \frac{B}{n}, \quad (6.25)$$

где n – число отделений песколовки.

Как показал опыт, в хорошо работающих горизонтальных песколовках можно задержать 65–75 % всех минеральных загрязнений, содержащихся в сточной воде.

Время пребывания жидкости в горизонтальной песколовке принимают 30–50 с, ширину отделений – от 0,5 до 2 м, высоту рабочей части – от 0,25 до 1,0 м. Для определения размеров осадочной части песколовки необходимо знать количество песка, которое может быть задержано песколовкой в единицу времени.

При поступлении в песколовку городских сточных вод, в составе которых находятся преимущественно бытовые воды, количество задержанного в песколовке песка на одного человека составляет 0,02 л/сут при влажности осадка 60 % и объемной массе его 1,5 т/м³.

Зная число жителей (N) и норму осаждения песка (p , л/сут) от одного человека, нетрудно определить объем осадочной части песколовки:

$$W_{\text{ос}} = \frac{p \cdot T \cdot N}{1000}, \quad (6.26)$$

где T – число суток между двумя чистками.

Объем камеры для песка не должен превышать двухсуточный объем выпадающего песка.

Песколовки очищают различными способами. При незначительных расходах сточных вод, поступающих на станцию, песколовки можно очищать насосом, который откачивает песок с водой из приемка, расположенного в головной части песколовки.

Расчет горизонтального отстойника.

Расчет горизонтального отстойника состоит в определении размеров его проточной (рабочей) и осадочной частей. Для небольших станций очистки бытовых сточных вод расчет следует выполнять по времени отстаивания (t) при максимальном расходе (q_{max}). Это время принимается от 0,5 до 1,5 ч в зависимости от способа последующей биологической очистки. Наибольшая скорость движения воды в отстойнике принимается $v = 7$ мм/с.

Объем рабочей части отстойника (W , м³) вычисляют по формуле

$$W = \frac{q_{\max}}{t}, \quad (6.27)$$

где $q_{\max}$ – максимальный расход сточных вод, м³/с;

t – продолжительность отстаивания.

Площадь поперечного сечения определяется по формуле

$$\omega = \frac{q_{\max}}{v}, \quad (6.28)$$

где v – скорость движения воды в отстойнике, м/с.

Длина отстойника будет равна:

$$L = \frac{W}{\omega}. \quad (6.29)$$

Задавшись глубиной рабочей части (H), которую обычно принимают в пределах 1,5–4,0 м, и числом отделений (n), определяют ширину одного отделения отстойника:

$$b = \frac{W}{n \cdot H}. \quad (6.30)$$

11.3. Сооружения биологической очистки

11.3.1. Биохимические основы методов биологической очистки

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, как известно, обладают целым рядом особых свойств, из которых выделяют три основных, широко используемых для целей очистки:

1) способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования;

2) свойство быстро размножаться. В среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин;

3) способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после

завершения процессов изъятия содержавшихся в ней загрязнений.

Процесс очистки осуществляется микроорганизмами, закрепленными на поверхности загрузки, а также взвешенной микробной массой (активный ил). Основные группы микроорганизмов, участвующие в биологической очистке, – автотрофные и гетеротрофные виды бактерий.

Гетеротрофные бактерии окисляют органические азотсодержащие компоненты, превращая их в простые неорганические соединения, главными из которых являются вода, углекислый газ (диоксид углерода) и аммиак. Этот первый этап биологической очистки носит название «аммонификация» (минерализация). Скорость аммонификации зависит в основном от температуры и содержания кислорода в воде.

После того как органические соединения переведены гетеротрофными бактериями в неорганическую форму, биологическая очистка вступает в следующую стадию, получившую название «нитрификация». Под этим процессом понимают биологическое окисление аммония до нитритов и нитратов. На практике нитрификацию осуществляет очень ограниченная группа автотрофных микроорганизмов.

Процесс нитрификации приводит к окислению неорганического азота. Одновременно идет процесс восстановления неорганического азота – денитрификация. В процессе денитрификации происходит переход азота из нитратов в газообразное состояние. Если одновременно с нитритами в среде присутствуют аммонийные соли или аминокислоты, то свободный азот выделяется за счет их химического взаимодействия (косвенная денитрификация), когда при прямой денитрификации восстановление нитратов идет до свободного азота. Таким образом, денитрификация, в отличие от минерализации и нитрификации, уменьшает количество неорганического вещества.

В живой микробной клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса – распад молекул и их синтез, составляющие в целом процесс обмена веществ – метаболизм. Иными словами, процессы деструкции потребляемых микроорганизмами органических соединений неразрывно связаны с процессами биосинтеза новых микробных клеток, различных промежуточных или конечных продуктов, на проведение которых расходуется энергия, получаемая микробной клеткой в результате потребления питательных веществ.

Источником питания для гетеротрофных микроорганизмов являются: углеводы, жиры, белки, спирты, которые могут расщепляться ими в аэробных или анаэробных условиях. Значительная часть продуктов микробной трансформации может выделяться клеткой в окружающую среду или накапливаться в ней. Весь цикл взаимоотношений клетки с окружающей средой в процессе изъятия из нее и трансформации питательных веществ определяется и регулируется соответствующими ферментами. Общее содержание ферментов в клетке достигает 40–60 % от общего содержания в ней белка. По характеру реакций, катализирующих окислительные и восстановительные процессы, ферменты делятся на шесть классов. Поскольку микробная клетка потребляет только растворенные органические вещества, то проникновение в клетку таких нерастворимых в воде веществ, как крахмал, белки, целлюлоза, возможно лишь после соответствующей подготовки, для чего клетка выпускает в окружающую жидкость необходимые ферменты для гидролитического расщепления их на более простые субъединицы.

Процессы биохимического окисления у гетеротрофных организмов делят на три группы в зависимости от того, что является конечным продуктом процесса окисления. Если акцептором является кислород, то процесс называют клеточным дыханием. Если акцептор водорода – органическое вещество, то процесс носит название брожения. Если конечный продукт – неорганическое вещество типа нитратов, сульфатов и т. д., то процесс называют аэробным. Наиболее полным процессом биохимического окисления является аэробный процесс, так как его продуктами являются вещества не способные к дальнейшему разложению в микробной клетке и не содержащие запаса энергии, которая могла быть высвобождена обычными химическими реакциями. Главные вещества, получаемые в ходе химических реакций, – диоксид углерода (CO_2) и вода (H_2O).

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, которые иногда даже очень трудно идентифицировать аналитическими методами, биомасса, осуществляющая очистку, также представляет собой сообщество различных видов микроорганизмов и простейших со сложными отношениями между ними. Как видовой, так и количественный состав биомассы очистных сооружений будет зависеть от конкретного метода биологической очистки и условий его реализации.

11.3.2. Биологические фильтры и аэротенки

Биологические фильтры.

К сооружениям биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях относятся все типы биологических фильтров (биофильтров) и аэротенков. Биофильтры (рис. 6.9) проектируются для частичной и полной очистки сточных вод с доведением БПК_{полн} до 15 мг/л. В качестве фильтрующего материала используются щебень, галька, керамзит и различные искусственные материалы.

Все материалы, естественные или искусственные, используемые для загрузки биофильтров, должны быть влаго- и морозоустойчивыми и соответствовать требованиям ТКП.

Рис. 6.9. Биофильтр:

1 – секция биофильтра; 2 – дозирующий бак; 3 – спринклер для орошения поверхности биофильтра; 4 – распределительный трубопровод; 5 – загрузка фильтра (фильтрующий материал); 6 – отвод очищенной сточной воды

Количество секций или биофильтров должно быть не менее двух. Распределительная и отводящая сети биофильтров рассчитываются на максимальный расход сточных вод.

Сточные воды распределяются по поверхности биофильтра разбрызгивателями, оросителями и другими устройствами.

Капельные биофильтры применяются для полной биологической очистки на станциях производительностью до 1000 м³/сут. Биофильтры производительностью до 500 м³/сут размещаются в отапливаемых помещениях при среднегодовой температуре воздуха 3 – 6 °С. Биофильтры большей производительности размещаются в неотапливаемых помещениях облегченной конструкции.

Капельный биофильтр состоит из фильтрующей загрузки, дренажа и распределительных устройств. Воздух поступает естественным путем: сверху – через открытую поверхность, снизу – через дренаж. Процессы окисления, происходящие в капельном биофильтре, сходны с процессами окисления, происходящими в сооружениях естественной биологической очистки. Однако интенсивность протекания этих процессов в капельном биофильтре значительно выше.

Сточные воды, осветленные в первичных отстойниках, самотеком или под напором через дозирующие устройства периодически подаются

на поверхность биофильтра. Вода, проходящая сквозь толщу фильтрующего материала, через дырчатое дно (дренаж) стекает на сплошное

водонепроницаемое дно и собирается затем в отводящие лотки. Далее вода поступает во вторичные отстойники, где происходит отделение био пленки от очищенных сточных вод.

Эффективность очистки сточных вод нормально работающими капельными биофильтрами очень высока и может достигать по БПК_{полн} 90 % и более. На капельные биофильтры допускается подавать сточные воды с БПК_{полн} не более 220 мг/л. При большей концентрации предусматривается рециркуляция.

Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры) используются на станциях производительностью до 50000 м³/сут для полной или частичной очистки сточных вод. Различаются аэрофильтры и биофильтры с пластмассовой загрузкой. Аэрофильтры отличаются от капельных биофильтров высотой загрузки фильтрующего материала и применением искусственной вентиляции.

Поверхность аэрофильтра орошается подвижным реактивным оросителем или спринклерами. На отводящих лотках устраивается водяной затвор высотой 0,2–0,25 м, который плотно закрывает междонное пространство со всех сторон. Воздух в междонное пространство подают вентиляторами.

Степень очистки в аэрофильтрах зависит от высоты фильтрующей загрузки, температуры сточной жидкости, удельного количества подаваемого воздуха и гидравлической нагрузки на поверхность фильтрующей загрузки.

Фильтрующей загрузкой для аэрофильтров может служить: гравий, шлак, керамзит, галька и заблокированные фильтрующие материалы (пеностекло, шифер и др.).

Биофильтры с пластмассовой загрузкой проектируются для очистки сточных вод с концентрацией по БПК_{полн} не более 250 мг/л. Их необходимо размещать в отапливаемых помещениях. Рабочую высоту биофильтра принимают равной 3–4 м в зависимости от температуры сточных вод и требуемой эффективности очистки (80, 85, 90 %).

В качестве загрузки в биофильтрах используются блоки из поливинилхлорида, полистирола, полиэтилена, полипропилена, полиамида, гладких или перфорированных пластмассовых труб диаметром 50–100 мм или элементы в виде обрезков труб длиной 50–150 мм и

диаметром 30–75 мм с перфорированными, гофрированными и гладкими стенками.

Аэротенки.

В аэротенках, как и в биофильтрах, происходит биохимическое окисление органических веществ, содержащихся в сточных водах, микроорганизмами, составляющими основную часть активного ила, и кислородом воздуха.

Аэротенк – это резервуар, в котором медленно движется смесь активного ила и сточных вод. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов в аэротенк должен непрерывно поступать кислород. В связи с этим смесь сточных вод с активным илом непрерывно аэрируется.

Активный ил представляет собой биоценоз микроорганизмов - минерализаторов, способных сорбировать на своей поверхности и окислять органические вещества сточных вод. Качество активного ила зависит от полноты предварительного отстаивания сточных вод, вида органических загрязнений, полноты их минерализации, интенсивности и длительности аэрации и т. д. На качество активного ила влияет также нагрузка, выражаемая количеством извлеченных из сточных вод загрязнений по БПК_{полн}, приходящихся на 1 г беззольного вещества активного ила в сутки.

Качественный активный ил способен хорошо и быстро оседать. Такая способность оценивается иловым индексом, представляющим собой объем активного ила в кубических сантиметрах после отстаивания в течение 30 мин, отнесенный к 1 г сухого вещества ила. Иловый индекс при нормальном состоянии активного ила для городских сточных вод не превышает 130 см³/г. Если его значение больше, отстаивание иловой смеси во вторичных отстойниках происходит медленно и наблюдается значительный вынос ила. Это может привести к уменьшению количества активного ила в аэротенках и нарушению процессов очистки.

Длительность аэрации бытовых сточных вод обычно не превышает 12 ч. Из аэротенков смесь сточных вод с активным илом поступает во вторичные отстойники для извлечения из воды активного ила (вторичное отстаивание). Ил, оседающий во вторичных отстойниках, частично возвращается в аэротенки (циркулирующий активный ил), а избыток (избыточный активный ил) подвергается дальнейшей обработке.

Аэротенки могут работать по одноступенчатым и двухступенчатым

схемам, а для производственных сточных вод и по трехступенчатым. Аэротенки-смесители применяются при очистке городских сточных вод с примесью значительного количества промышленных сточных вод, содержащих токсичные органические вещества в допустимых ТКП пределах.

Аэротенки, действующие по принципу вытеснителей, применяются при отсутствии залповых поступлений токсичных веществ, а также на второй ступени двухступенчатых схем.

Комбинированные сооружения типа аэротенков-отстойников (аэроакселаторы, окситенки, флототенки, аэротенки-осветлители, башенные и др.) при технико-экономическом обосновании допускается применять на любой ступени биологической очистки.

При БПК_{полн} поступающей в аэротенки воды свыше 150 мг/л, а также при наличии в воде вредных производственных примесей предусматривается регенерация активного ила.

Аэротенки позволяют получать высокую степень очистки сточных вод с доведением содержания органических веществ в очищенных сточных водах по БПК_{полн} до 15 мг/л.

11.3.3. Основы расчета сооружений биологической очистки

Расчет высоконагружаемого биофильтра (аэрофильтра).

Такие фильтры рассчитываются в соответствии требованиями ТКП по таблице № 30, в которой приведены значения коэффициента K_{af} для соответствующих температур сточных вод и высот биофильтров, количества подаваемого воздуха и гидравлических нагрузок.

Коэффициент K_{af} определяется по формуле

$$K_{af} = \frac{L_a}{L_t}, \quad (6.31)$$

где L_a – БПК_{полн} сточной воды, поступающей на очистку;

L_t – БПК_{полн} очищенной сточной воды.

По средней зимней температуре сточной воды T и найденному значению K_{af} определяем высоту биофильтра H , гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $V_{уд}$.

