

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА

Кафедра «Защита в чрезвычайных ситуациях»

УДК 628.144.22-027.45(07)

О 93

Составители:

К. Бозов, Е. Вигерина, Т. Турдубаев, А. Шаназарова

Рецензенты:

канд. техн. наук *К. Баканов,*

канд. техн. наук *С. Иманбеков*

Рекомендовано к изданию

кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях»

ОЦЕНКА РИСКОВ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ЖИДКОСТЕЙ

Методическое пособие
к выполнению практических занятий,
курсового проекта

О 93 ОЦЕНКА РИСКОВ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ
ЖИДКОСТЕЙ: Методическое пособие к выполнению практиче-
ских занятий, курсового проекта / Сост.: К. Бозов, Е. Вигерина,
Т. Турдубаев, А. Шаназарова. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. – 104 с.

Рассматриваются методы оценки и обеспечения надежности основных подсистем, в частности: методы оптимального резервирования трактов подачи воды; оценки надежности распределительных сетей; роль емкостей в обеспечении надежности; обеспечение устойчивого экотехнологического развития; управление воздействием на окружающую среду; изучение организационных основ осуществления мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий аварий и катастроф природного и техногенного характера; определения и нормативные уровни допустимых негативных воздействий на человека и природную среду.

Для студентов кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях».

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение разносторонних потребностей народного хозяйства, а также повышение качества обслуживания населения неразрывно связаны с развитием и совершенствованием инженерных систем массового обслуживания – электроснабжения, водоснабжения, газоснабжения, теплоснабжения. Надежность функционирования этих систем является одним из условий повышения уровня жизни и благоустройства населенных мест, а также бесперебойной работы промышленных предприятий.

Системы подачи жидкости относятся к категории систем обслуживания, требования к их надежности, выраженные численными значениями тех или иных показателей надежности, устанавливаются в соответствии с требованиями потребителей воды и нормативами, учитывающими нужды потребителей.

Обеспечение надежности работающих сооружений (объектов) является одной из важнейших общегосударственных задач прежде всего потому, что надежность наносит огромный экономический и порой экологический ущерб народному хозяйству, связанный с затратами на ремонт, с недодачей или потерями продукции, с содержанием технического персонала, не говоря уже об угрозе безопасности и здоровью людей, о политических и моральных факторах, которые невозможно учесть обычными экономическими показателями.

Рассматриваются методы оценки и обеспечения надежности основных подсистем, системы водоснабжения в частности: методы оптимального резервирования трактов подачи воды; оценки надежности распределительных сетей; роль емкостей в обеспечении надежности; обеспечение устойчивого экотехнологического развития; управление воздействием на окружающую среду; изучение организационных основ осуществления мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий аварий и катастроф природного и техногенного характера; определение и нормативные уровни допустимых негативных воздействий на человека и природную среду.

Рациональное использование водных ресурсов, охрана их от загрязнения и истощения приобрели в настоящее время международное значение. Что требует подготовки специалистов высокой квалификации. В связи с этим большое внимание уделяется повышению качества подготовки молодых специалистов. Учебное заведение должно вооружить учащихся

определенным комплексом современных знаний, привить им навыки самостоятельной работы. Большая роль при этом отводится практическим занятиям и выполнению курсовой работы (проекта), которые являются подготовкой к дипломному проекту.

В процессе выполнения практических занятий и курсовой работы (проекта) студент должен пользоваться не только учебниками и пособиями, но и различными справочными материалами. В методическом пособии особое внимание уделено вопросам надежности, долговечности инженерных систем подачи жидкости, но это ни в коей мере не подменяет собой специальную литературу, а способствует более полному усвоению полученных знаний для выполнения практических занятий, курсовой работы (проекта) и дипломной работы.

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ

Технические системы обслуживания должны соответствовать своему назначению – обладать способностью успешно выполнять функции, для которых они предназначены; обладать прочностью – способностью системы и ее отдельных элементов выдерживать заданные нагрузки в процессе работы; должны быть просты в эксплуатации и экономичны, т.е. иметь возможность успешно выполнять заданные функции при минимальной величине затрат на их сооружение и эксплуатацию.

Система, созданная в полном соответствии с указанными требованиями и обладающая перечисленными свойствами, способна успешно (и экономично) выполнять свои функции.

Система (греч. Systema – целостное, составленное из частей соединений) объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и общества. В науке и технике множества элементов (узлов, агрегатов, приборов и т.д.), понятий, норм с отношениями и связями между ними образуют некоторую целостность по определенному руководящему принципу. Например, экологическая система (эко – жилье, местообитание и система) – единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором компоненты связаны между собой обменом веществ и энергии. Понятия экосистемы применяются к природным объектам различной сложности и размеров. Термин экосистема ввел английский фитоценолог А. Тенсли (1935). Это может быть, например система гидротехнических сооружений; система сигналов в совокупности образующих сообщение; система допусков и отклонений на размеры сопряженных деталей; система геологическая – совокупность отложенных горных пород, характеризующаяся определяемой фауной и ископаемой флорой и образовавшаяся в течение геологического периода. (Политехнический словарь. – М.: «Советская энциклопедия», 1977.

Однако для практических целей наличия всех указанных свойств недостаточно. Необходимо получить уверенность, что система в процессе ее эксплуатации не только сможет, но и будет фактически работать, сохраняя указанные свойства без недопустимых снижений качества ее функционирования. Подобная «уверенность» может быть обоснованной, если будет оценена и обеспечена требуемая надежность системы, т. е. еще одно из ее основных и важнейших свойств.

Теория надежности (надежность) как самостоятельное направление науки начала развиваться совсем недавно. Слово «надежность» до этого определяло чисто качественное состояние чего-либо.

Усложнение современной техники, увеличение ее мощности, возрастание требований к конечному продукту потребовало создания специальной науки «Теория надежности», с помощью которой возможно количественное определение показателей надежности работы и эксплуатации сооружений и устройств в отдельности и системы в целом.

Обеспечение надежности работающих сооружений (объектов) и выпускаемой продукции стало одной из важнейших общегосударственных задач. ненадежная работа устройств и систем может привести к экономическому и даже экологическому ущербу народному хозяйству. Это связано как с затратами на ремонт, с недодачей или потерями продукции, с содержанием технического персонала, не говоря уже об угрозе безопасности здоровью людей, так и с политическими и моральными факторами, которые невозможно учесть обычными экономическими показателями.

Практический опыт показывает, что в большинстве случаев для рассматриваемых систем выгоднее предусмотреть дополнительные средства на обеспечение требуемой надежности на первоначальном этапе (т.е. на этапе проектирования), чем расплачиваться дополнительными эксплуатационными затратами (ненадежностью в последующем).