При очистке без рециркуляции площадь биофильтров определяется по формуле

$$F = \frac{Q}{q}, \quad (6.32)$$

где Q – расход сточной воды, идущей на очистку, $\text{м}^3/\text{с}$;

q – гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

При очистке сточных вод с рециркуляцией определяется допустимое значение БПК_{полн} смеси и рециркуляционной сточной воды, подаваемой на биофильтр, по формуле

$$L_{\text{см}} = K_{\text{af}} \cdot t. \quad (6.33)$$

Коэффициент рециркуляции определяем по формуле

$$n_p = \frac{L_a - L_{\text{см}}}{L_{\text{см}} - L_t}. \quad (6.34)$$

Площадь биофильтров будет равна:

$$F = \frac{Q \cdot (n_p + 1)}{q}, \quad (6.35)$$

где Q – расход сточных вод;

n_p – коэффициент рециркуляции.

Расчет аэротенка-вытеснителя с регенератором.

Если БПК_{полн} отстоянной сточной воды превышает 150 мг/л , то аэротенки проектируются с регенератором.

Определяем продолжительность аэрации смеси сточной воды и циркуляционного ила собственно в аэротенке по формуле

$$T_a = \frac{2,5}{a_{\text{аэр}}^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_a}{L_t}, \quad (6.36)$$

где $a_{\text{аэр}}$ – доза ила в аэротенке, $a_{\text{аэр}} = 1,5 \text{ г/л}$.

Долю расхода циркулирующего ила определяем по формуле

$$a = \frac{a_{\text{аэр}}}{a_{\text{рег}} - a_{\text{аэр}}}, \quad (6.37)$$

где $a_{\text{рег}}$ – доза ила в регенераторе, $a_{\text{рег}} = 4,0 \text{ г/л}$.

Определяем продолжительность окисления снятых загрязнений:

$$T_o = \frac{L_a - L_t}{a \cdot a_{\text{аэп}} \cdot (1 - S_{\text{л}}) \cdot \rho}, \quad (6.38)$$

где a – доля циркулирующего ила, г/л;

$S_{\text{л}}$ – зольность ила в долях от единицы, $S_{\text{л}} = 0,3$;

ρ – средняя скорость окисления загрязнений (мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила за 1 ч).

Продолжительность регенерации циркулирующего ила

$$T_p = T_o - T_a. \quad (6.39)$$

Определяем объем собственно аэротенка

$$W_a = T_a \cdot (1 + a) \cdot Q, \quad (6.40)$$

где Q – средний часовой приток сточных вод в течение суток (при T_a), определенной по формуле (6.36).

Объем регенерации будет равен:

$$W_p = T_p \cdot a \cdot Q. \quad (6.41)$$

Определяем общий объем аэротенка с регенератором:

$$W = W_a + W_p. \quad (6.42)$$

Расчетная продолжительность обработки воды будет равна:

$$T = T_a (1 + a) + T_p \cdot a. \quad (6.43)$$

Принимаем трехкоридорные аэротенки. Один коридор аэротенка отводится под регенератор.

Площадь одного коридора аэротенка

$$F = B \cdot L, \quad (6.44)$$

где B – ширина коридора, м;

L – длина секции, м.

Удельный расход воздуха в аэротенке определяется по формуле

$$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C)}, \quad (6.45)$$

где Z – удельный расход кислорода на 1 мг снятой БПК_{полн};

K_1 – коэффициент, зависящий от отношения площади аэрируемой

зоны к площади аэротенка;
 K_2 – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора;
 n_1 – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод;
 n_2 – коэффициент, учитывающий отношение скорости переноса кислорода в иловой смеси к скорости переноса его в чистой воде;
 C_p – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л;
 C – содержание кислорода воздуха в окружающей среде, мг/л.
 Интенсивность аэрации будет равна:

$$I = \frac{D \cdot H}{T}, \quad (6.46)$$

где I – интенсивность аэрации, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$;
 H – рабочая глубина, м;
 D – удельный расход воздуха в аэротенке, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

11.3.4. Теоретические основы методов глубокой очистки

Существующие очистные сооружения в основном не обеспечивают нормативные требования к сбросу очищенных сточных вод, поэтому требуется их доочистка. В большинстве случаев полная биологическая очистка для достижения нормативных требований по сбросу очищенных вод должна быть дополнена либо сооружениями фильтрации очищенных вод, либо сооружениями глубокой очистки от биогенных элементов (биологические окислители, биопруды), физико-химическими методами доочистки или комбинацией этих методов. Вышеперечисленные методы направлены на получение минимальных допустимых концентраций органических соединений, азота, фосфора и других специфических компонентов (нефтепродукты, СПАВ, тяжелые металлы и др.).

Глубокая очистка сточных вод необходима при использовании очищенных сточных вод в системах повторного и оборотного водоснабжения на промышленных предприятиях и в сельском хозяйстве. Глубина доочистки сточных вод, используемых в замкнутых системах водоснабжения предприятий, зависит от технологических требований к ее качественным показателям, и в некоторых случаях к качеству очищенной воды предъявляются очень жесткие требования.

Методы глубокой очистки можно разделить на следующие:

а) глубокая очистка сточных вод от органических загрязнений и

взвешенных веществ;

- б) глубокая очистка сточных вод от биогенных компонентов;
- в) глубокая очистка сточных вод от отдельных компонентов;
- г) удаление из очищенных сточных вод бактериальных загрязнений;
- д) насыщение сточных вод кислородом.

Наиболее распространенными методами глубокой очистки биологически очищенных сточных вод от взвешенных веществ и органических загрязнений являются процеживание и фильтрование. Процеживание сточных вод осуществляется, как правило, на микрофильтрах. При фильтровании биологически очищенной жидкости происходит снижение содержания взвешенных веществ путем изъятия частиц активного ила и накопления их в фильтрующей загрузке. Фильтрование очищенной жидкости осуществляется на самотечных фильтрах.

Традиционная биологическая очистка позволяет изъять основную массу органически загрязняющих веществ, но не может обеспечить достаточную по требованиям настоящего времени глубину удаления соединений азота и фосфора, а также органических веществ. В процессе очистки происходит трансформация и частичное (до 20–40 %) изъятие аммонийного азота и фосфора. При этом в ходе очистки протекают процессы аммонификации и последующей нитрификации азота, а также гидролиз соединений фосфора.

Среди методов очистки сточных вод от соединений азота известны следующие: биологические, физико-химические, электрохимические, методы отдувки и ионного обмена.

К наиболее эффективным методам глубокой очистки сточных вод от отдельных компонентов относятся адсорбция, позволяющая добиться снижения их до норм ПДК с одновременной утилизацией или деструкцией извлеченных веществ.

Наибольшее распространение в глубокой очистке от различных трудноизвлекаемых примесей (особенно органического происхождения) получили углеродные сорбенты (активированные угли), ионо-активные смолы и клиноптилолиты – естественные неорганические цеолитовые материалы.

11.3.5. Методы глубокой очистки от органических загрязнений и взвешенных веществ

Выбор типа сооружения глубокой очистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ осуществляется с учетом качества исходных сточных вод, требований к степени их очистки, наличия фильтрующих материалов. В связи с повышением требований к качеству очищенных сточных вод полная биологическая очистка дополняется фильтрами, биологическими прудами или физико-химическими методами доочистки. Иногда необходимая степень доочистки достигается только при использовании сорбции на активированном угле.

В последнее время в системах доочистки сточных вод применяют новые методы, сочетающие в себе достоинства фильтров и возможность биологической деструкции остаточных органических загрязнений после полной биологической очистки сточных вод при помощи прикрепленной биомассы в сооружениях, которые называют биореакторы.

В качестве загрузочного материала, на котором происходят процессы глубокого изъятия загрязнений, используются полимерные элементы типа «Контур», «Водоросль» и некоторые другие материалы. Скорость фильтрации в биореакторах принимается в диапазоне от 5 до 7 м/ч при пропуске максимального часового расхода по времени обработки сточных вод 0,5–1,0 ч. Путем простой обработки биологически очищенных сточных вод достигается снижение содержания взвешенных веществ и органических загрязнений (по БПК) с 15–50 до 1–5 мг/л.

В зависимости от степени глубокой очистки биореакторы доочистки могут быть установлены в одну или несколько степеней. Биоценоз биореактора образуется спонтанно и состоит из довольно большого количества видов различных микроорганизмов, в результате чего на загрузке развивается вполне устойчивая экосистема.

Широкое распространение для глубокой очистки сточных вод от взвешенных веществ получили методы процеживания на микрофильтрах и барабанных сетках, однако при использовании этих аппаратов в очищенной сточной воде должны отсутствовать вещества, затрудняющие промывку (смолы, жиры, масла, нефтепродукты и пр.). Концентрация взвешенных веществ в исходной воде не должна превышать 40 мг/л. Для доочистки сточных вод от взвешенных веществ применяются также и фильтры с зернистой загрузкой следующих конструкций: однослойные, с восходящим или с нисходящим потоком жидкости,

аэрируемые двухслойные и каркасно-засыпные. В качестве зернистого

фильтрующего материала применяют кварцевый и керамзитовый песок, гранитный щебень, шунгизит, гравий, горелые металлургические шлаки, окатанный речной песок и др.

11.3.6. Методы глубокой очистки от биогенных элементов

Соединения азота и фосфора, находящиеся в сточных водах, получили название биогенных элементов. Проблема удаления азото- и фосфоросодержащих соединений возникла в связи с ухудшением качества воды рек, озер и водохранилищ, вызванным эвтрофикацией, которая обуславливается наличием избыточного количества питательных элементов в поверхностных слоях воды. Все это вызывает усиленный рост водорослей и макрофитов. Водная растительность мешает прохождению в глубину водоема света, потребляет растворенный кислород и приводит к созданию условий, несовместимых с жизнью теплокровных организмов, и исчезновению фауны водоемов.

Методы удаления азота.

Различают следующие методы удаления азота: биологический и физико-химический.

Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. В процессе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота.

Биологические процессы глубокой очистки сточных вод от соединений азота можно осуществить двумя способами: с использованием биомассы (активного ила), находящейся во взвешенном состоянии; с использованием прикрепленной активной биомассы.

При этих способах могут быть использованы комбинированные и отдельные системы очистки. В комбинированных системах в одном сооружении предусматривается проведение нитрификации и денитрификации, а в отдельных системах с использованием взвешенной культуры процессы очистки сточных вод от органических веществ – нитрификация и денитрификация – осуществляются специфическими илами. После каждой ступени имеется свой вторичный отстойник.

Последовательность отдельных стадий процесса очистки может быть самой разнообразной.

Одним из возможных методов очистки сточных вод от азота является очистка в биологических прудах с массовым развитием водорослей. В результате жизнедеятельности зеленых водорослей в прудах осуществляется непосредственное потребление соединений азота из сточных вод, а также значительное снижение концентраций других остаточных загрязнений. В этом случае в технологической схеме доочистки сточных вод используют трехсекционный аэрируемый биопруд. В первых двух секциях пруда происходит доочистка сточных вод за счет развивающихся водорослей, а в третьей возможно наращивание зоопланктонных организмов, утилизирующих водоросли.

Для доочистки сточных вод от азотистых соединений с применением прикрепленной культуры ила используют фильтры с движением воды относительно неподвижного материала загрузки, а также с движением загрузки относительно воды. Движение воды может быть вниз и снизу вверх.

Физико-химические методы удаления азота делят: на хлорирование активным хлором, метод обратного осмоса, метод окисления озоном, метод отдувки аммиака, ионный метод, электрохимический метод.

Хлорирование активным хлором способствует образованию хлорноватистой и соляной кислот. Аммиак реагирует с хлорноватистой кислотой, образуя хлорамины. Прибавление активного хлора превращает хлорамины в закись азота – нерастворимый газ. Весовые отношения хлора к азоту аммиака, требуемые для хлорирования сточных вод до точки перегиба, колеблются от 8:1 до 10:1, а меньшее значение применимо для сточных вод, прошедших предварительную обработку. Недостаток чрезмерного хлорирования состоит в том, что почти весь вводимый хлор восстанавливается в ионы хлорида, что приводит к повышению концентрации растворенных солей в очищенной сточной воде.

При методе обратного осмоса применение полупроницаемых целлюлозоацетатных мембран позволяет достигать эффекта очистки от азотосодержащих соединений до 98,5 %, но использование этого метода требует тщательной предварительной очистки и умягчения воды.

Применение озонирования целесообразно лишь в случаях перехода аммонийного азота в нитратную форму. Аммиак полностью окисляется в нитрат, в результате устраняется расход кислорода на окисление азота в отходах.

Способ удаления аммиака основан на отдувке из раствора воздухом

при pH 11. С помощью воздушной отдувки можно добиться 95%-ного удаления аммиачного азота, расходуя 3000 л воздуха на 1 л воды.

Эффективность удаления аммиака при ионообмене не зависит от температуры сточных вод и значительно выше, чем при процессе отгонки аммиака, когда требуется обеспечить очень низкую концентрацию азота в воде после очистки.

Электрохимический метод удаления аммиака основан на электролизе морской воды, в результате которого выделяющаяся гидроокись магния вступает в реакцию с содержащимися в сточных водах ионами фосфора и аммиаком с образованием нерастворимой комплексной соли. В большинстве случаев при этом методе параллельно с очисткой сточных вод от соединений аммонийного азота происходит снижение концентрации соединений фосфора.

Методы удаления фосфора.

Фосфаты из сточной воды можно удалить, используя химические, физико-химические, биологические методы или биохимическим путем.

Физико-химические методы.

При адсорбционном методе фосфор поглощается поверхностью сорбента. Сорбентом служит: гранулированная окись алюминия, активированная окись алюминия, сульфат алюминия.

При способе «магнитное поле» фосфаты связывают реагентом в нерастворимые соединения, после чего вводят магнитный материал и воздействуют магнитным полем, в результате выделяется фосфатосодержащий осадок.

При удалении фосфора из сточной воды электрокоагуляционно-флотационным методом используются алюминиевые и железные электроды.

Метод кристаллизации основан на выращивании кристаллов фосфатов в сточных водах на центрах кристаллизации с последующим их удалением из системы.

При использовании химических методов обработки сточных вод ионы реагента взаимодействуют с растворимыми солями ортофосфорной кислоты, вследствие чего происходит образование мелкодисперсного коллоидного осадка фосфата.

Удаление фосфора химическими и физико-химическими способами в настоящее время ограничено. Эти методы имеют ряд недостатков: высокая стоимость реагентов, необходимых для применения этих методов, вторичные загрязнения, образующиеся после применения коагулянта.

Биологические методы.

Основным методом биологического изъятия фосфора является метод с анаэробной обработкой возвратного рециркуляционного активного ила. Применение такой технологии позволяет извлекать фосфаты с эффективностью примерно 90 %. По данной технологии удаление фосфора происходит с избыточным илом и иловой водой, образующейся в сооружении для анаэробной и аэробной обработки.

11.4. Обработка, обеззараживание и утилизация осадков сточных вод

11.4.1. Состав и свойства осадков сточных вод и способы их обработки

В процессе механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические и минеральные компоненты.

В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные.

К первичным осадкам относятся грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле. Ко вторичным осадкам относятся примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессе биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образующие твердую фазу.

Состав осадков по размеру частиц отличается большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки первичные. *Осадки грубые (отбросы)* задерживаются решетками. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения.

Количество отбросов, задерживаемых решетками с прозорами 16–20 мм, на одного человека в год составляет в среднем 8 л при влажности 80 % и объемной массе 750 кг/м³.

Осадки тяжелые задерживаются песколовками. В их состав обычно входят песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п. При проектировании количество задерживаемых тяжелых

примесей принимают 0,02 л на одного человека в сутки, или 7,2 л в год, при влажности 60 % и объемной массе 1,5 т/м³.

Осадки плавающие задерживаются жиroleвками или всплывают в отстойниках. Количество этих примесей в бытовых стоках на одного человека в год составляет 2 л при влажности 60 % и объемной массе 0,6 т/м³.

Осадки сырые задерживаются первичными отстойниками. В бытовых сточных водах эти осадки представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75–80 % и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95 %, а при удалении из отстойника плунжерными насосами – 93–94 %.

Механический состав осадков из первичных отстойников отличается большой неоднородностью. Величина отдельных частиц колеблется от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки вторичные. *Активный ил*, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет собой биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет собой хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, гнивая, издает специфический гнилостный запах.

По механическому составу активный ил относится к тонким суспензиям, состоящим на 98 % по массе из частиц размером менее 1 мм.

Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью (99,2–99,7 %).

Шламы, которые задерживаются отстойниками или другими сооружениями после физико-химической очистки, выделяются в результате локальной очистки или доочистки промышленных сточных вод с применением реагентной обработки, фильтрования, электролиза, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса, экстракции и других методов.

Осадки, сброженные в анаэробных условиях. Структура осадка, сброженного в метантенках, двухъярусных отстойниках и других сооружениях анаэробного сбраживания, мелкая и однородная, цвет почти черный или темно-серый. Осадки отличаются высокой

текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта. В метантенках распад осадков сопровождается выделением большого количества газа – метана, весьма ценного для использования.

Осадки из аэробных стабилизаторов. Степень распада органического вещества при аэробной стабилизации значительно меньше, чем при анаэробных процессах, но оставшаяся часть достаточно стабильна. После аэробной стабилизации осадки уплотняются в отстойниках за 5–15 ч до влажности 96–98 %.

Существует три вида сооружений по обработке осадка:

- 1) септики, или септиктенки;
- 2) двухъярусные отстойники;
- 3) осветлители-перегниватели.

Для обработки осадка используют следующие способы:

1) подсушивание осадка естественным путем, с использованием для этого иловых площадок. Недостаток – требуются большие земельные площадки;

2) механический способ: центрифугирование, фильтр-прессование, фильтрование;

3) термический способ – обезвоженные осадки сжигают в много-подовых или барабанных печах, в реакторах совзвешенным слоем.

11.4.2. Типы сооружений для обработки осадков

Септики (гнилостные резервуары).

Септиками называются сооружения, в которых одновременно происходят осветление сточной жидкости, длительное хранение и перегнивание выпавшего осадка. Осадок хранится 6–12 мес. Под влиянием накопившихся анаэробных микроорганизмов осадок разрушается, нерастворимые органические вещества превращаются частично в газообразный продукт, частично в растворимые минеральные соединения. В септиках сточная жидкость подвергается осветлению в течение длительного времени (от 1 до 3 сут), что обеспечивает высокий эффект осветления. Однако септики обладают существенными

недостатками. Они имеют очень большие размеры. Кроме того, частицы осадка, увлекаемые пузырьками газа (метана, сероводорода), образующимися в результате перегнивания осадка, создают на поверхности септика толстую корку, которая затрудняет процесс его эксплуатации. Частицы ила, освобожденные от газа, снова опускаются вниз на дно. Такая циркуляция хлопьев осадка частично загрязняет уже осветленную воду. По этой причине область применения септиков в настоящее время весьма ограничена. Септики можно рекомендовать для очистки сточных вод, поступающих от отдельно стоящих зданий или группы зданий (при расходе воды не более $25 \text{ м}^3/\text{сут}$), и особенно в тех случаях, когда последующей ступенью очистки сточной воды являются поля подземной фильтрации, фильтрующие траншеи или фильтрующие колодцы.

При расходе сточных вод до $5 \text{ м}^3/\text{сут}$ полный расчетный объем септика принимают равным 3-суточному притоку, а при расходе более $5 \text{ м}^3/\text{сут}$ – не менее 2,5-кратного притока. При определении размеров иловой части септика необходимо учитывать, что вследствие перегнивания (распада) осадка количество его уменьшается на 30 %; кроме того, при долгом лежании он уплотняется. Влажность осадка, сброженного в септике, составляет в среднем 90 %.

Септики обычно выполняют из бетона или кирпича и в редких случаях из дерева. По своей конструкции они подразделяются: на много-

камерные и однокамерные. Однокамерные септики рекомендуется применять при расходах сточных вод не более $1 \text{ м}^3/\text{сут}$, двухкамерные – до $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ и трехкамерные – при расходах более $10 \text{ м}^3/\text{сут}$.

В двухкамерных септиках объем первой камеры следует принимать 0,75, а в трехкамерных – 0,5 расчетного объема. Многокамерные этим объемом второй и третьей камер надлежит принимать по 0,25 расчетного объема. Эти септики выполняют из сборного железобетона. На рис. 6.10 изображен многокамерный септик из железобетонных колец $d = 2000 \text{ мм}$. Впуск в септик и выпуск из него сточной воды можно осуществлять с помощью тройников. Иногда для задержания всплывающих в септике веществ устанавливают доску, погруженную на 50 см ниже уровня воды.

Рис. 6.10. Многокамерный септик из железобетонных колец

Осветлители-перегниватели.

Для высококонцентрированных сточных вод, к которым относятся сточные воды мясокомбинатов, разработана конструкция осветлителя-перегнивателя (рис. 6.11), являющаяся развитием двухъярусных отстойников. Сточные воды по лотку 1 подаются в центральную трубу 6, к концу которой прикреплен отражательный щит. Напор воды, равный 0,6 м, обусловленный разностью отметок уровня сточной жидкости на входе в трубу и в осветлителе, обеспечивает скорость движения в трубе 0,5–0,7 м/с, необходимую для засасывания воздуха из атмосферы. Воздушная смесь из трубы 6 поступает в камеру флоккуляции 9, где сточная жидкость находится 20 мин, затем направляется в отстойную камеру 7, проходя образовавшийся взвешенный слой. Продолжительность пребывания в отстойной камере составляет не менее 70 мин.

Рис. 6.11. Осветлитель-перегниватель:

- 1 – подающий лоток; 2 – лоток для удаления корки;
- 3 – сборный лоток; 4 – илораспределительная труба;
- 5 – труба для удаления корки; 6 – подающая труба;
- 7 – отстойная камера; 8 – отражательный щит; 9 – камера флоккуляции; 10 – иловая труба; 11 – камера для сбраживания осадка; 12 – труба для удаления сброженного осадка;
- 13 – лоток для отвода осветленной воды

Осадок, выпавший на дно осветлителя, по трубе 10 направляется в приемный резервуар насосной станции, откуда насосом по напорному водоводу подается в верхнюю зону перегнивателя, в которой осадок подвергается сбраживанию. Для предупреждения образования корки в иловой камере осадок периодически перемешивается.

Вместимость перегнивателя определяют по суточной дозе загрузки осадка, в зависимости от влажности осадка и среднесуточной температуры сточных вод; суточную дозу загрузки осадка – по таблице.

Осветлители-перегниватели обладают рядом преимуществ. Разделение зон осветления и сбраживания исключает попадание осадка в очищенную воду, а перемешивание осадка в иловой камере способствует более интенсивному течению процесса минерализации.

В осветлителях-перегнивателях возможно загнивание сточных вод, что ухудшает качество очищенной воды.

Двухъярусные отстойники.

Двухъярусные отстойники представляют собой сооружения

цилиндрической или прямоугольной формы с коническим или пирамидальным днищем. В верхней части сооружений расположены осадочные желоба (рис. 6.12), а в нижней – гнилостная камера. Осадочный желоб выполняет функции горизонтального отстойника. В этом желобе вследствие небольшой скорости движения воды выпадает большая часть взвешенных и незначительная часть коллоидных веществ. Внизу осадочного желоба по всей его длине устроена щель, через которую выпавший осадок проваливается вниз в иловую камеру. Нижние границы осадочного желоба перекрывают одна другую на 0,15 м. Такое устройство щели предотвращает возможность заражения осветленной воды продуктами гниения, которые выделяются при брожении осадка.

Впуск в осадочный желоб и выпуск из него сточной воды происходят так же, как и в обычном горизонтальном отстойнике, с помощью водосливных желобов и полупогруженных досок. При таком устройстве впуска сточной воды глубину осадочного желоба следует назначать 1,2–2,5 м, так как при большей глубине нельзя достичь равномерного распределения сточной воды по всему сечению желоба. Перегнивший ил удаляется из иловой камеры по иловой трубе диаметром 200 мм самотеком под гидростатическим давлением столба жидкости 1,5–1,8 м.

Рис. 6.12. Одиночный двухъярусный отстойник;

- 1 – выпуск ила; 2 – плавающие доски; 3 – настил из досок; 4 – бетон марки 50;
5 – съемный щит; 6 – отводящий лоток; 7 – подающий лоток;
8 – распределительный лоток

Двухъярусные отстойники применяют обычно на небольших и средних очистных станциях производительностью до 10000 м³/сут. Осадок, выпавший в иловую камеру, сбраживается под влиянием гнилостных анаэробных бактерий, которые расщепляют сложные органические вещества (жиры, белки, углеводы) первоначально до кислот жирного ряда, а затем разрушают их до конечных, более простых продуктов: метана, углекислоты и частично сероводорода. Нормальный процесс анаэробного разрушения органических веществ обычно протекает в щелочной среде ($pH > 7$).

В двухъярусных отстойниках не предусматривается искусственный подогрев осадка. Температура в них поддерживается естественно в

пределах 10–15 °С, поэтому процесс перегнивания осадка занимает длительное время (60–180 дней). Для такого длительного хранения ила иловую камеру следует делать большого размера.

Расчет двухъярусного отстойника состоит в том, чтобы определить размеры осадочного желоба и иловой камеры. Задавшись продолжительностью пребывания воды в желобе t (по ТКП) и высотой желоба H , вычисляют скорость выпадения взвешенных веществ по формуле

$$v = \frac{H}{3,6 \cdot t}, \quad (6.47)$$

где v – скорость осаждения взвешенных веществ, мм/с;

H – высота желоба, м;

t – продолжительность пребывания сточной воды в желобе.

Далее определяют эффект выпадения взвешенных веществ в зависимости от v и концентрации взвешенных веществ. Обычно эффективность задержания взвешенных веществ составляем 45–50 %.

Объем всех желобов и площадь живого сечения одного желоба вычисляют по формулам:

$$W_{\text{жел}} = qt; \quad (6.48)$$

$$\omega = b \cdot h_1 + \frac{bh_2}{2}; \quad \omega = \frac{W_{\text{жел}}}{L \cdot n \cdot n_{\text{жел}}}, \quad (6.49)$$

где $W_{\text{жел}}$ – объем всех желобов, м³;

q – максимальный секундный расход сточных вод, м³/с;

t – продолжительность протекания воды в желобе, ч;

ω – площадь живого сечения желоба, м²;

b – ширина желоба, м;

h_1 – высота прямоугольной части желоба, м;

h_2 – высота треугольной части желоба, м;

L – длина желоба (принимается в соответствии с выбранным диаметром типового двухъярусного отстойника), м;

n – количество двухъярусных отстойников;

$n_{\text{жел}}$ – число желобов в отстойниках.

Скорость движения воды в осадочных желобах двухъярусного отстойника назначают не более 7 мм/с (лучше 4–5 мм/с). Наклон стенок нижней (конической) части осадочного желоба принимают

равным 50–60° к горизонту.

Для двухъярусных отстойников малого размера (диаметром до 5 м) обычно предусматривают один желоб, при больших размерах – два желоба, но с таким расчетом, чтобы площадь, не занятая желобами, составляла не менее 20 % общей площади отстойника в плане.

Объем иловой камеры $W_{ил}$ принимают в зависимости от температуры воды:

Средняя зимняя температура сточной воды, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Объем иловой камеры на одного жителя, л/год	110	95	80	65	50	30	15

Общий объем всех иловых камер определяют по формуле

$$W_{общ} = W_{ил} \cdot N_{пр}, \quad (6.50)$$

где $N_{пр}$ – приведенное число жителей.

Для лучшего сползания ила вниз нижняя часть илового пространства делается в виде конуса с уклоном не менее 30°.

В конструктивном отношении двухъярусные отстойники различают по очертанию в плане, числу желобов и числу иловых камер. Чаще применяют круглые отстойники, реже – прямоугольные. По числу иловых камер они разделяются: на одиночные и спаренные. Двухъярусные отстойники могут быть железобетонные и кирпичные. Наиболее распространены железобетонные отстойники, кирпичные применяют только для небольших установок.

Метантенки, иловые площадки.