Целью изучения и внедрения надежности в производство и производственные процессы является создание условий устойчивой работы объектов за определенный период времени, исключение аварийных ситуаций, повышение качества выпускаемой продукции, и как результат, повышение экономичности работы различных устройств и предприятий в целом, недаром говорят, что надежность – родная сестра экономичности.

В соответствии с ГОСТ 27.002–83 надежность как техническое понятие для названных систем может быть сформулировано так: свойство устройств, сооружений, систем и объектов в целом, а так же изделий (продуктов) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения нормируемых (расчетных) эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

В понятие надежности входит не только определение сроков службы тех или других технических устройств и сооружений, но и выявление направлений, с помощью которых возможно продление уже установленных сроков их эксплуатации.

Надежность как наука занимается изучением критериев и количественных характеристик надежности; исследованием методов анализа

надежности; разработкой методов испытания оборудования и надежности; разработкой научных методов эксплуатации объектов.

Определение надежности – сложное понятие, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность – свойство сооружений и систем сохранять работоспособность в течение определенного времени или некоторой наработки; для большинства видов оборудования, сооружений и систем эта характеристика является основной и оценивается вероятностью безотказной работы $P(\mathcal{E})$, интенсивностью отказов $\lambda(\mathcal{E})$, средней выработкой до отказа $\mathcal{E}$, параметром потока отказов $\omega(\mathcal{E})$, средней наработкой на отказ $\mathcal{E}_{cp}$ и γ – процентной наработкой до отказа $\mathcal{E}_\gamma$.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до предельного (после которого применение по назначению недопустимо или нецелесообразно) при установленной системе обслуживания и ремонта; долговечность характеризуется средним ресурсом (срок службы) t_p ; γ – процентным ресурсом $t_{p\gamma}$; назначенным ресурсом t_n ; средним сроком службы t_{cp} ; γ – процентным сроком службы $t_{c\gamma}$; назначенным сроком службы t_{nc} .

Ремонтпригодность – свойство или приспособленность сооружений и систем к предупреждению или обнаружению причин возникновения отказов, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов; этот параметр характеризуется вероятностью восстановления работоспособного состояния $P(\mathcal{E}_в)$, средним временем восстановления работоспособного состояния $\mathcal{E}_в$.

Сохраняемость – свойство сооружений и систем сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения или транспортирования; сохраняемость характеризуется средним сроком сохраняемости $\mathcal{E}$; γ – процентным сроком сохраняемости $\mathcal{E}_\gamma$.

В официально принятой технической терминологии дается следующее определение понятия надежности: «Надежность есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования...». В этом определении под объектом может пониматься как система в целом, так и отдельные ее элементы, сооружения, механизмы, изделия.

В теории надежности важнейшим понятием является понятие отказа. Отказ – событие, заключающееся в полной или частичной утрате работоспособности сооружений, оборудования или систем в целом, событие случайное, подчиненное законам теории вероятности. Под

механизмом отказа понимают совокупность физических и химических процессов, приводящих к возникновению отказа.

Распределение отказов во времени зависит от условий эксплуатации объекта. Типичная кривая изменения $\lambda(t)$ во времени показана на рис. 1.

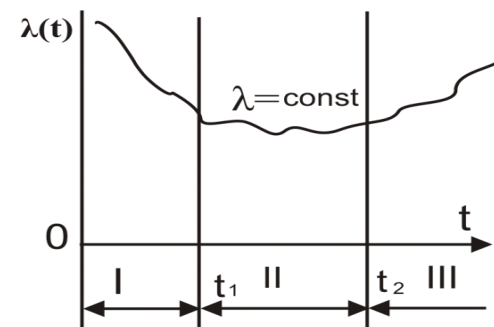


Рис. 1. Кривая распределения отказов во времени

Эта кривая имеет три ярко выраженные части: часть I от 0 до t_1 характеризует начальный период эксплуатации объекта, т.е. период приработки его; в этот период происходит значительное количество отказов, в основном по производственным причинам (скрытые дефекты, небрежность монтажа и т.п.). Продолжительность этого периода зависит от типа устройства, оборудования, культуры производства и других причин и, как правило, соответствует времени наладки; часть II (t_1 – t_2) характеризует период рабочей (нормальной) эксплуатации объекта; для этого периода характерным свойством является $\lambda = \text{const}$; часть III (t_2 –) характеризует период старения объекта; интенсивность отказов показывает, что дальнейшая эксплуатация этого объекта нецелесообразна.

1.1. Комплексные показатели надежности

В эти показатели входят: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Одним из важнейших свойств, наиболее полно отражающим сущность понятия надежности, является «безотказность», т. е. свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки (объема выполненной работы). Обоснованное доверие к работающей системе и численная оценка ее надежности могут базироваться исключительно на данных опыта фактической работы подобных же систем или составляющих ее элементов.

Нарушения работы системы, препятствующие нормальному выполнению ее функций, обуславливаются различными случайными событиями. Единственным путем оценки возможности появления таких событий, закономерностей их возникновения и повторения являются сбор, изучение и обработка статистических сведений о работе действующих систем. Для отдельных элементов систем характеристики их поведения в работе определяют обычно путем специально поставленных заводских испытаний. Материалы, полученные в результате наблюдений в натуре или проведения соответствующих экспериментов, обрабатываются методами математической статистики и позволяют установить численно вероятность возникновения тех случайных событий, которые могут привести к нарушению нормального функционирования отдельных элементов и изделий, а следовательно, и системы в целом.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы, элемента, называется отказом. Одним из важнейших численных показателей безотказности системы и ее надежности является вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что в пределах заданного времени работы объекта не возникнет его отказа (табл. 1).

Таблица 1

Классификация и определение отказов по признакам

Признаки	Определение
I. Виды отказов по характеру их проявления	
По характеру возникновения	
Внезапный	Отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких основных параметров
Постепенный	Отказ, характеризующийся постепенным изменением значений одного или нескольких параметров объекта
По взаимосвязи между собой	
Независимые	Отказ, не обусловленный повреждениями или отказами других элементов объекта
Зависимые	Отказ, обусловленный повреждениями или отказами других элементов объекта
По времени воздействия	
Полный	После отказа использование объекта по назначению до восстановления его работоспособности невозможно
Частичный	После возникновения отказа использование объекта по назначению возможно, но при этом значение одного или нескольких основных параметров находится вне допустимых пределов