Метантенк представляет собой цилиндрический или прямоугольный железобетонный резервуар с коническим днищем, предназначенный для сбраживания осадка. Для ускорения процессов брожения в метантенке используют различные приемы, например подогрев ила и его перемешивание. Осадок подогревают обычно до температуры 33 или 53 °С острым паром, подаваемым в метантенк с помощью инжектирующих устройств, или водой, температура которой достигает 60 °С,

и которая циркулирует по змеевикам, уложенным внутри метантенка. Кроме того, осадок можно подогреть в теплообменных аппаратах вне метантенка. Перемешивают осадок либо с помощью насосов, забирающих его из нижней части камеры и подающих в верхнюю часть, либо гидроэлеваторами совместно с насосами, либо специальными мешалками.

Процессы брожения ила в метантенках в основном аналогичны таким же процессам в двухъярусных отстойниках, но в результате искусственного повышения температуры и перемешивания распад сложных органических веществ идет значительно быстрее. Нормальные условия для брожения создаются в щелочной среде.

В зависимости от температуры сбраживания различают мезофильный режим (при температуре 33 °С) и термофильный (при температуре около 53 °С). Режим выбирают на основании технико-экономических расчетов с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков и санитарных требований.

Количество образующихся газов (метана и угольной кислоты) зависит от количества и состава осадка, а интенсивность их выделения – от температуры брожения и режима загрузки метантенка свежими порциями осадка. Исследования показали, что в метантенках степень распада органического вещества составляет в среднем 40 %. Наибольшему распаду подвергаются жироподобные вещества и углеводы. При сбраживании выделяются газы: метан – примерно 6–64 % и угольная кислота – 32–33 %.

Сброженный осадок, выгружаемый из метантенков, двухъярусных отстойников или других сооружений, имеет высокую влажность: например, из двухъярусных отстойников осадок выходит с влажностью около 90 %, из метантенков – 96–97 %. Для дальнейшего использования осадок должен быть подвергнут сушке. Существуют различные приемы сушки осадка; самым распространенным является сушка на иловых площадках, где осадок должен быть подсушен в среднем до влажности 75 %, вследствие чего его объем уменьшается в 3–8 раз.

Иловые площадки состоят из спланированных участков земли (карт), окруженных со всех сторон земляными валиками (рис. 6.13). Осадок наливается на карты иловых площадок периодически слоями 0,2–0,25 м. По мере подсыхания часть влаги осадок теряет в основном за счет испарения, а часть влаги фильтруется через грунт. Ил, подсушенный до влажности 75 %, легко погружается на транспортные средства и отвозится к месту использования.

Иловые площадки обычно устраивают на естественном основании с дренажем или без дренажа, если уровень грунтовых вод залегает на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и в тех случаях, когда по санитарным условиям допускается проникание иловой воды в грунт. При меньшей глубине залегания грунтовых вод следует понижать их уровень. Если опасность загрязнения грунтовой воды не исключается, площадку устраивают на искусственном основании, препятствующем попаданию профильтровавшейся загрязненной воды в грунтовый поток. При наличии плотных и водонепроницаемых грунтов, а также при недостатке территории иловые площадки рекомендуется устраивать на естественном основании с трубчатым дренажем, заключенным в специальные дренажные каналы, заполненные щебнем

или гравием крупностью 2–6 см. Расстояние между дренажными канавами следует принимать 6–8 м, начальную глубину канавы – 0,6 м с уклоном 0,003.

Размеры карт принимают в зависимости от местных условий, обеспечивая удобства для эксплуатации. Ширину отдельных карт назначают 10–40 м, длину – 100–150 м, рабочую глубину слоя осадка – 0,7–1,0 м, а высоту оградительных валиков – на 0,3 м выше рабочего уровня. Размеры одной карты назначают с таким расчетом, чтобы при выпуске осадка за один раз вся карта была заполнена слоем осадка не более 0,25 м в летнее время и 0,5 м в зимнее. Высота валика с учетом намораживания осадка в зимнее время принимается не более 1,2 м.

Рис. 6.13. Иловые площадки:

- 1 – кювет оградительной канавы; 2 – дорога; 3 – сливной лоток; 4 – бруски, поддерживающие илоразводящий лоток; 5 – илоразводящий лоток;
- 6 – дренажный колодец; 7 – сборная дренажная труба; 8 – дренажный слой;
- 9 – дренажные трубы; 10 – съезд на карту; 11 – дренажная канава; 12 – шиберы;
- 13 – деревянный щит под сливным лотком; К-1, К-2, К-3, К-4, К-5 – колодцы

Ил подводят к площадкам и месту выгрузки по трубам или лоткам, укладываемым с уклоном 0,01–0,03. Расстояние между выпусками в зависимости от размеров карт принимают от 10 до 50 м.

На очистных станциях производительностью более 10000 м³/сут можно применять иловые площадки, на которых происходят уплотнение осадка и поверхностное удаление выделившейся иловой воды. Площадки выполняются в виде каскада, имеющего 4–7 ступеней. В каждом каскаде устраивают 4–8 карт. Полезная площадь одной карты составляет 0,25–1,0 га, ширина карты – 30–80 м, а длина находится в пределах 80–160 м. Высота оградительных валиков не должна превышать 2,5 м. Иловая вода, которая выделилась, собирается и перекачивается на очистные сооружения. Количество иловой воды составляет 30–50 % от объема обезвоживающихся осадков.

11.4.3. Индивидуальные очистные сооружения

К классу индивидуальных очистных сооружений относят сооружения, пропускная способность которых не превышает 25 м³/сут. Индивидуальные очистные сооружения предназначены для очистки бытовых сточных вод от отдельно стоящих домов или от группы зданий. Бытовые сточные воды формируются из двух основных

потоков: первый – хозяйственный (или, как его еще называют, «серый»), который включает сточную воду от умывальников, кухонных раковин, ванн, душа, стирки и т. п.; второй – фекальный (или «черный») – от унитазов и писсуаров. Масса фекалий от одного взрослого человека составляет около 1500 г/сут (из них мочи – около 1250 г). Количество «серых» сточных вод зависит от степени благоустройства жилища и составляет

от 15–40 л/чел. в сутки при отсутствии централизованного водопровода и до 100–200 л/чел. в сутки при его наличии или автономном водоснабжении здания. Непосредственно на формирование фекального стока затрачивается около 15 л/чел. в сутки чистой воды. Хозяйственные и фекальные сточные воды очень сильно различаются по своему физико-химическому составу и иногда их целесообразно не объединять в единый поток, а обезвреживать раздельно.

Септик применяется для механической очистки сточных вод перед сооружениями естественной биологической очистки (рис. 6.14). Изготавливают септики из сборного или монолитного железобетона, кирпича с соответствующей гидроизоляцией. Септики заводского изготовления могут быть из металла или пластмассы. Производительность септика составляет 0,4–12 м³/сут, а при соответствующем обосновании – до 25 м³/сут. Время пребывания сточной жидкости в септике составляет от 1 до 3 сут, а выпавшего осадка – от 6 до 12 мес. За время пребывания в септике осадок уплотняется и частично подвергается анаэробному разложению, влажность его к моменту выгрузки составляет около 90 %.

Рис. 6.14. Септики:

- а* – двухъярусный; *б* – круглый односекционный; *в* – круглый двухъярусный; *г* – прямоугольный на четыре секции; 1 – зона отстаивания; 2 – перепускные отверстия; 3 – вентиляционные трубы; 4 – удаление продуктов распада; 5 – септическая часть; 6 – подача сточных вод; 7 – отвод осветленных сточных вод; 8 – сифон; 9 – переливная труба; 10 – люк колодца

При расходе сточных вод до 5 м³/сут полный расчетный объем септика следует принимать равный 3-суточному притоку, свыше 5 м³/сут – 2,5-суточному.

При расходе до 1 м³/сут применяют однокамерные септики, до 10 м³/сут – двухкамерные и при больших расходах – трехкамерные. В двухкамерных септиках объем первой камеры составляет 0,75

расчетного объема, в трехкамерных – 0,5, вторая и третья камеры – соответственно по 0,25 расчетного объема.

Объем иловой части септика ($W_{\text{ил}}$, м³) определяется по формуле

$$W_{\text{ил}} = 0,1875 NT / 1000, \quad (6.51)$$

где 0,1875 – расчетное суточное количество осадка на 1 человека, л;

N – число жителей, пользующихся септиком, чел.;

T – период между опорожнениями иловой части септика, сут.

Осадок из септика удаляется через иловыжимную трубу насосом или путем откачки в ассенизационную машину. Около 20 % осадка необходимо оставлять в иловой камере для затравки вновь поступающего осадка анаэробными микроорганизмами, что ускоряет процесс его разложения.

Основным недостатком септика является образование корки на поверхности воды, что существенно затрудняет выход газа (метана и сероводорода). Также наблюдается циркуляция осадка в толще очищаемой воды – подъем с пузырьками газа выпавшего осадка и его осаждение при избавлении от них. Этот недостаток, приводящий к загрязнению уже очищенной жидкости, позволяет устранить конструкция двухъярусного септика (рис. 6.14, б).

Двухъярусный септик разделен отстойными желобами на две части – отстойную зону и септическую, при этом газы в отстойную зону не попадают. Впуск и выпуск сточной воды оборудуются в септике с помощью полупогружных досок, или тройниками, что позволяет исключить прямоток и осуществить забор очищенной воды из-под уровня. Верхняя часть тройника должна возвышаться над уровнем воды в септике не менее чем на 200 мм, а нижняя – погружена в воду на 300–400 мм. Лоток подводящей трубы располагается не менее чем на 0,05 м выше расчетного уровня воды в септике. Между перекрытием септика и расчетным уровнем воды должно быть пространство не менее 0,35 м. Сверху септик перекрывается крышкой (плитой) с люком, имеющим вентиляционное отверстие, гидроизолируется и покрывается слоем земли толщиной 0,5 м. Обработанная в септике жидкость поступает в фильтрующие колодцы, на поля подземной фильтрации или в фильтрующие траншеи.

Эффект очистки сточных вод в септике по БПК_{полн} достигает 35 %, а по взвешенным веществам – 70–95 %.

Фильтрующие колодцы, как правило, применяют для почвенной очистки сточных вод после септика при расходах до 1 м³/сут. Возможна

непосредственная очистка в фильтрующих колодцах так называемых серых стоков – бытовых сточных вод, не содержащих фекалии и жиры, например от умывальников, душевых или ванных комнат. Фильтрующая поверхность колодца определяется площадью его дна и перфорированных стенок. Пропускная способность фильтрующего колодца зависит от вида грунта. В песчаных грунтах она принимается из расчета 80 л/сут на 1 м² фильтрующей поверхности, в супесчаных – 40 л/сут. Фильтрующие колодцы строят из кирпича, сборного или монолитного железобетона, чаще всего из железобетонных колец диаметром

1,5–2,0 м и высотой до 2 м. Днище и стенки фильтрующих колодцев обсыпают щебнем крупностью 40–60 мм. Внутри колодца засыпают такой же щебень слоем до 1 м. Общий вид фильтрующего колодца представлен на рис. 6.15.

Эффект очистки сточных вод по БПК_{полн} и по взвешенным веществам в фильтрующем колодце может достигать 100 %.

Рис. 6.15. Фильтрующий колодец:
1 – вентиляционная труба; 2 – отражающая плита;
3 – подача осветленной сточной жидкости

Поля подземной фильтрации применяются на песчаных и супесчаных грунтах и представляют собой систему оросительных труб, уложенных на глубину 0,6–0,9 м, но не менее 1 м выше уровня грунтовых вод. В состав системы водоотведения с полями подземной фильтрации входят: септик, дозирующие и распределительные устройства, сеть оросительных труб.

Дозатор, питающий распределительную систему полей подземной фильтрации, должен обеспечивать выброс не менее 20 % осветленной в септике сточной жидкости от объема всей дренажной сети на орошаемом участке для легких суглинков и не менее 50 % для супеси и песка. Обычно в качестве дозатора применяются сифоны.

Оросительная система состоит из керамических, перфорированных асбестоцементных или пластмассовых труб, уложенных с уклоном 0,001–0,003 в сторону течения в песчаных грунтах и горизонтально (без уклона) – в супесчаных или суглинистых. Диаметр фильтрационных труб должен быть 100–150 мм, ширина перфорационного пропила (на глубину около половины диаметра трубы) – около 15 мм, расстояние между пропилами – 0,2 м. Оросительные трубы рекомендуется

укладывать на подсыпку из мелкого гравия, щебня, битого кирпича или шлака и т. д. слоем 20–50 мм.

При расходе сточной жидкости свыше $0,5 \text{ м}^3/\text{сут}$ оросительные трубы укладываются параллельно на расстоянии 1,5–2,0 м в песчаных и до 2,5 м в супесчаных грунтах. В конце оросительных труб необходимо устроить либо индивидуальный вентиляционный стояк, либо предусмотреть общий вентиляционный коллектор с одним стояком. Высота вентиляционного стояка должна быть не менее 0,5 м над поверхностью земли. Общий вид полей подземной фильтрации представлен на рис. 6.16.

Эффект очистки сточных вод по БПК_{полн} и по взвешенным веществам на полях подземной фильтрации составляет до 100 %.

Фильтрующие траншеи устраиваются на слабофильтрующих грунтах (суглинки, глины) и представляют собой искусственные углубления, в которые уложены оросительные и дренажные сети. Такие траншеи размещают обычно вблизи оврагов, траншей, болот или водоемов, в которые самотеком поступают очищенные сточные воды. Длина фильтрующей траншеи определяется расчетом, но не должна превышать 30 м, ширина траншеи по низу – не менее 0,5 м. Заглубление оросительной сети – не менее 0,5 м.

Пространство между оросительной и дренажной сетью, расположенной под оросительной сетью на глубине 0,8–1,0 м, заполняется крупным песком. Расстояние между осями отдельно расположенных фильтрующих траншей составляет около 3 м. Нагрузка на 1 м протяженности фильтрующей траншеи – 50–70 л/сут. Общий вид фильтрующей траншеи представлен на рис. 6.17.