Продолжение табл. 1

Признаки	Определение
I. Виды отказов по характеру их проявления	
По объему и характеру восстановления	
Расстройка	Отказ, определяемый нарушением взаимодействия между причинами и следствием действия на эти причины (например, несоответствие доз реагента изменившимся параметрам воды)
Повреждение	Отказ, приводящий к незначительному нарушению работоспособности
Авария	Отказ, приводящий к полному выходу объекта или отдельных элементов его
По способу устранения отказов	
Сбой	Самоустраняющийся отказ, характеризующийся кратковременной утратой работоспособности
Перебегающий	Многokrратно возникающий сбой одного и того же характера
Невозвратные	Отказы, устраняемые внешними воздействиями
По повторяемости	
Систематические	Отказы определенного вида объектов, многократно возникающие по одной и той же причине и имеющие один и тот же механизм отказа
Несистематические	Отказы однократные и возникающие по разным причинам
II. Виды отказов по причинам их возникновения	
Отказы, связанные с людьми	
Конструкционные	Отказ, возникающий вследствие ошибок при конструировании или несовершенства конструкции
Производственные (технологические)	Отказ, возникающий вследствие нарушения или несовершенства процесса по изготовлению продуктов
Эксплуатационные	Отказ, возникающий вследствие нарушения установленных условий эксплуатации
Отказы, связанные с состоянием устройств, материала и т.п.	
Усталостный	Отказ, возникающий вследствие усталостного разрушения металлов объекта
Из-за изнашивания	Отказ, возникающий вследствие изнашивания элементов изделия
Из-за старения	Отказ, возникающий вследствие влияния процесса старения материалов изделия

Продолжение табл. 1

Признаки	Определение
III. Виды отказов по ущербу	
Критический	Отказ, который создает опасность для людей и ведет к значительным материальным потерям
Значительный	Отказ, который не создает опасности для людей, но ведет к значительным материальным потерям
Незначительный	Отказ, при котором имеют место незначительные материальные потери

Все оценки надежности и входящих в это понятие отдельных свойств и численных показателей имеют вероятностный характер. Поэтому, базируясь на данных фактического опыта работы аналогичных элементов, мы можем определить вероятность времени (длительность периода) их безотказной работы, вероятное среднее число отказов в заданный промежуток времени и другие численные показатели, связанные с оценкой надежности.

Чем больше объем используемого статистического материала (или исследований), тем точнее (ближе к истине) будут показатели надежности, полученные в результате обработки этого материала.

Численные показатели вероятности случайных событий измеряются в долях единицы или в процентах. Вероятность, равная единице, характеризует достоверное событие, т. е. такое, которое непременно произойдет. Нельзя рассматривать вероятность наступления каких-либо случайных событий без отнесения их к какому-либо конечному промежутку времени. Вероятность безотказной работы объекта за некоторое время и вероятность его отказа (за то же время) являются событиями противоположными, и сумма их равна единице. Очевидно, надежность объекта будет тем больше, чем больше вероятность его безотказной работы и чем ниже вероятность его отказа.

Характеристики эксплуатационной надежности позволяют осуществлять оценку безотказной работы объектов (устройств, оборудования, сооружений, систем) в процессе их эксплуатации и хранения. Но они не устанавливают соотношений между временными составляющими нормального цикла эксплуатации, не учитывают времени, затраченного на проведение регламентных и ремонтных работ, готовности систем к работе, удобства эксплуатации, технического использования оборудования и т.д. При длительной эксплуатации требуется оценка состояния, в котором будет находиться объект по истечении времени t с учетом его ремонтно-пригодности и восстанавливаемости в процессе эксплуатации (табл. 2).

Таблица 2

Комплексные показатели надежности

Название и формула	Определение
Коэффициент готовности	Вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование изделий не предусматривается
Коэффициент технического использования	Отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации
Коэффициент оперативной готовности	Вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в произвольный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени
Коэффициент сохранения эффективности	Характеризует степень влияния отказов элементов объекта на эффективность его применения по назначению. Определяется отношением объема выпускаемой продукции без отказов Q_t , к объему продукции, определяемому с учетом реальной надежности объекта (Q_d)
Коэффициент планируемого применения	Отношение разности заданной продолжительности эксплуатации и математического ожидания суммарной продолжительности плановых обслуживаний и ремонтов за тот же период эксплуатации к значению этого периода
Коэффициент профилактики	Отношение времени восстановления ко времени безотказной работы, взятых за один и тот же календарный срок
Коэффициент расхода элементов (оборудования)	Отношение числа отказавших и изъятых в процессе профилактических осмотров элементов, деталей, оборудования в единицу времени к общему числу их
Коэффициент вынужденного простоя	Отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы объекта, взятых за один и тот же календарный срок
Коэффициент восстановления	Отношение числа восстановленных элементов в интервале времени Δt к произведению среднего числа неработающих элементов на интервал времени Δt

1.2. Основные понятия и определения надежности (риски) в инженерных системах подачи и распределении жидкости

Наиболее удобной в раскрытии понятий надежности в инженерных системах является система водоснабжения.

Поскольку системы водоснабжения относятся к категории систем обслуживания, требования к их надежности, выраженные численными значениями тех или иных показателей надежности, устанавливаются в соответствии с требованиями потребителей воды и нормативами, учитывающими нужды потребителей.

В зависимости от характера потребления воды требования к надежности систем водоснабжения могут быть обоснованы экономическими соображениями, необходимостью обеспечения надлежащего санитарного состояния жилищ, уровня бытового обслуживания и др. Во всех случаях надежность системы должна обеспечивать безопасность людей от возможных последствий нарушения функций водообеспеченности (взрывы, пожары и т. п.).

Обеспечение требуемой (заданной) надежности любой технической системы должно предусматриваться в процессе ее проектирования и расчета, в процессе изготовления (использование надежных материалов и оборудования), в процессе сооружения системы (высокое качество строительно-монтажных работ) и, наконец, в процессе эксплуатации – путем хорошей организации аварийно-восстановительной службы, планово-предупредительных ремонтов и высокой квалификации обслуживающего персонала.

Следует иметь в виду, что повышение надежности системы всегда вызывает увеличение материальных затрат. Поэтому требования к надежности систем водоснабжения (как и многих других систем) должны быть убедительно обоснованы. Для некоторых объектов вопрос о требуемой надежности их водообеспечения может быть решен в результате технико-экономического анализа. Такой подход может иметь место при назначении и обосновании требуемой надежности водообеспечения для систем водоснабжения предприятий отдельных отраслей промышленности. В этих случаях может возникнуть проблема определения оптимальной надежности. Очевидно, увеличение затрат на повышение надежности системы должно оправдываться снижением материальных ущербов, вызываемых ее возможными отказами.

Используя технико-экономические (оптимизационные) расчеты, можно определить оптимальные объемы затрат на обеспечение надежности системы водоснабжения. Указанный подход к определению уровня надежности может быть использован только в тех случаях, когда наноси-

мый отказами ущерб носит чисто экономический характер. При отказах (авариях) недостаточно надежной системы, вызывающих моральный ущерб (опасных для жизни и здоровья людей), чисто экономический подход неприемлем и требования к надежности определяются органами техники безопасности, санитарными органами и в ряде случаев предусматриваются соответствующим законодательством.

Заданная расчетная надежность водообеспечения объекта обеспечивается различными путями при проектировании систем водоснабжения. Путем технико-экономических сравнений с учетом местных условий для каждого объекта может быть выбран оптимальный вариант решения проблемы обеспечения заданной надежности.

1.3. Специфические особенности режимов работы систем водоснабжения и определение их расчетных параметров

Обеспечение надежности водоснабжения – задача большого народнохозяйственного значения, которая имеет ряд специфических особенностей и решение её часто сопряжено с большими трудностями.

Две основные категории систем водоснабжения – производственного и коммунального – существенно различаются по характеру выполняемых функций, режиму работы и методам определения их расчетных параметров.

В системах производственного водоснабжения мы имеем обычно детерминированный и управляемый процесс водоиспользования, обусловленный режимом технологического процесса. Величина удельного водопотребления на 1 т продукции на отдельные производственные установки в единицу времени, общие объемы водопотребления, а также режимы отбора воды могут быть достаточно точно определены с помощью технологических расчетов.

В системах коммунального водоснабжения определение названных параметров работы значительно сложнее, поскольку это системы массового обслуживания. Отбор воды из них в каждый момент времени представляет собой сумму запросов (отборов воды) потребителей. Никакое волевое регулирование этих отборов практически не осуществимо. Суммарные отборы воды жителями из сети городского водопровода представляют собой случайные величины, обусловленные сочетанием самых различных случайных событий. Таким образом, для нормального функционирования систем коммунального водоснабжения необходимо изучение статистических закономерностей процессов водопользования.

Несмотря на случайный характер событий, влияющих на изменение во времени количества воды, отбираемой из системы, имеются и некоторые

категории общих причин, определяющих характерные изменения водопотребления.

Суммарный объем водопотребления города претерпевает следующие изменения во времени:

1. Ежегодное увеличение расхода воды в процессе эксплуатации (тренд), обусловливаемое как ростом числа жителей, так и улучшением санитарно-технического оборудования жилищ и городского благоустройства, вызывающим увеличение удельных расходов воды на одного жителя в сутки.

2. Циклические (периодические) изменения суточных расходов, связанные с сезонами года, температурой, погодой, сезонной миграцией населения и обусловленные ростом как удельного водопотребления, так и числа потребителей. Суточный объем водопотребления меняется также и в отдельные дни недели (праздничные и предпраздничные дни).

3. Колебания часовых расходов воды в течение суток обуславливаются режимом жизни населения, режимом работы промышленности, степенью индустриализации города, режимом работы всех видов транспорта и случайными сочетаниями ряда таких событий, как изменения погоды, программы радио- и телевизионных передач, программы зрелищных предприятий, спортивных матчей и т. п.

Удельные расходы воды на одного человека в сутки для различных категорий благоустройства и коэффициенты неравномерности водопотребления в течение года (суточные) и в течение суток (часовые) определяются в результате обработки фактических данных о водопотреблении, обобщаемых и приводимых в нормативных документах по проектированию систем водоснабжения. Нормы эти дают, разумеется, лишь приближенные и осредненные показатели возможных колебаний расхода воды. Расчетные расходы на последний год эксплуатации водопровода до его реконструкции определяются путем прогнозирования роста населения и удельной нормы водопотребления с учетом роста благоустройства.

Таким образом, все используемые методы определения основных расчетных параметров водопотребления не могут претендовать на большую точность. Между тем построенная в соответствии с нормативными требованиями и проведенными прогнозами развития города система водоснабжения должна наиболее полно удовлетворять фактически возникающие потребности в воде.

Вследствие неточности прогнозирования может возникнуть существенный разрыв между фактическими потребностями населения в воде в отдельные промежутки времени и возможностями системы, т. е. своеобразный отказ системы. Попытки потребителей отобрать из системы водопровода больше воды, чем она может дать (при нормальном функциониро-

вании), приводят к падению давления в системе и к еще большему ухудшению условий водопользования. Подобный отказ систем возникает не в результате каких-либо неисправностей или аварий в системе, а является следствием лишь того, что фактические потребности в воде в данный период превысили предполагаемые и определенные в результате прогнозирования. Своевременно замеченное отставание системы от роста потребностей в воде на протяжении расчетного срока может быть предупреждено путем досрочного сооружения и ввода в эксплуатацию новых мощностей и установок подачи воды.

Неточности (ошибки) прогнозирования могут быть и при определении темпов роста водопотребления в течение расчетного срока работы водопровода (до его расширений) и циклических изменений режима водопотребления в отдельные сутки года и в отдельные часы суток.

В соответствии с существующими нормативами система городского водоснабжения в целом должна обеспечивать подачу потребителям расчетных максимальных суточных расходов воды. По этому же расходу воды должен быть выбран и источник водоснабжения. Удовлетворение потребностей в воде в отдельные часы суток обеспечивается напорно-регулирующими емкостями систем водоснабжения, так как максимальные часовые отборы воды потребителями могут превосходить средние часовые расходы воды (в сутки максимального водопотребления), забираемые из источника и подаваемые в городскую сеть. По установившимся в мировой практике правилам системы городского водоснабжения проектируются на обеспечение расчетных часовых расходов. Предполагается, что возможные повышения отдельных «кратковременных спросов» на воду, превышающих средние за час максимального расхода, могут не учитываться, так как они не причиняют серьезного ущерба потребителям.

Надежность систем коммунального водоснабжения определяется не только законами распределения случайных событий, вызывающих нарушение нормального (запланированного) процесса их функционирования, но и сами расчетные параметры этого процесса нуждаются в определенной вероятностной оценке.

Все сказанное убеждает в необходимости проведения систематических наблюдений за фактическим режимом водопотребления населенных мест, обработки полученных статистических сведений и установления численных показателей надежности (обеспеченности) пиковых нагрузок системы.

Современные системы городского водоснабжения представляют собой сложный комплекс отдельных подсистем (сооружений), включающих, в свою очередь, многочисленные и разнообразные элементы: механизмы, установки, устройства, арматуру, приборы, трубопроводы и др.

Основными подсистемами (сооружениями или комплексами сооружений) систем водообеспечения являются водоприемные сооружения, насосные станции, очистные сооружения, емкости, водоводы (тракты подачи воды), сети (системы распределения воды по территории обслуживаемого объекта). Естественно, что к этому перечню основных искусственных сооружений должны быть добавлены природный водоем, используемый в качестве источника водоснабжения, а также системы энергоснабжения, обеспечивающие работу насосных станций и оборудования других сооружений систем водоснабжения.