Рис. 6.16. Поля подземной фильтрации:

- a* – план; *б* – продольный разрез; *в* – поперечный разрез;
- г* – то же, при укладке на слой щебня шлака или крупного песка;
- 1 – распределительный лоток оросительной трубы;
- 2 – оросительные трубы; 3 – вентиляционный коллектор;
- 4 – вентиляционный стояк; 5 – пропилены; 6 – рубероид
- толь, промасленная бумага и т. п.; 7 – засыпка из местного
- грунта; 8 – засыпка щебнем, шлаком или крупным песком

Песчано-гравийные фильтры конструктивно похожи на фильтрующие траншеи. Однако расстояние между оросительными и дренажными трубами составляет 1,0–1,5 м по высоте, и они размещаются в котловане параллельными линиями также на расстоянии

1,0–1,5 м. Оросительные и дренажные трубы обсыпаются крупнозернистым фильтрующим материалом – гравием, щебнем или котельным шлаком (толщина обсыпки – 15–20 см), а остальное пространство между ними заполнено крупным песком. Нагрузка на 1 м длины примерно такая же, как и у фильтрующей траншеи. Общий вид песчано-гравийного фильтра представлен на рис. 6.18.

Рис. 6.17. Фильтрующая траншея:

1 – подача осветленной сточной жидкости; 2 – вентиляционные трубы;
3 – оросительная сеть; 4 – дренажная сеть

Рис. 6.18. Песчано-гравийный фильтр:

1 – подача осветленной сточной жидкости; 2 – вентиляционная труба;
3 – оросительная сеть; 4 – дренажная сеть

Компактные блоки очистных сооружений (КБС), предназначенные для очистки бытовых и близких к ним по составу сточных вод от отдельно стоящих объектов (коттеджи, пункты питания, блокпосты и т. п.) производительностью 1–6, 10–25, 50 м³/сут, разработаны МГСУ и ОАО ЦНИИЭП инженерного оборудования.

Технологический процесс включает в себя нитрификацию и денитрификацию сточных вод в аэротенках с инертным плоскостным носителем микрофлоры. В состав сооружений входит двухъярусный отстойник, выполненный в виде отстойного желоба, аэротенки с инертным носителем микрофлоры, осветлитель очищенных сточных вод со встроенным высокопористым фильтром доочистки, установка обеззараживания сточных вод. В ходе очистки происходит снижение: БПК_{полн} – с 300 до 3 мг/л; взвешенных веществ – с 260 до 3 мг/л; азота аммонийного – с 15 до 0,4–0,5 мг/л; фосфатов – с 11 до 0,25 мг/л и СПАВ – с 8–10 до 0,05 мг/л. Насыщение сточной жидкости кислородом осуществляется аэраторами при помощи компрессоров или эжекторов. Обработка осадка осуществляется в двухъярусном отстойнике с последующим вывозом ассенизационной машиной. Сооружение выполняется из металла с внутренними перегородками, в плане круглое, многогранное или прямоугольное. Технологическая схема блока КБС-2-4 представлена на рис. 6.19.

Создана серия *компактных очистных сооружений «Контакт»* пропускной способностью от 0,5 до 25 м³/сут (рис. 6.20).

На этих установках происходит биохимическая очистка

хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод с БПК_{полн} не более 500 мг/л и содержанием взвешенных веществ не более 300 мг/л. Установка работает в режиме продленной аэрации. Объем емкостей рассчитывается на максимальный суточный расход сточных вод с учетом объема иловой смеси (25–30 % от суточного расхода сточных вод). При производительности до 8 м³/сут установка состоит из аэротенка-отстойника и емкости контактного резервуара

в качестве аэратора в ней применяется вертикальный водовоздушный эжектор с погружным моноблочным насосом типа «Гном». Установки производительностью от 12 до 25 м³/сут состоят из двух емкостей: аэротенков-отстойников и емкости контактного резервуара, а эжекторные аэраторы питаются от горизонтальных или вертикальных насосов, расположенных в отдельном (сухом) колодце или насосной станции.

Установка «Контакт» работает следующим образом. При подаче сточной жидкости и работе в режиме аэрации уровень жидкости в установке поднимается и за 1 ч до достижения максимума отключается насос, питающий эжектор, и начинается осаждение ила. При достижении максимального уровня жидкости включается насос для откачки очищенных сточных вод. Когда уровень сточных вод понизится до минимума, насос откачки отключается и включается насос, питающий эжектор. Цикл повторяется. Расчетная степень очистки сточных вод по БПК_{полн} – 95–98 % и по взвешенным веществам – 95 %.

Рис. 6.19. Компактный блок очистных сооружений (КБС):

- 1 – решетка; 2 – остойный желоб;
- 3 – сбраживатель; 4 – аэротенк с плоскостным инертным наполнителем; 5 – осветлитель с тонкослойным отстаиванием; 6 – высокопористый фильтр; 7 – погружной насос с эжектором; 8 – контактный резервуар;
- 9 – шкаф системы КИП и А и обеззараживания

Рис. 6.20. Установка «Контакт»:

- 1 – подача сточной жидкости;
- 2 – емкость аэротенка; 3 – центральная цилиндрическая сетка;
- 4 – эжекторный аэратор; 5 – циркулярный насос;
- 6 – насос для откачки очищенных сточных вод; 7 – выпуск очищенной воды

Септик ORM (Италия) имеет модельный ряд, рассчитанный на количество пользователей от 5 до 35 человеко-эквивалентов.

Сооружение представляет собой отлитый из стеклопластика цилиндрический резервуар, разделенный внутри перегородками на пять камер. Первые четыре камеры представляют собой ступенчатый септик, а последняя – узел дезинфекции, осуществляемой специальными хлорсодержащими таблетками. Последние секции четырехкамерного септика могут быть использованы в качестве аэробных биохимических реакторов, для чего в комплекте установки ORM имеется компрессор, комплект
воздуховодов и аэраторов и эрлифт. Установка оборудована инспекционным смотровым люком, крышка которого способна выдержать вес автомобиля.

К очистным сооружениям малых городов и поселков городского типа следует отнести станции пропускной способностью от 500 до 10000 м³/сут. Характерной особенностью небольших населенных пунктов является не только высокий коэффициент неравномерности поступления сточных вод на очистку, изменяющийся от 1,55 до 2,5 и выше, но во многих случаях резкие изменения концентрации загрязнений в сточных водах за счет поступления промышленных стоков. По данным обследований, многие ранее запроектированные и построенные очистные сооружения небольших населенных пунктов либо вообще не работают, либо работают со значительной перегрузкой по воде и концентрациям загрязнений. В зарубежной практике для уменьшения влияния неравномерности притока и колебаний качественного состава загрязнений в технологическую схему введены усреднители.

Другой особенностью очистных сооружений небольших населенных пунктов является применение упрощенных технологических схем с использованием сооружений заводской готовности. Это связано с тем, что для изготовления этих очистных сооружений используют обычную конструкционную сталь марки Ст3 без специальной обработки металла. Поэтому при разработке современных очистных сооружений необходимо использовать или нержавеющую сталь, или изготавливать сооружения из монолитного железобетона.

Станции пропускной способностью 500–15000 м³/сут с применением биофильтров с плоскостной загрузкой.

Технологическая схема очистки сточных вод с применением биофильтров с плоскостной загрузкой включает следующие сооружения:

- приемная камера и решетки;

- тангенциальные песколовки;
- первичный вертикальный отстойник;
- насосная станция биофильтров;
- биореакторы доочистки сточных вод;
- сооружения дезинфекции сточных вод на установках ультрафиолетового облучения или хлораторная на жидком гипохлорите;
- производственно-вспомогательное здание, в котором расположены: компрессорная для регенерации биореакторов или ленточный фильтр-пресс для обработки смеси сырого осадка и омертвевшей биопленки;
- песковые бункера или площадки;
- аварийные иловые площадки.

На рис. 6.21 приведена технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 1000–10 000 м³/сут. Основным элементом биологической очистки является биофильтр с плоскостной загрузкой. Из всех приведенных выше технологических схем очистки сточных вод небольших населенных пунктов наиболее простой в эксплуатации является очистка сточных вод на биофильтрах с плоскостной загрузкой.

Рис. 6.21. Технологическая схема очистки сточных вод небольшого населенного пункта на биофильтрах с плоскостной загрузкой пропускной способностью 1000–10000 м³/сут:

- 1 – поступающая сточная вода; 2 – приемная камера с решеткой; 3 – тангенциальные песколовки; 4 – первичный вертикальный отстойник; 5 – насосная станция биофильтров; 6 – биофильтры с плоскостной загрузкой; 7 – вторичный вертикальный отстойник; 8 – биореактор доочистки; 9 – жидкий гипохлорит натрия; 10 – контактные резервуары; 11 – очищенная сточная вода; 12 – фильтр-пресс; 13 – аварийные иловые площадки; 14 – песковые площадки или бункера

Сточные воды, поступающие в приемную камеру очистных сооружений, проходят очистку на решетках и далее в песколовках и первичных вертикальных отстойниках. После механической очистки сточная вода собирается в насосной станции с погружными насосами, которые подают ее в оросительную сеть биофильтров. В качестве оросителей биофильтров принята водоструйная система орошения, которая обеспечивает равномерное орошение поверхности загрузочного материала. Высоту слоя загрузочного материала биофильтров следует принять 6 м.

После биологической очистки в биофильтрах с плоскостной загрузкой очищенная сточная вода проходит осветление во вторичных отстойниках, доочистку в биореакторах и после дезинфекции сбрасывается в водоем.

Станции пропускной способностью 500–15000 м³/сут.

В зависимости от применяемых сооружений биологической очистки возможно использование трех технологических схем очистки сточных вод.

В первой схеме в качестве сооружений биологической очистки используются аэротенки с продленной аэрацией (или аэротенки-отстойники, работающие на полное окисление), во второй схеме используются усреднители и аэротенки с одноиловой системой денитринитрификации (аэротенки могут быть с затопленной загрузкой или без нее). В третьей схеме биологическая очистка осуществляется на биофильтрах с плоскостной загрузкой.

Технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 100–1000 м³/сут включает следующие сооружения:

- немеханизированные решетки с ручной очисткой;
- тангенциальные песколовки;
- аэротенки-отстойники с продленной аэрацией (или, как их еще называют, аэротенки полного окисления);
- биореакторы доочистки сточных вод;
- контактные резервуары;
- аэробный стабилизатор активного ила;
- песковые и иловые площадки.

На рис 6.22 приведена технологическая схема очистки небольшого населенного пункта пропускной способностью 500 м³/сут.

Очистные сооружения обслуживают населенный пункт с населением 2000 жителей.

К приемной камере с установленной там решеткой сточные воды подаются погружными насосами из насосной станции, находящейся на территории очистных сооружений. Далее сточные воды поступают в двухсекционную тангенциальную песколовку.

Рис. 6.22. Технологическая схема очистки сточных вод пропускной способностью 100–1000 м³/сут:

- 1 – поступающая сточная вода; 2 – приемная камера с решеткой; 3 – тангенциальная песколовка; 4 – аэротенк продленной аэрации; 5 – вторичный отстойник; 6 – аэробный стабилизатор активного ила; 7 – биореактор доочистки; 8 – гипохлорит натрия; 9 – контактный резервуар; 10 – очищенная сточная вода; 11 – аэрационная

система регенерации биореактора; 12 – аэрационная система; 13 – иловые площадки;
14 – песковые площадки

Биологическая очистка на очистных сооружениях проходит в аэробном режиме с длительностью пребывания воды 16 ч. Воздух распределяется через дырчатые трубы, диаметр отверстий составляет 3 мм.

Очищенные воды отделяются от осадка в четырех отстойниках, время отстаивания составляет 3,2 ч. Рециркуляционный активный ил направляется в начало аэротенков, а избыточный активный ил – в аэробные стабилизаторы с уплотнителем, встроенные в общий блок сооружений.

После вторичных отстойников вода доочищается в четырех биологических реакторах, установленных отдельно и сблокированных с контактными резервуарами. Для загрузки биореакторов был использован загрузочный материал «Контур». Осадок после регенерации фильтра откачивается эрлифтами во вторичный отстойник.

После фильтрации общий поток сточной воды поступает в четыре контактных резервуара и далее самотеком направляется в насосную станцию, которая перекачивает ее для сброса в водоем.

Избыточный активный ил после аэробной стабилизации в течение 7 сут и уплотнения направляется на две иловые площадки размером 18 × 18 м. Обезвоженный активный ил после подсушивания вывозится с территории очистных сооружений на специализированный полигон.

11.4.4. Обеззараживание осадков и сточных вод

Исследования санитарного состояния осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод населенных мест, показывают, что не только первичные, но и сброженные в мезофильных условиях смеси содержат большое количество гельминтов и патогенных микроорганизмов. Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных. Обеззараживание осадков сточных вод может быть выполнено разными методами: термическим – прогревание, сушка, сжигание; химическим – обработка химическим реагентами; биологическим – уничтожение микроорганизмов простейшими, грибами и растениями почвы; физическим воздействием – радиация, токи высокой частоты, ультразвуковые колебания, ультрафиолетовое излучение и т. п.

Во многих случаях задача обеззараживания осадков решается в основных процессах их обработки. Широкое практическое применение из всех перечисленных методов получили термические и химические методы обеззараживания осадков.

Обеззараживание жидких осадков нагреванием до температуры около 100 °С при экспозиции в несколько минут способствует гибели яиц гельминтов и отмиранию патогенных организмов. При термическом режиме 52–56 °С в течение 5 мин погибают многие патогенные бактерии, при температуре 62–74 °С и времени экспозиции до 30 мин отмирают вирусы. Поэтому термическая пастеризация опасных в санитарном отношении осадков является обязательной стадией их обработки, особенно в технологических процессах, предусматривающих утилизацию осадка.

Химическое обеззараживание осадков можно осуществлять как жидких, так и обезвоженных. Для химического обеззараживания осадков применяют известь, аммиак, тиазон, формальдегид и мочевины. Остаточное содержание в осадках названных веществ предотвращает реактивацию патогенных микроорганизмов и поддерживает стабильность осадков.

В последние годы получают распространение способы обеззараживания осадков химическими веществами, которые применяются либо для удобрения почвы, либо для уничтожения вредных почвенных микроорганизмов или сорняков. К таким веществам относятся: аммиак (аммиачная вода), карбатион, формальдегид и др.

Применение извести, аммиака, тиазона, формальдегида и мочевины позволяет использовать их двойное действие – на осадки и почву, что приводит к снижению эксплуатационных затрат на обеззараживание осадков и подготовку их к утилизации в качестве удобрения. Дозу внесения осадков, обработанных химическими веществами, устанавливают с учетом их действия на окружающую среду. Окончательный выбор технологии обеззараживания осадков должен основываться на технико-экономических расчетах сопоставимых вариантов.