Требуемая надежность систем водоснабжения может быть определена только в результате комплексного рассмотрения всей проектируемой цепи водопроводных сооружений (от источника до потребителя) и учета их роли в совместной работе [1]. Разумеется, и самый выбор источника должен быть произведен на основе тщательного анализа статистических данных о колебаниях его дебита и уровней с тем, чтобы была обеспечена требуемая безотказность получения расчетных количеств воды.

Следует отметить, что обычно отказ одного элемента системы водоснабжения не приводит к отказу соответствующих сооружений и тем более всей системы. Даже отказ некоторых сооружений обычно не приводит к полному отказу системы, т. е. к прекращению водоподачи, а может вызвать лишь некоторое временное снижение расчетного уровня водообеспечения, иногда допустимое, а иногда и сверх допустимого нормами предела.

Требования к надежности системы водоснабжения должны устанавливаться исходя из интересов потребителей. Система должна быть устроена так, чтобы любые случайные события не повлекли недопустимых нарушений нормального водообеспечения.

2. ПРОЦЕСС ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Характеристика функций системы водоснабжения и ее основных состояний

Известно, что под надежностью систем водоснабжения следует понимать их свойство выполнять функции водообеспечения потребителей, сохраняя во времени установленные эксплуатационные показатели в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации. Функцией системы водоснабжения является обеспечение обслуживаемого объекта (города, промышленного предприятия) водой в заданных количествах, заданного качества, а также поддержание требуемых напоров в системе распределения воды. Выполнение всех предъявленных

системе водоснабжения требований обеспечивает нормальный уровень качества ее функционирования.

В процессе эксплуатации могут возникнуть различные нарушения нормальной работы отдельных сооружений и элементов системы, что неизбежно вызывает определенные нарушения функций системы в целом, т. е. приводит к снижению нормального уровня водоснабжения обслуживаемого объекта. Допустимые пределы такого снижения предусматриваются (или должны предусматриваться) в соответствующих нормативных документах. Должны регламентироваться допустимость перерывов в подаче воды и их допустимая длительность, а также степень допустимого снижения подачи и длительность периодов понижений подачи. Должна быть установлена предельно допустимая частота повторения подобных нарушений нормальной работы.

Если в результате каких-либо причин снижение эксплуатационных показателей превосходит допустимые пределы, возникает отказ системы. Наиболее серьезное влияние на ухудшение работы систем могут иметь отказы источников водоснабжения, аварии водоприемных сооружений, прекращение подачи электроэнергии (в результате аварий в энергосистеме). Подобные события могут привести к отказам системы в целом.

Таким образом, любая реальная система водоснабжения может пребывать в следующих основных (расчетных) состояниях:

- а) полной работоспособности – система может выполнять функции водообеспечения потребителей на заданном нормальном расчетном уровне;
- б) неполной работоспособности – система может выполнять функции водообеспечения потребителей на уровне, сниженном по сравнению с нормальным расчетным, но не ниже установленного нормами допустимого предела;
- в) неработоспособности (состояние отказа) – система не может выполнять функции водообеспечения потребителей на нормальном расчетном или допустимом пониженном уровне.

Для каждой эксплуатируемой или запроектированной системы водоснабжения может быть численно оценено влияние отказов отдельных элементов и сооружений на качество ее функционирования в целом, т. е. на процесс водообеспечения обслуживаемого объекта. Так как допустимые пределы ухудшения процесса функционирования предусматриваются определенными нормами для определения численных показателей границ перехода системы из одного состояния в другое необходимо, прежде всего, четко определить понятие и численные характеристики расчетных уровней нормального её функционирования (или качества функционирования).

Характер функционирования систем водоснабжения в значительной степени зависит от характера процесса водопотребления. В этом отношении системы водообеспечения промышленности и водообеспечения населения существенно различны.

Как уже указывалось ранее, в системах производственного водоснабжения обычно имеет место детерминированный процесс водопотребления. Этот процесс, установленный в соответствии с технологическими расчетами, может в точности осуществляться при эксплуатации, корректироваться и управляться обслуживающим персоналом.

Соответственно детерминированной является и функция системы водоснабжения. Нарушение этой функции и снижение качества функционирования могут произойти только в результате каких-либо неисправностей или повреждений элементов системы подачи воды или отказов внешних систем (источников воды или систем энергоснабжения).

В системах коммунального водоснабжения процесс водопотребления является случайным и неуправляемым. Системы эти принадлежат к числу систем массового обслуживания, и фактический режим их работы определяется случайным потоком заявок на воду массы отдельных потребителей.

Прогнозируемые в процессе проектирования системы объемы и режимы водопотребления на определенные расчетные сроки развития системы могут отличаться от фактически имеющих место в процессе эксплуатации. В системах, где процесс водопотребления имеет случайный характер, переход систем из работоспособного состояния в неработоспособное (или в состояние неполной работоспособности) может произойти не только в результате повреждений элементов системы, но и в результате периодических или случайных отклонений фактически требуемых режимов водопотребления от запланированных.

Системы водоснабжения, так же как и другие инженерные системы обслуживания, могут быть отнесены к сложным и многофункциональным техническим системам. В действующей терминологии сложная система определяется как «совокупность взаимосвязанных элементов, обеспечивающих выполнение заданных функций несколькими различными способами, отличающимися уровнями качества функционирования системы».

Процесс функционирования системы водоснабжения может быть оценен как показателями качества, так и показателями эффективности ее работы. Под уровнем качества функционирования понимается отношение характеристики качества функционирования системы в некотором данном состоянии к соответствующей её характеристике в исправном состоянии. В качестве показателя эффективности функционирования системы принимается «выходной эффект», т.е. полезный результат, получаемый

при эксплуатации системы за данный интервал времени. Конкретные показатели указанных оценок работы системы выбираются в зависимости от назначения, типа и характера её работы. Для оценки качества выполнения основной функции систем водоснабжения могут приниматься расходы подаваемой объекту воды или отношения этих количеств для периодов нарушенного и нормального функционирования.

Большинство систем водоснабжения может быть отнесено к многофункциональным системам, так как они должны обеспечивать подачу заданных количеств воды для различных категорий потребителей (бытовых нужд населения, нужд промышленности, пожаротушения) и обеспечивать не только подачу требуемых количеств воды, но и требуемые качество и давление в точках отбора ее из системы.

Все системы водоснабжения являются системами длительного действия. За определенные периоды эксплуатации качество функционирования этих систем может быть оценено отношением суммарной длительности периодов снижения качества функционирования к общему календарному сроку эксплуатации. При этом должна учитываться также и глубина (степень) возможных снижений. Существенное значение для оценки качества функционирования имеют также длительность и частота повторяемости периодов ухудшения функционирования.

Для любых оценок ухудшения качества функционирования, т. е. снижения уровня водообеспечения, необходимо иметь некие установленные (нормативные) уровни, по сравнению с которыми может быть обнаружено и измерено (оценено) наблюдаемое фактическое снижение, независимо от причин, его вызвавших. Только имея такие нормативные уровни, можно судить о том, является ли наблюдаемое снижение уровня водообеспечения отказом системы (исключая, конечно, случаи прекращения подачи воды).

Расчетные эксплуатационные показатели функционирования систем и допустимые пределы отклонений от них устанавливаются в зависимости от характера обслуживаемого объекта. Для любого объекта эксплуатационные показатели должны включать характеристику нормального расчетного уровня водообеспечения, т. е. расчетный объем водопотребления обслуживаемого объекта, расчетный режим водопотребления, допустимые пределы снижения (в аварийных ситуациях), а также расчетный уровень качества подаваемой воды и допустимые его снижения.

В основном нормативном документе по проектированию систем водоснабжения (СНиП 11-31-74) содержатся указания по допустимым изменениям качества функционирования этих систем. Все системы водоснабжения, как промышленные, так и коммунальные, рассматриваются вместе и разбиты на три категории надежности. Указывается, что потребители

всех трех категорий допускают временное снижение подачи воды на 30% от нормального расчетного уровня при длительности периодов такого снижения для I категории до 3 сут. для II и III категории – до 1 мес. Перерывы подачи воды для I категории не допускаются, для II категории – допускаются не дольше 5 ч и для III категории – не дольше 1 сут.

В системах водоснабжения промышленных предприятий расчетное количество расходуемой воды и режим ее расходования во времени определяются путем расчета по нормам производственного водопотребления. Для некоторых предприятий расчетные расходы воды меняются в отдельные сезоны года, например, в связи с изменением температуры воды источника (на предприятиях, использующих воду для целей охлаждения). В системах производственного водоснабжения запланированные расчетные уровни и режимы водопользования фактически обеспечиваются в процессе эксплуатации. Неработоспособное состояние системы водоснабжения промышленного предприятия может возникнуть только в результате отказов отдельных элементов систем или отказов внешних систем.

В зависимости от характера технологического процесса могут устанавливаться допустимые пределы временных нарушений нормального водообеспечения на время ликвидации повреждений в системе водоподдачи. Для многих отраслей промышленности допускаются весьма незначительные отклонения от расчетного уровня водообеспечения, что требует соответствующего повышения надежности систем водоснабжения. Вероятно, для отдельных отраслей промышленности приведенные в СНиП единые для всех допустимые снижения подачи воды на 30% и длительность периодов снижения должны быть уточнены.

Для систем коммунального водоснабжения значительно сложнее дать четкое определение расчетных уровней водообеспечения, по отношению к которым следует измерять допустимые снижения уровня функционирования системы. Решение этого вопроса требует более глубокого анализа случайного процесса водопотребления и его вероятностных оценок. Эти оценки могут быть сделаны лишь на основе обработки и анализа достаточно обширных натурных исследований фактических режимов водопотребления в системах коммунального водоснабжения.

Кроме удовлетворения требований потребителей к обеспечению их водой на системы коммунального водоснабжения обычно возлагаются подача воды на нужды пожаротушения и создание в водопроводной сети необходимого давления. В любой момент своей работы система хозяйственно-противопожарного водоснабжения должна обеспечить подвод требуемого количества воды к заданным точкам отбора воды (одной или несколькими) для тушения пожара.

Фактически процесс отбора воды из городской водопроводной сети осуществляется привезенными пожарной командой пожарными насосами, которые присоединяются к сети и отбирают из нее требуемые для тушения пожара расходы воды. Это вызывает усиленный приток воды в точку ее отбора по линиям сети, понижение давления в точке отбора и образование своеобразной депрессионной воронки в пьезометрической поверхности, соответствующей нормальному функционированию системы. Хотя напор в точке отбора, согласно нормам, не должен падать ниже установленного предела, все же жители верхних этажей зданий в прилегающем районе могут быть при этом лишены воды. Таким образом, отбор воды на пожар приводит систему водоснабжения в новое состояние, требующее специального анализа ущерба, наносимых при этом основным потребителям (жителям).

Наконец, в задачу систем водоснабжения входит обеспечение требуемого качества подаваемой воды. Ухудшение качества воды, подаваемой потребителям, может быть следствием аварийного ухудшения качества воды используемого источника в результате внезапного сброса загрязненных сточных вод (наиболее серьезный случай) или частичных нарушений работы очистных сооружений. В результате изменений качества воды могут происходить переходы систем из одного состояния в другое вплоть до состояния неработоспособности.

2.2. Методы определения расчетных объемов и режимов водопотребления, предусматриваемые действующими нормативными документами

При проектировании систем водоснабжения населенных мест принимаются некоторые удельные нормы водопотребления на одного жителя в сутки (q , л/сут.). Эти нормы базируются на результатах обработки данных о фактическом водопотреблении в городах и поселках различного типа, в различных климатических условиях, с различной степенью санитарно-технического оборудования жилищ.

В СНиП 11-31-74 приведены величины удельного водопотребления на одного жителя в сутки в среднем за год в зависимости от характера санитарно-технического оборудования жилищ. Эти удельные расходы для трех категорий санитарно-технического оборудования жилищ даются в пределах соответственно 125–160, 160–230 и 230–320 л/сут.

Суммарный расчетный расход воды, м³/сут., подаваемый системой в сутки (в среднем за год) составляет:

$$S = 0,001 \sum q_i N_i,$$

где q_i – удельные расходы для районов с различным санитарно-техническим оборудованием жилищ;

N_i – число жителей в этих районах.

Средний суточный расход, определяемый расчетом, является лишь некоторым общим показателем водопотребления. В течение года суточный расход воды имеет циклический характер колебаний и меняется по отдельным сезонам года. На основании обработки и анализа статистических материалов по водопотреблению за ряд лет получены рекомендуемые в нормах пределы значений коэффициентов неравномерности суточных расходов воды городом в течение года:

$$K_{\max} = S_{\max} / S = 1,1 \div 1,3,$$

$$K_{\min} = S_{\min} / S = 0,7 \div 0,9.$$

Для нормального водообеспечения населения система водоснабжения должна быть в целом рассчитана на возможность подачи максимального суточного расхода $S_{\max}$. Если предполагается снабжение водой промышленных предприятий города из общей системы городского водопровода, к полученной величине $S_{\max}$ должны быть прибавлены соответствующие расходы воды на нужды промышленности, а также на поливочные нужды по соответствующим нормам. Подача суммарного суточного расхода воды, в том числе и максимального, на нужды города является нормальной функцией водообеспечения, т. е. функцией системы водоснабжения в целом – в «суточном разрезе».