После биологической очистки количество бактерий в сточных водах значительно уменьшается. Так, при биологической очистке на искусственных сооружениях (биофильтрах или аэротенках) общее содержание бактерий уменьшается на 95 %, при очистке на полях

орошения – на 99 %. Для уничтожения оставшихся болезнетворных бактерий очищенные сточные воды подвергаются дезинфекции. Дезинфекцию (обеззараживание) сточных вод можно производить различными способами: хлорированием, электролизом, бактерицидными лучами и т. д.

Для обеззараживания сточной воды хлорированием используют хлорную известь, хлор и его производные.

Сущность данной дезинфекции хлорированием заключается в окислении бактерий кислородом, образующимся при взаимодействии указанных дезинфекторов с водой, и непосредственном действии хлора на протоплазму бактериальных клеток.

Несмотря на высокую эффективность в отношении патогенных бактерий, хлорирование при дозе остаточного хлора 1,5 мг/л не обеспечивает необходимой эпидемической безопасности в отношении вирусов. Другим негативным свойством хлорирования является образование хлорорганических соединений и хлораминов. Хлорорганические соединения обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, способны аккумулироваться в донных отложениях, тканях гидробионтов и в конечном счете в организме человека.

Количество активного хлора, вводимого на единицу объема сточной воды, называется дозой хлора и выражается в граммах на кубический метр (г/м³).

Для снижения *coli*-форм на 99,9 % требуются следующие дозы хлора, г/м³: после механической очистки – 10; после химической очистки – 3–10; после полной биологической очистки – 3–5; после фильтрования на песчаных фильтрах – 2–5.

Хлор, добавленный к сточной воде, должен быть тщательно перемешан с ней, а затем находиться в контакте со сточной водой не менее чем 30 мин, после чего количество остаточного хлора должно быть не менее 1,5 г/м³.

Хлорная известь для дезинфекции применяется в виде раствора. Для его приготовления и введения в сточные воды создается реагентное хозяйство, состоящее из растворных баков, в которых растворяется хлорная известь; расходных баков, в которых раствор доводится до определенной концентрации, и дозирующего бачка, служащего для дозирования раствора при подаче его в сточные воды.

Хлор вводят в сточные воды или непосредственно (прямое хлорирование хлоргазом), или при помощи хлораторов. Данный способ

имеет наибольшее распространение. Жидкий хлор доставляют на очистные станции в баллонах или бочках под давлением до 30 кгс/см² и присоединяют к пустому промежуточному баллону, который, в свою очередь, соединяют с хлоратором. Полученная хлорная вода вводится в сточную воду для ее дезинфекции.

Бактерицидный эффект хлорирования в значительной степени зависит от тщательности перемешивания и времени контакта хлора с водой. Смешение хлора с водой производится в ершовых или других смесителях, а контакт – в контактных резервуарах. Контактные резервуары выполняются по типу первичных отстойников, объем их определяется из условия обеспечения времени контакта хлора с водой. Для того чтобы обеспечить бактерицидный эффект, хлор следует держать в контакте со сточной водой до 30 мин, после чего воду можно спустить в водоем.

Для дозирования хлора должны применяться автоматические вакуумные хлораторы. Расчетные расходы и напоры воды, подаваемой на хлоратор, и напор хлорной воды после него следует определять по характеристикам хлоратора, а также по расположению его относительно точки ввода хлора. Допускается применение хлораторов ручного регулирования, при этом расход хлора контролируется весовым способом.

Количество резервных хлораторов на одну точку ввода надлежит принимать: при 1–2 рабочих хлораторах – 1, при более двух – 2.

Работа двух и более хлораторов со струйными эжекторами на один трубопровод хлорной воды не допускается.

На рис. 6.23 приведена технологическая схема хлораторной. Отбор хлора производится из стальных баллонов объемом 30–55 л. Баллон снабжен сифонной трубкой, опущенной почти до дна, через которую хлор выходит из баллона. В хлоратор подается газообразный хлор. Хлоропровод, подающий хлор к дозатору, присоединяют к промежуточному баллону для впуска жидкого и выпуска газообразного хлора. Расход хлора из баллонов определяют с помощью весов, на которых размещают баллоны с жидким хлором. Из хлоратора выходит хлорная вода с определенной дозой хлора и смешивается со сточной водой. Для смешения используют смесители различных конструкций.

Рис. 6.23. Технологическая схема хлораторной производительностью до 5 кг/ч: 1 – весы; 2 – стойки с баллонами; 3 – грязеуловитель; 4 – хлоратор; 5 – эжектор

Для обеззараживания воды применяют также ультрафиолетовое излучение (рис. 6.24), которое используют как самостоятельный метод, так и в сочетании с реагентными методами обеззараживания.

Ультрафиолетовым излучением называется электромагнитное излучение с длиной волны 10–400 нм и соответствующей энергией фотонов 12,4–3,1 электрон-вольт.

Рис. 6.24. Принципиальная схема ультрафиолетовой установки для обеззараживания воды

Для обеззараживания воды в технологии водоподготовки используется биологически активная область спектра ультрафиолетового излучения с длиной волны от 205 до 315 нм, называемая бактерицидным излучением. Максимум бактерицидного действия приходится на область 250–270 нм.

Ультрафиолетовое излучение обладает выраженным биоцидным действием в отношении различных микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и грибы.

Ультрафиолетовое облучение в дозах, обеспечивающих бактерицидный эффект, не гарантирует эпидемическую безопасность воды в отношении возбудителей паразитологических заболеваний. Обеззараживающее действие ультрафиолетового излучения основано на необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии. Фотохимическое воздействие предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии фотона.

Дозы ультрафиолетового облучения по критерию гибели бактериальных клеток подразделяются:

- на суббактерицидные, не вызывающие гибели бактерий;
- бактерицидные, вызывающие гибель бактериальных клеток.

В качестве источников ультрафиолетового излучения для обеззараживания воды используются газоразрядные лампы, имеющие в спектре своего излучения диапазон длин волн 205–315 нм. Существуют конструкции ламп, в спектре излучения ртутного разряда которых содержится линия 185 нм. В процессе работы этих ламп в воздушной среде образуется озон.

При ультрафиолетовом обеззараживании воды не существует проблемы передозировки. Повышение дозы ультрафиолетового

излучения не приводит к гигиенически значимым неблагоприятным изменениям свойств воды и образованию побочных продуктов. Доза ультрафиолетового облучения может быть увеличена до значений, обеспечивающих эпидемическую безопасность воды как по бактериям, так и по вирусам.

Обеззараживание при помощи ультрафиолетового облучения не требует длительного контакта ультрафиолетовых лучей с водой. Бактерицидный эффект проявляется в течение времени прохождения воды через камеру обеззараживания ультрафиолетовых установок.

При расчете бактерицидной установки определяют требуемую мощность (Вт) потока бактерицидного излучения по формуле

$$F_6 = \frac{Q \cdot \alpha \cdot K \cdot \lg \frac{P}{P_0}}{1563,4 \cdot \eta_n \cdot \eta_o}, \quad (6.52)$$

где Q – расчетный расход облучаемой воды, м³/ч;

α – коэффициент поглощения, см⁻¹ (0,1);

K – коэффициент сопротивляемости бактерий, $K = 2500$ мкВ·с/см²;

P – коли-индекс после облучения, принимают не более 3 ед/л;

P_0 – коли-индекс до облучения, принимают не более 1000 ед/л;

η_n – коэффициент использования интенсивности потока бактерицидных лучей для бактерицидных установок, (погруженных в воду – 0,9, для неутепленных – 0,75);

η_o – коэффициент полноты использования бактерицидного облучения, принимают равным 0,9.

Число бактерицидных ламп по мощности бактерицидного потока F_n определяют по зависимости

$$n = F_6 / F_n. \quad (6.53)$$

Расход электроэнергии (Вт · ч/м³)

$$S = \frac{N \cdot n}{Q}, \quad (6.54)$$

где N – мощность, потребляемая одной лампой, Вт (характеристики ламп находят по справочнику).

Потери напора в установке находят по формуле

$$h = 0,000022 \cdot n \cdot Q \quad (6.55)$$

Количество рабочих бактерицидных установок следует определять исходя из их паспортной производительности. При этом количество рабочих установок должно быть не более пяти, резервных – одна.

Озон – один из наиболее сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы. Кроме того, под воздействием озона одновременно происходит обесцвечивание воды, а также устраняются нежелательные запахи и привкусы. Озон (O_3), необходимый для озонирования, получают из атмосферного воздуха в аппаратах-озонаторах путем воздействия на воздух «тихого» (рассеянного без искр) электрического разряда, сопровождающегося выделением озона. Общая схема установки по озонированию показана на рис. 6.25.

Рис. 6.25. Схема озонаторной установки:

1 – фильтр; 2 – компрессор; 3 – охлаждающее устройство; 4 – устройство для осушения воздуха; 5 – воздушнонагреватель; 6 – блок озонатора; 7 – подача воды; 8 – смеситель; 9 – воздухораспределительное устройство; 10 – отвод воды

Озонатор представляет собой горизонтальный аппарат по типу теплообменника с вмонтированными в него стальными (из нержавеющей стали) трубками. Внутри каждой стальной трубы вставлена стеклянная трубка с небольшой (2–3 мм) кольцевой воздушной прослойкой, являющейся разрядным пространством. Внутренняя поверхность стеклянных труб имеет графитомедное или алюминиевое покрытие. Стальные трубки являются одним из электродов, а покрытие на внутренней стенке стеклянной трубы – другим. К стальным трубам подводится от трансформатора переменный ток напряжением 8000–10000 В, а покрытие из стеклянных трубок заземляется. При прохождении электрического тока через разрядное пространство происходит разряд коронного типа, в результате которого и выделяется газ – озон. Предварительно осушенный воздух проходит через кольцевое пространство и таким образом озонируется, т. е. образуется озоновоздушная смесь. Стеклянные трубки являются диэлектрическим барьером, благодаря чему разряд получается «тихим», т. е. рассеянным, без образования искр. При этом до 90 % электроэнергии превращается в теплоту, которую нужно отвести от озонатора. Для этого в межтрубном пространстве озонатора циркулирует охлаждающая вода. Воздух, подаваемый в озонатор, предварительно освобождается от влаги и пыли. Следы влаги, попадая в разрядное пространство озонатора, изменяют характер электрического разряда. Появляются искровые разряды, которые

значительно снижают показатели работы озонатора – уменьшается выход озона и примерно в 4 раза возрастает расход электроэнергии (по сравнению с подачей сухого воздуха). Для улавливания пыли воздух пропускают через матерчатые фильтры специальных конструкций, а для удаления влаги устанавливают адсорберы, загружаемые силикагелем. В установке устанавливают два адсорбера, которые работают поочередно, причем во время работы одного другой регенерируется. В процессе сушки воздуха выделяется теплота. Чтобы в озонатор не попал слишком теплый воздух, его подвергают охлаждению. Это достигается пропуском воздуха через теплообменник или в самом адсорбере путем подачи воды через змеевик, располагаемый непосредственно в силикагеле. При введении озона для обесцвечивания и обеззараживания воды его доза составляет 4 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживания воды с озоном принимается 5–10 мин.

11.4.5. Утилизация осадков бытовых сточных вод

Осадки, выделяемые при очистке сточных вод городов и населенных мест с малой долей неочищенных производственных стоков, по химическому составу относятся к ценным органо-минеральным смесям.

Ранее отмечалась возможность использования осадков станций аэрации в качестве удобрения непосредственно после процессов их обработки. Кроме этого осадки являются сырьем для получения многих видов продукции промышленного производства. В настоящее время существует много технологических процессов получения из осадков бытовых и близких к ним по составу сточных вод важных продуктов и энергетических ресурсов.

Осадки городских сточных вод целесообразно использовать главным образом в сельском хозяйстве в качестве азотно-фосфорных удобрений, содержащих необходимые для развития растений микроэлементы и органические соединения. Попадая в почву, осадок минерализуется, при этом биогенные и другие элементы переходят в доступные для растений соединения.

Эффективность утилизации осадков в качестве удобрений определяется комплексным содержанием в них биогенных элементов.

Активный ил представляет наибольшую ценность как органическое удобрение, особенно богатое азотом и усваиваемыми фосфатами. Содержание этих веществ в осадках определяется составом сточных вод и технологией их очистки. Отношение органического углерода к

общему азоту в среднем составляет 15:1. Накопления калия в почве не происходит, так как в осадках недостаточно этого элемента.

Минеральная часть осадков представлена в основном соединениями кальция, кремния, алюминия и железа. Поступление на очистные станции городов производственных стоков обуславливает присутствие в осадках ряда микроэлементов, таких как бор, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк.

Проведенные исследования показали, что микроэлементы повышают скорость многих биохимических реакций, протекающих в растениях, а их недостаток вызывает нарушение обмена веществ. Так, микроудобрения, содержащие медь, повышают урожайность зерновых культур на болотных и песчаных почвах нечерноземной полосы. Марганец способствует повышению урожайности сахарной свеклы, кукурузы и других культур. Недостаток железа и цинка приводит к серьезным нарушениям жизнедеятельности растений, особенно это относится к плодовым растениям, винограду и хлопчатнику. Бор играет важную роль в повышении урожайности льна, сахарной свеклы, хлопчатника, кормовых бобов, гороха, клевера, люцерны, ряда овощных, плодовых и ягодных культур. Микроэлементы также способствуют усвоению растениями органических веществ из осадков.

Внесение осадков значительно уменьшает кислотность почв и увеличивает содержание азота, гумуса и фосфора. Особенно благоприятно действует на кислые почвы осадок, обработанный известью.

Содержание большого количества органических веществ (40–70 % массы сухого вещества) позволяет использовать осадки в качестве рекультиванта почв, у которых потеряны верхний плодородный слой, что особенно важно для сохранения плодородия в условиях широкого применения минеральных удобрений, ухудшающих структуру почв, и возвращения сельскому хозяйству земель после использования их промышленностью.

Важным показателем экономической целесообразности применения осадка в агротехнике являются затраты на доставку его к месту использования. Осадки, высушенные до влажности 35–45 %, уменьшают свой объем в 2–2,5 раза по сравнению с механически обезвоженными. Кроме этого они имеют мелкий фракционный состав, хорошо перемешиваются с почвой и удобрениями. Принципиальная схема производства сухого удобрения из уплотненной смеси сырого

осадка первичных отстойников и активного ила мало отличается от обычной обработки осадков. Технологический процесс состоит из операций подготовки осадка к механическому обезвоживанию, обезвоживания и термосушки. Получаемый сухой осадок полностью обеззаражен, легко транспортируется и пригоден к внесению в почву обычными сельскохозяйственными машинами. При необходимости сухой осадок смешивают с минеральными удобрениями.

Во многих городах и населенных пунктах, обслуживаемых централизованными системами водоотведения, сточные воды содержат значительную долю разнообразных производственных стоков. Осадки, выделяемые в процессах очистки таких городских сточных вод, могут содержать вредные для растений вещества (яды, химические соединения, радиоактивные вещества, сорняки). В них может отмечаться повышенное содержание токсичных солей тяжелых металлов (ртути, свинца, кадмия, никеля, хрома Cr^{6+} и мышьяка), для которых в настоящее время установлено допустимое содержание валовых форм.

Микроэлементы (бор, марганец, медь, молибден, кобальт, цинк) при повышенных концентрациях также могут оказывать неблагоприятное воздействие на рост растений и качество сельскохозяйственной продукции.

Расчет доз внесения осадков в почву необходимо вести с учетом ПДК по каждому нормируемому элементу и фоновой концентрации его в почве. По результатам расчета принимают наименьшее значение из найденных доз.

Наряду с применением осадков в агротехнике, перспективно использование их для получения кормовых добавок и препаратов для питания сельскохозяйственных животных, птиц, рыб и зверей ценных пород.

Активный ил содержит сырой протеин (34,2–37,2 % массы сухого вещества), жироподобные вещества (10–14,7 %), витамин B_{12} , аминокислоты и другие ценные компоненты. Сгущение активного ила и дальнейшая его термическая сушка в «мягком» режиме позволяют получать сухой продукт, по питательной ценности близкий к кормовым дрожжам.

Перспективным направлением утилизации осадков сточных вод является их переработка с целью получения продуктов, используемых в промышленном производстве и теплоэнергетике. Важно отметить, что для этого направления переработки осадков нет жестких ограничений

по санитарным показателям и присутствию токсичных соединений. Благодаря этому возможно использование процессов утилизации осадков бытовых сточных вод в комплексе с переработкой других отходов населенных мест и промышленных предприятий.

12. ИЗЫСКАНИЯ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДЯЩИХ СИСТЕМ И СТАНЦИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

12.1. Инженерные изыскания

Проекты систем водоотведения разрабатываются на основании предпроектных разработок и заданий на проектирование. Задание на проектирование составляется организацией-заказчиком (обычно генеральным проектировщиком объекта) с участием организации-исполнителя. В задании указываются состав и объем проекта, очередность строительства, необходимость кооперированного использования сооружений, требования по защите окружающей среды, основные исходные данные и др. Задание включает ожидаемые технико-экономические показатели (на основании ТЭО).

При проектировании систем водоотведения наиболее часто приходится использовать ТКП 45-4.01-56-2012 «Системы наружной канализации. Сети и сооружения на них. Строительные нормы проектирования», в которых содержатся технические рекомендации о проектировании систем водоотведения и их элементов и, в частности, информация о том, как и по каким формулам определяются расчетные расходы, размеры всех сооружений и др. Разработка проектов должна вестись в соответствии с инструкциями на разработку проектов и смет промышленных предприятий.

Для выполнения проекта системы водоотведения необходимо располагать:

- сведениями о схеме и техническом состоянии системы водоотведения; схеме водоснабжения обслуживаемых объектов; общими данными о системе водоотведения близлежащих предприятий и населенных мест;
- данными по обслуживаемым объектам: число жителей населенных пунктов; плотность населения; характер жилой застройки; пропускная способность отдельных крупных и коммунальных предприятий (бань, прачечных, больниц и т. п.); виды промышленных предприятий и

характер их производства; число работающих по сменам и пользующихся душем; виды, количество и характеристика производственных сточных вод, режим их спуска; виды и количество загрязняющих веществ (все по очередям развития);

- геологическими, гидрогеологическими и метеорологическими данными о территории объекта;

- гидрологическими данными о водоемах: расходы, скорости движения и уровни воды, содержание в воде взвешенных веществ, биохимическая потребность воды в кислороде и др.;

- данными о водопользовании водоемами;

- сведениями о промышленных предприятиях и населенных пунктах, расположенных в 20–40 км выше и ниже по реке, и др.;

- топографическими материалами: ситуационными планами в масштабах 1:25000–1:50000 с горизонталями через 5 м; планами обслуживаемых объектов в масштабах 1:2000–1:500 с горизонталями через 0,5–1,0 м (для промышленных предприятий) и в масштабах 1:5000–1:10000 с горизонталями через 1,0–2,0 м (для населенных пунктов); планами площадок под очистные сооружения и места выпуска сточных вод в водоемы в масштабах 1:500–1:2000 с горизонталями через 0,5–1,0 м и др.

Для получения дополнительных материалов должны производиться необходимые обследования и изыскания.

12.2. Проектные работы

Объектами, которые подлежат оборудованию системой водоотведения, могут служить вновь строящиеся, существующие и реконструируемые города, поселки городского типа, сельские и дачные поселки, курорты, промышленные предприятия, комбинаты, промышленные районы (комплексы). Разработка систем водоотведения для этих объектов, как правило, производится на основе тех или иных документов, которые принято называть предпроектными разработками. К их числу относятся:

- технико-экономические обоснования (ТЭО) проектирования и строительства промышленных районов, промышленных узлов или отдельных предприятий;

- схемы комплексного использования и охраны вод;

- схемы и проекты районной планировки.

Технико-экономические обоснования разрабатываются для

установления технической необходимости и экономической целесообразности проектирования и строительства соответствующих объектов, сооружений или предприятий, а также их размещения. В ТЭО должны уточняться данные о количестве потребляемой воды и сточных водах, а также обосновываться выбор оптимальных решений по их отводу и очистке.

Разработка ТЭО производится комплексно с учетом смежных объектов водопотребления и водоотведения и с сопоставлением при необходимости конкурирующих вариантов технических решений. В ТЭО должны отражаться проблемы максимального использования воды и защиты окружающей среды от загрязнений. В итоге ТЭО дает экономическую оценку предлагаемых решений, выявляет рекомендуемый вариант и устанавливает размеры капитальных вложений.

При разработке ТЭО выбираются площадка для строительства основного объекта и площадки для сооружений систем водного хозяйства, в том числе очистных сооружений системы водоотведения, устанавливаются места выпуска сточных вод в реки или другие водоемы.

Схемы комплексного использования и охраны вод подразделяются: на генеральные, выполняемые при решении важнейших водохозяйственных проблем для больших регионов страны; бассейновые, охватывающие значительную площадь бассейнов рек в одной или нескольких республиках; территориальные, относящиеся к отдельным областям или районам. Они разрабатываются в целях установления основных водохозяйственных и других мероприятий, необходимых для обеспечения перспективных потребностей в воде населения и объектов народного хозяйства, а также для предотвращения истощения и загрязнения водоисточников. В схемах учитывается регулирование стока вод, степень водооборота и экономного расходования воды, сброс в водотоки и водоемы неочищенных вод и др.

В схемах районной планировки вопросы водоотведения освещаются схематично, но с учетом перспективы и требований по защите водоемов от загрязнения, а также существующего состояния системы водоотведения и ее дальнейшего развития, приводятся соответствующие графические материалы и технико-экономические показатели.

К числу предпроектных разработок также относятся: схемы

развития и размещения производительных сил областей, краев и др.; проекты планировки и застройки городов и поселков, схемы промышленных узлов.

Проектирование систем водоотведения осуществляется в две и одну стадию. При двухстадийном проектировании выполняется вначале технический проект (ТП), а затем – рабочие чертежи (РЧ). При одностадийном проектировании выполняется технорабочий проект (ТРП).

Двухстадийное проектирование (ТП и РЧ) допускается только для крупных и сложных промышленных комплексов. Обычно проектирование осуществляется в одну стадию (ТРП).

Технический и технорабочий проекты должны содержать следующие сведения и материалы:

- общие сведения – основание для разработки проекта, обслуживаемые объекты и их местоположение, сроки и очередность строительства, предпроектные разработки и ранее выполненные проекты, распределение работ в случае привлечения для проектирования субподрядных организаций;

- исходные документы и материалы, положенные в основу проекта;

- данные о видах и количестве сточных вод, а также содержании в них загрязняющих веществ, балансе водопотребления и водоотведения;

- описание проектируемых системы и схемы водоотведения, видов водоотводящих сетей и их трассировки, расположения насосных станций, очистных сооружений, шламонакопителей, мест выпуска очищенных вод;

- обоснование степени очистки сточных вод и прогноз качества воды в водоемах с учетом Правил охраны поверхностных вод от загрязнения их сточными водами;

- данные о методах очистки сточных вод, составе очистных сооружений и схеме их работы, рекомендации НИИ по очистке воды, сведения об аналогичных решениях;

- результаты гидравлического расчета и описание основных трубопроводов, коллекторов, дюкеров, переходов; сведения об инженерно-геологических условиях прокладки и материале труб, о защите труб от коррозии;

- результаты расчета и подбора типовых или повторно применяемых проектов насосных станций, их описание, включая объемно-планировочные решения и характеристику оборудования;

- исходные данные, расчет очистных сооружений, характеристику и

описание работы всего узла и отдельных сооружений, данные об оборудовании сооружений, сведения о применении типовых проектов и др.;

- данные об электрооборудовании, автоматизации, технологическом контроле и диспетчеризации на водоотводящих сооружениях;
- сведения об организации строительства и методах производства работ сложных сооружений;
- мероприятия по охране окружающей среды при эксплуатации водоотводящей системы;
- технико-экономические обоснования и показатели, включая эксплуатационные; штатное расписание;
- сметную документацию и др.

В составе технического проекта разрабатываются следующие графические материалы:

- ситуационный план в масштабе 1:5000–1:25000;
- планы узлов очистных сооружений в масштабе 1:500–1:2000;
- основные чертежи нетиповых сооружений в масштабе 1:200;
- высотные схемы движения сточных вод и осадков;
- технологические схемы очистных сооружений (при сложных или нестандартных решениях), паспорта типовых и повторно применяемых проектов сооружений.

В составе технорабочего проекта, кроме того, выполняются рабочие чертежи (профили) самотечных коллекторов, дюкеров, переходов, выпусков, а в отдельных случаях и профили напорных трубопроводов.

Планы узлов очистных сооружений на стадии ТРП и РЧ выполняются детально, обычно с указанием координат сетей зданий и сооружений. Типовые проекты привязываются с внесением в чертежи необходимых коррективов.

В ТП и ТРП включаются заказные спецификации на оборудование, требующее длительного срока изготовления; на остальные виды оборудования составляются заявочные ведомости. На стадии РЧ заказные спецификации предусматривают на оборудование и на приборы, арматуру, контрольно-измерительные устройства.

Техническая документация на стадиях ТРП и РЧ должна обеспечивать в полном объеме производство строительно-монтажных работ отдельных объектов и систем в целом.

Способы очистки сточных вод и условия спуска их в водоемы должны согласовываться с органами государственного надзора: бассейновой водной инспекцией, санитарным надзором и

рыбохозяйственными органами. В зависимости от очередности и сроков строительства предприятий и населенных пунктов проекты систем водоотведения соответственно разрабатываются по очередям.

12.3. Проектирование водоотводящих сетей и комплексов очистных сооружений

Площадка для строительства очистных сооружений располагается, как правило, с подветренной стороны для господствующих ветров теплого периода года по отношению к жилой застройке и ниже города по течению. Площадка должна иметь уклон, обеспечивающий самотечное движение сточной воды по очистным сооружениям и отвод дождевых вод. Площадку надлежит выбирать на территории, незатапливаемой паводковыми водами, с низким уровнем грунтовых вод.

Состав очистных сооружений выбирают в зависимости от требуемой степени очистки сточной воды, производительности очистной станции, особенностей состава поступающей на очистную станцию сточной воды, метода использования осадка и других местных условий в соответствии с нормами проектирования очистных сооружений и технико-экономическими расчетами.

Местоположение отдельных сооружений и планировка очистной станции должны обеспечивать наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод и обработки осадка и рациональное использование территории.

Компоновка и взаимное расположение сооружений производится с учетом:

- а) возможности строительства по очередям и расширения в связи с увеличением притока сточных вод;
- б) обеспечения минимальной протяженности внутристанционных коммуникаций (лотков, каналов, дюкеров, трубопроводов);
- в) доступности для ремонта и обслуживания.

Сооружения располагаются по естественному уклону местности. Взаимное их высотное расположение устанавливается с учетом расчетных потерь напора в сооружениях, соединительных коммуникациях и измерительных устройствах.

При разработке проектов очистных сооружений рекомендуется рассматривать варианты объединения сооружений (блокировки) и укрупнения их размеров с целью уменьшения числа эксплуатационных

единиц.

Сооружения для очистки сточных вод проектируются, как правило, открытые.

Генеральный план очистной станции в зависимости от ее размеров составляется в масштабе 1:500 или 1:1000. На него наносят основные и вспомогательные сооружения и трубопроводы, а также дороги, схемы хозяйственно-питьевого водопровода, электрораспределительных устройств (трансформаторные подстанции, кабельную сеть низкого и высокого напряжения и пр.).

Разработка генерального плана производится с учетом санитарных требований, пожарной профилактики и техники безопасности.

Выбор площадки для строительства станции очистки сточных вод необходимо производить в увязке с проектом планировки и застройки канализуемых объектов, учитывая при этом расположение внешних коммуникаций (железной и автомобильной дорог, водо-, газо-, тепло- и электроснабжения).

Величина санитарно-защитной зоны принимается в зависимости от расчетной пропускной способности станции (тыс. м³/сут) и типа очистных сооружений. В случае расположения жилой застройки с подветренной стороны по отношению к очистным сооружениям санитарно-защитные зоны следует увеличить, но не более чем в 2 раза.

Очистные сооружения канализации промышленных предприятий, как правило, размещаются на территории канализуемых предприятий.