Однако процесс отбора воды из сети населением испытывает значительные изменения и в течение суток. Суточные графики расходования воды отличаются большим разнообразием для различных населенных мест, сильно меняются в различные сутки в зависимости от сезонов года, дней недели и ряда случайных событий [2–5].

Коэффициенты неравномерности часового водопотребления в соответствии со СНиП 11-31-74 определяются из выражений:

$$a_{\max} = Q_{\max} / Q_{\text{ср}} = a_{\max} \beta_{\max},$$

$$a_{\min} = Q_{\min} / Q_{\text{ср}} = a_{\min} \beta_{\min},$$

где $Q_{\max}$, $Q_{\min}$ и $Q_{\text{ср}}$ – величины часовых расходов воды – соответственно наибольший, наименьший и средний расходы за сутки; величина $Q_{\text{ср}}$ может быть определена для любых суток и, в частности, для расчетных суток (наибольшего $S_{\max}$, наименьшего $S_{\min}$ или среднего S водопотребления).

Коэффициенты α , учитывающие степень благоустройства зданий, режим предприятий и другие местные условия, рекомендуется принимать: $\alpha_{\max}$ от 1,2 до 1,4 и $\alpha_{\min}$ от 0,7 до 0,9. Коэффициенты β учитывают влияние численности населения на неравномерность водопотребления и принимаются, согласно нормам, в пределах: $\beta_{\max}$ – от 2 до 1 и $\beta_{\min}$ – от 0,1 до 1.

Таким образом, расчетный часовой расход воды за расчетный год может быть определен из выражений:

абсолютный наибольший:

$$Q_{\max} = \alpha_{\max} \beta_{\max} S_{\max} / 24;$$

абсолютный наименьший:

$$Q_{\min} = \alpha_{\min} \beta_{\min} S_{\min} / 24;$$

средний:

$$Q_{\text{ср}} = S / 24.$$

Указанные численные показатели неравномерности водопотребления относятся только к объему воды, расходуемой собственно на хозяйственно-питьевые нужды населения в жилых домах или на предприятиях общественного питания и бытового обслуживания.

Приведенные в СНиП численные показатели объемов и режимов расходования воды базируются на некотором фактическом материале, однако они не могут претендовать на достаточную точность, так как не являются продуктом математической обработки и анализа опытных данных. Следует отметить, что практика замеров расходов воды в процессе эксплуатации городских водопроводов дает возможность определить в лучшем случае только общие количества воды, подаваемые в отдельные периоды насосными станциями в городскую сеть. То обстоятельство, что в отдельные периоды суток часть этой воды поступает в регулирующие емкости, а в другие периоды подается из них в сеть в дополнение к воде, подаваемой от насосных станций, обычно не учитывается. Совершенно недостаточно учитываются расходы воды на поливочные нужды, далеко не точно учитываются расходы на нужды промышленности и весьма произвольно принимаются размеры утечек (потерь) воды.

Графики суточных колебаний расхода воды для проектируемых вновь или реконструируемых систем водоснабжения данного города принимаются по аналогии с графиками, снятыми с натуры в других городах. Число таких «типовых» графиков, используемых в практике, весьма незначительно, и сами графики, как уже указывалось, не могут достаточно верно отражать истинную картину водопотребления. Никакая вероятно-

стная оценка «типовых» расходов и степени их обеспечения не может быть принята при использовании указанных данных.

Для изучения закономерностей водопотребления и возможной оценки принимаемых расчетных уровней водообеспечения в системах городского водоснабжения был проведен анализ данных о фактическом водопотреблении и его режимах, в результате чего были выработаны рекомендации для использования их при проектировании систем водоснабжения.

Приведенные нормативные указания позволяют в принципе определять нормальные уровни функционирования системы водообеспечения в целом, т.е. уровень удовлетворения потребностей в воде обслуживаемого объекта. СНиП содержат также некоторые указания по допустимому снижению нормального уровня водообеспечения, которое может иметь место в результате случайных событий.

В разделе «Общие указания» СНиП 11-31-74 рассматриваемые потребители воды разделены по надежности на три категории. К I категории отнесены предприятия металлургической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности, электростанции, хозяйственно-питьевые водопроводы населенных пунктов с числом жителей более 50000 чел. На этих предприятиях допускается снижение подачи воды не более 30% от расчетных расходов на время не более 3 сут. Ко II категории отнесены предприятия угольной, горнорудной, нефтедобывающей, машиностроительной и других видов промышленности, хозяйственно-питьевые водопроводы населенных пунктов с числом жителей до 50 000 чел. и групповые сельскохозяйственные водопроводы, допускающие снижение подачи воды не более 30% от расчетных расходов на время не более 1 мес. или перерыв в подаче воды на время не более 5 ч. К III категории отнесены мелкие промышленные предприятия, системы орошения сельскохозяйственных земель, хозяйственно-питьевые водопроводы населенных пунктов с числом жителей до 500 чел., допускающие перерыв в подаче воды до 1 сут. или снижение подачи воды не более 30% на время не более 1 мес.

Таким образом, снижение расчетного уровня водообеспечения (в отношении количеств подаваемой воды) допускается для всех систем водоснабжения не более чем на 30%. Установлены допускаемые длительности перерывов для II и III категорий – соответственно 5 ч и 1 мес. и допустимые длительности снижения нормального уровня функционирования – соответственно от 3 сут. до 1 мес. для систем различных категорий.

Приведенные требования относятся не столько к надежности систем водоснабжения, сколько к оценке допустимого снижения качества их функционирования. Никаких собственно надежностных расчетных характеристик, т. е. оценки нормативных значений вероятности безотказной

работы систем или допустимой частоты повторения отказов, ведущих к указанным нарушениям функционирования систем, в СНиП не приводится. Нормативы по допустимой длительности нарушений касаются только процессов восстановления систем водоснабжения при любых нарушениях их работы.

Указания СНиП о допустимой величине снижения количеств подаваемой воды позволяют в принципе только численно характеризовать расчетные уровни функционирования систем в аварийных условиях. Вопрос о том, от какого уровня следует считать это снижение для систем водоснабжения, может быть решен с учетом фактического режима их работы. Для систем производственного водоснабжения с детерминированным и управляемым процессом водопотребления допустимые снижения уровня определяются по отношению к нормальному расчетному уровню.