Санитарно-защитные зоны от очистных сооружений канализации промышленных предприятий, не расположенных на их территории, принимаются в соответствии с СН-245 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

12.4. Санитарное обследование водоприемника сточных вод

Приемниками сточных вод в основном служат водоемы. Сточные воды перед сбросом в водоем необходимо частично или полностью очистить. Как известно, в воде водоема содержится определенный запас кислорода, который может быть частично использован для окисления органического вещества, поступающего в водоем совместно со сточной водой. Водоем, таким образом, обладает некоторой самоочищающей способностью, т. е. в нем под воздействием микроорганизмов-минерализаторов могут окисляться органические вещества, но при этом содержание растворенного кислорода в воде будет падать.

Следовательно, степень очистки сточных вод на очистных сооружениях перед сбросом их в водоем можно снизить.

Не следует, однако, преувеличивать возможностей водоемов, в частности рек, в отношении приема больших масс сточных вод даже в том случае, если кислородный баланс позволяет осуществить такой сброс без окончательной их очистки. Любой, даже небольшой, водоем, как правило, используется для массового купания и имеет архитектурно-декоративное и санитарное значение.

В настоящее время большинство крупных рек загрязнено сточными водами, и поэтому самоочищающая способность рек сильно ограничена. Все водоемы делятся: на используемые для питьевого и культурно-бытового назначения и используемые в рыбохозяйственных целях.

Водоемы питьевого и культурно-бытового водопользования, в свою очередь, делятся на два вида. К первому виду относятся участки водоемов, используемые для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий; ко второму виду – участки водоемов, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных мест.

Вода в водоемах характеризуется определенными свойствами и имеет определенный состав.

В воде водоема после смешения с ней сточных вод количество *растворенного кислорода* в любой период года не должно быть ниже 4 мг/л в пробе, отобранной в 12 ч дня. Биохимическая потребность в кислороде БПК₂₀ не должна превышать 3 мг/л для водоемов первого вида и 6 мг/л для водоемов второго вида.

Содержание *взвешенных веществ* в воде водоема после спуска сточных вод не должно увеличиваться более, чем на 0,25 мг/л для водоемов первого вида и 0,75 мг/л для водоемов второго вида.

Реакция воды pH после смешения ее со сточными водами не должна быть ниже 6,5 и выше 8,5.

Для вод водоемов установлены также нормативные показатели по окраске, наличию ядовитых веществ, плавающих примесей, возбудителей заболеваний, по запахам и привкусам, минеральному составу и температуре. Ядовитые вещества не должны содержаться в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное воздействие на здоровье населения.

Водоемы рыбохозяйственного водопользования делятся на два вида:

первый вид – водоемы, которые используют для воспроизводства и сохранения ценных сортов рыб; второй вид – водоемы, которые используются для других рыбохозяйственных целей. Показатели воды водоемов рыбохозяйственного водопользования не должны превышать нормативов, установленных для водоемов санитарно-бытового водопользования.

К рыбохозяйственным водоемам по ряду показателей предъявляются более высокие требования. Зимой количество растворенного кислорода не должно быть ниже 6 мг/л для водоемов первого вида и 4 мг/л для водоемов второго вида. Биохимическая потребность в кислороде БПК_{полн} не должна превышать 3 мг/л. Ядовитые вещества в сточных водах не должны быть в концентрациях, которые оказывают прямо или косвенно вредное воздействие на рыб и организмы, служащие кормом для рыб.

12.5. Особенности проектирования при реконструкции водоотводящих сетей и сооружений

В период строительства новых и развития старых городов и мегаполисов их подземная инфраструктура, в том числе и водоотводящие сети, строилась в основном открытым способом, при котором трубопроводы прокладывались на требуемых отметках в открытых траншеях с их последовательной засыпкой вынутым грунтом. В связи с переходом от экстенсивного развития городов к их более плотной и многоэтажной застройке основной задачей становится не строительство новых водоотводящих линий, а обеспечение надежной эксплуатации уже существующих подземных коммуникаций, что неизбежно связано с заменой, перекладкой и реконструкцией отслуживших свой нормативный срок и аварийных участков.

В условиях современных городов, имеющих насыщенную подземную инфраструктуру и интенсивное движение автотранспорта по улицам, использование открытых способов прокладки трубопроводов при реконструкции сетей и устройстве новых становится не только затруднительным, но и в некоторых районах городов невозможным.

Основными бестраншейными методами прокладки и реконструкции подземных трубопроводов являются: щитовая прокладка; микротоннелирование; горизонтальное направленное бурение; прокалывание, пробивка и продавливание; раскатывание.

Щитовую проходку с применением щитов круглой формы используют также и в районах, которые имеют достаточно плотную застройку, большое количество подземных коммуникаций, сложные природные условия участка, а также в тех случаях, когда сделать прокладку коллекторов открытым способом невозможно. Щитовая проходка представляет собой закрытый способ прокладывания тоннелей механизированными щитами диаметром 1,5–3,6 м с последующей укладкой в тоннелях труб требуемого диаметра и забутовкой свободного пространства. При осуществлении щитовой проходки всегда нужно соблюдать определенный уклон коллектора. Уклон в пределах от 0,001 до 0,006 обеспечивает невысокую скорость движения стоков, а именно от 1,2 до 3,5 м/с. Одновременно при проходке коллекторов на них обустраивают строительные и технологические стволы или, другими словами, колодцы. Назначением технологических стволов является обустройство перепадов, обеспечение доступа воздуха и возможность обслуживания сети во время ее работы. Строительные стволы необходимы для спуска и подъема различных строительных материалов, а также рабочих во время проведения строительных работ. Кроме того, с помощью строительных стволов можно осуществлять вентиляцию, поворотные камеры и демонтировать проходческие устройства. Прежде чем приступить к работам по щитовой проходке, всегда оборудуют шахтную площадку, с которой можно будет осуществлять проходку от шахты до отметки уровня заложения коллектора. Диаметр шахтного ствола зависит от наружного диаметра щитов для проходки. Если наружный диаметр составляет не более 3 м, его опускают в шахту в собранном виде, а в тех случаях, когда внешний диаметр щита превышает 3 м, то его опускают в шахту в виде отдельных узлов. Щит оснащен металлическим цилиндром, на который и осуществляется давление грунта. Технология строительства тоннеля с помощью щитовой проходки начинается с разработки породы в забое. Одновременно с этим происходит продвижение щита на заходку, ширина которой равняется ширине кольца крепи. Такие циклы повторяются по несколько раз, до тех пор, пока строительство коллектора не будет завершено. Микротоннелирование осуществляют с помощью дистанционно управляемых комплексов, позволяющих осуществить от 10 до 15 м проходки в сутки практически во всех горно-геологических условиях, в том числе водонасыщенных грунтах без водопонижения или закрепления грунтов. Для

микротоннелирования используются щиты диаметром от 150 мм до 15 м, благодаря которым устраняется ручной труд в забое, механизмуется процесс прокладки труб и все управление технологическим процессом осуществляется с централизованного пульта машиниста.

12.6. Сравнение и технико-экономическая оценка вариантов проектных решений

Системы водоотведения проектируют на основании технико-экономических расчетов, целью которых является сравнение возможных вариантов схем водоотведения и очистки сточных вод. При проведении таких расчетов определяют: размеры капитальных вложений при различных вариантах, потребность в трудовых ресурсах, а также в основных строительных материалах и оборудовании, удельные расходы электроэнергии, эксплуатационные расходы и себестоимость очистки 1 м³ сточных вод.

Основанием для определения размеров капиталовложений и потребности в материалах и оборудовании являются сметы или укрупненные сметные показатели. При составлении штатного расписания и выполнении расчетов потребности в трудовых ресурсах, электроэнергии, реагентах и других материалах можно руководствоваться примерами расчетов, выполненных для крупных городов, учитывая при этом местные особенности данной системы водоотведения.

Варианты проектных решений сравнивают по минимуму приведенных затрат, которые представляют собой сумму годовых эксплуатационных затрат, отнесенных к размерам капитальных вложений в строительство соответствующих объектов за год.

Приведенные затраты (руб.) по каждому варианту определяются по формуле

$$\Pi = \Xi + E_n K, \quad (7.1)$$

где Ξ – эксплуатационные затраты по данному варианту, руб.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K – капитальные вложения в строительство объектов канализации, определяемые на основе укрупненных сметных норм, укрупненных показателей стоимости сооружений, смет по

данному объекту или по объектам-аналогам, руб.

Если в сравниваемых вариантах капитальные вложения реализуются в разные сроки или себестоимость очистки и отведения сточных вод изменяется во времени, варианты следует сравнивать, приводя затраты поздних лет к базисному году по формуле

$$K = K_t \frac{1}{(1 + E_{н.п})^t}, \quad (7.2)$$

где K – затраты, приведенные к базисному году, руб/год;

K_t – затраты в t -м году предполагаемого строительства, руб/год;

t – период приведения, лет;

$E_{н.п}$ – норматив для приведения разновременных затрат.

Эксплуатационные преимущества варианта с большими капитальными вложениями должны быть достаточно высокими, чтобы со временем эти капитальные вложения могли быть окуплены.

Период, на протяжении которого дополнительные капитальные вложения будут покрыты за счет сокращения эксплуатационных расходов (период окупаемости), определяют по формуле

$$T = \frac{K_1 - K_2}{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}, \quad (7.3)$$

где K_1 и K_2 – капитальные вложения по вариантам, руб.;

$\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$ – ежегодные эксплуатационные расходы по тем же вариантам, руб/год.

Эксплуатационные расходы, исчисляемые за год, состоят из затрат

$$\mathcal{E} = a + б + в + г + д + е + ж + з, \quad (7.4)$$

где a – затраты на электроэнергию и топливо;

$б$ – затраты на материалы и реагенты;

$в$ – амортизационные отчисления, в том числе на капитальный ремонт;

$г$ – заработная плата производственного персонала;

$д$ – стоимость воды;

$е$ – другие прямые затраты;

$ж$ – цеховые и общие затраты, связанные с эксплуатацией водотводящих сетей;

$з$ – непредвиденные неэксплуатационные расходы.

Расходы на электроэнергию и топливо предусматривают все виды

этих расходов, включая стоимость перекачки сточных вод и расходы на производственные нужды. Электроэнергия и топливо, затрачиваемые на отопление и освещение, в эту статью не включаются, их относят на соответствующие статьи цеховых и общеэксплуатационных затрат. Расходы электроэнергии оценивают по действующим в энергосистемах тарифам, а расходы топлива – по действующим тарифам нефтеперерабатывающей промышленности.

Эксплуатационные расходы целесообразно определять отдельно по сети, по насосным станциям (стоимость отведения) и по очистным сооружениям (стоимость очистки).

Себестоимость водоотвода и очистки 1 м³ сточных вод

$$C = \frac{\Xi}{Q}, \quad (7.5)$$

где Ξ – общая сумма годовых эксплуатационных расходов, руб.;

Q – расход сточных вод за год, м³.

Таким образом, общая сумма расходов по системе водоотведения будет состоять из фонда заработной платы, стоимости реагентов и других материалов, в том числе их перевозки, стоимости электроэнергии и топлива, стоимости текущего ремонта и амортизационных расходов.

По выполненному на основе оптимального варианта проекту водоотведения определяют следующие технико-экономические показатели: капитальные вложения в целом по объекту строительства, основным узлам сооружений (с выделением стоимости оборудования и монтажа), коллекторам и сетям; удельные капитальные вложения (на 1 м³ суточной производительности); годовые эксплуатационные расходы в целом по объекту, основным узлам сооружений, коллекторам, сетям; стоимость отвода и очистки 1 м³ сточных вод.

Качество проектного решения определяется по его техническому уровню, качеству очистки воды, долговечности сооружений, затратам на возведение и эксплуатацию сетей и сооружений и т. п. Экономичность проекта определяется путем сопоставления единовременных и текущих затрат по конкретному проектному решению с эталоном.

Снижение стоимости проектных работ и сроков проектирования достигается в результате типизации проектных решений на базе унификации объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений узлов, конструкций и изделий, широкого применения типовых проектов.

В проектных организациях используются программы для расчета необходимой степени очистки сточных вод при сбросе их в водоем, расчета сметной стоимости, гидравлического расчета дождевой и бытовой сети, технологических расчетов отдельных очистных сооружений.

12.7. Эксплуатационная стоимость отведения и очистки сточных вод

Основной экономический показатель системы водоотведения – эксплуатационная стоимость транспортирования, очистки и отведения воды.

Эксплуатационную стоимость относят к 1 м³ воды и определяют по формуле

$$P = \frac{S}{Q}, \quad (7.6)$$

где S – сумма годовых эксплуатационных расходов, руб.;

Q – годовое количество воды, отводимое от населенного пункта, м³.

$$S = E + \left(\frac{K_1 n_1}{100} + \frac{K_2 n_2}{100} + \frac{K_3 n_3}{100} + \dots \right) = E + \sum \frac{K_n}{100}, \quad (7.7)$$

где E – прямые эксплуатационные расходы за год;

K_1, K_2, K_3 – строительные стоимости отдельных сооружений системы водоотведения, руб.;

n_1, n_2, n_3 – амортизационные отчисления от строительной стоимости данного сооружения, %;

$\sum K_n$ – сумма амортизационных отчислений всей системы водоотведения.

Прямые эксплуатационные расходы включают:

1) расходы на содержание управленческого аппарата и складского хозяйства (заработная плата с начислениями, аренда, ремонт, отопление и освещение помещений и др.);

2) расходы на содержание сетей, сооружений, зданий и оборудования (заработная плата эксплуатационного персонала, текущий ремонт сетей, сооружений и оборудования; отопление и освещение зданий и сооружений; транспорт, обслуживающий сооружения; специальная охрана сооружения и др.);

3) расходы на электроэнергию и смазочно-обтирочные материалы;

4) расходы на химические материалы (реагенты) для очистных сооружений.

Амортизационные отчисления необходимы для накопления средств:

а) для воспроизводства (единовременного полного восстановления) сооружений и оборудования (основных средств) через некоторый срок, определяемый долговечностью сооружений;

б) для капитального ремонта, проводимого через определенные сроки в период эксплуатации сооружений.

Нормы амортизационных отчислений по отдельным сооружениям и оборудованию, включая отчисления на капитальный ремонт, устанавливаются на основании нормативных документов Республики Беларусь.