Для систем водоснабжения населенных мест со случайным процессом водопотребления точное определение допустимого (по нормам) сниженного уровня водопотребления не представляется возможным. Он может быть оценен лишь с некоторой степенью вероятности (обеспеченности) в зависимости от вероятностной оценки событий, которые могут повлечь подобное снижение, т. е. на основе вероятностного анализа процесса водопотребления. При отсутствии таких вероятностных оценок определение допустимого расчетного уровня функционирования систем водоснабжения может быть получено приближенно путем введения нормативной поправки (30%) к расчетному уровню функционирования в дни и часы наибольшего водопотребления.

Использование резервов насосного оборудования и наличие напорно-регулирующих и запасных емкостей, как правило, позволяют для любого момента работы действующих систем хозяйственно-питьевого водоснабжения обеспечить запланированную подачу наибольшего часового расхода. Обеспечение уровня функционирования системы в состоянии одновременного удовлетворения потребностей пожаротушения и снабжения потребителей достигается также использованием предусмотренных пожарных запасов воды в водопроводных резервуарах и наличием дополнительного насосного оборудования стационарных насосных станций, а также специального противопожарного передвижного оборудования, используемого пожарной командой. Следует отметить, что определение расчетных сроков тушения пожара и потребной интенсивности подачи воды для этих целей основано на статистических материалах и позволяет решать эти задачи с достаточной гарантией требуемой обеспеченности.

Нормативные требования к качеству подаваемой воды для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения приводятся в ГОСТ 2874–73 «Вода питьевая». Требования к качеству воды, используемой в производстве, устанавливаются технологическими нормативами для различных отраслей промышленности.

2.3. Виды отказов в системах водоснабжения

Отказы системы водоснабжения, т. е. события, заключающиеся в нарушении нормального выполнения ею функций водообеспечения снабжаемого объекта, весьма разнообразны. Как уже указывалось, нарушение может состоять в некотором недопустимом снижении уровня водообеспечения или в полном прекращении подачи воды потребителям (полный отказ). Отказ системы может заключаться также в недопустимом ухудшении качества подаваемой воды.

Повреждение любого элемента или сооружения системы оказывает то или иное влияние на качество функционирования системы в целом. Масштабы этого влияния определяются ролью и значением отказавшего элемента. Системы подачи воды благодаря широкому использованию принципов резервирования устроены так, что отказ отдельных элементов или блоков сооружения, иногда и отдельных сооружений не влечет за собой полного отказа системы, а вызывает лишь временное допустимое снижение уровня ее работоспособности.

Длительность пребывания системы в состоянии неполной работоспособности определяется временем восстановления, включающего время на обнаружение аварии и на ремонт или замену поврежденного элемента.

Весьма серьезные последствия для работы системы водообеспечения могут иметь отказы связанных с нею внешних (ассоциированных) систем, таких, как природные источники воды, системы энергоснабжения и иногда системы материального обслуживания. Отказы этих систем могут привести к весьма тяжелым нарушениям нормального функционирования систем водоснабжения вплоть до полного временного прекращения подачи воды (при отсутствии соответствующих резервов).

Отказ природного источника представляет особую опасность для нарушения работы системы водоснабжения, использующей один источник, и может привести к полному отказу систем водоподачи.

Отказы системы подачи электроэнергии прежде всего нарушают работу насосных станций систем водоснабжения и могут вызвать временный перерыв в подаче воды потребителям. Прекращение подачи тока может вызвать также существенные нарушения в работе ряда водопроводных сооружений (водоприемных, очистных и др.), где широко использу-

ются механизмы, оборудование и арматура с электроприводом, системы телеуправления, сигнализации и т. п. При современном состоянии систем электроснабжения и наличии закольцованных систем, питающихся от нескольких электростанций, вероятность полного и длительного прекращения подачи тока весьма мала. При отсутствии достаточно надежного электроснабжения на водопроводных насосных станциях должно быть предусмотрено наличие теплового резерва.

Отказы по внутренним причинам, т. е. нарушения нормального функционирования системы водоснабжения в результате повреждений и аварии отдельных сооружений или элементов системы, являются наиболее частыми. Отказы системы могут быть вызваны выходом из строя таких ответственных сооружений, как водоприемные сооружения, головные насосные станции, основные подводящие воду каналы или водоводы.

Ассортимент элементов, используемых при устройстве водопроводных сетей и сооружений, весьма велик. Основными из них можно считать следующие: трубы и их стыковые соединения; насосы; электродвигатели и электрооборудование; запорную, регулирующую и предохранительную арматуру; механическое оборудование очистных сооружений (насосы, воздуходувки, смесители, промывные устройства и др.); дозирующую, измерительную, контрольную и сигнальную аппаратуру реагентного хозяйства очистных станций; системы автоматического управления, телеуправления, сигнализации и диспетчерской связи.

Для большинства названных элементов наблюдается некоторая общая закономерность их повреждений (отказов) за период работы с момента пуска в эксплуатацию до наступления предельного состояния. В начале этого периода различные повреждения наблюдаются относительно часто: сказываются допущенные дефекты монтажа и пуска; изделие «приспосабливается» к нормальным условиям работы (вживается, переживает «детские болезни»). Затем наступает период нормальной работы, когда повреждения редки. Третий период характеризуется новым повышением частоты повреждений (результат старения), заканчивающимся наступлением предельного состояния. К этому периоду элементы должны быть своевременно заменены новыми.

Таким образом, качественное, строгое выполнение правил эксплуатации, в частности, своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов, весьма важно для обеспечения надежности систем водоснабжения. Хорошо организованная служба технической эксплуатации позволяет предвидеть возможность возникновения отказа некоторых изделий и принимать меры по его предупреждению.

В районах высокой сейсмической активности отказы различных элементов и сооружений систем водоснабжения могут иметь массовые и

одновременные аварии: разрывы водопроводных линий, трещины в резервуарах, обрушения водонапорных башен и др. Как показал опыт, землетрясения малой силы также наносят существенный вред водопроводным сооружениям, постепенно снижая их прочность, герметичность и приводят к авариям. Интенсивность отказов в системах водоснабжения в сейсмических районах весьма высока. Повышение надежности систем в этих условиях требует использования особых типов и конструкций сооружений, типов труб и специальных методов их прокладки.

Любые повреждения в системе водоснабжения нарушают в какой-то мере нормальное функционирование системы и снижают (ухудшают) основное свойство ее работы – безотказность. Проведение мероприятий по борьбе с отказами позволяет существенно повысить надежность системы. Они должны осуществляться на всех этапах создания и существования системы, т. е. в процессе ее проектирования, строительства и эксплуатации.

Выше был отмечен еще один вид отказов, происходящих в ряде случаев в системах городского водоснабжения в результате превышения фактической потребности в воде над запланированной (при проектировании и сооружении) для рассматриваемого периода эксплуатации системы. При этом в часы пик система не может удовлетворить фактически возникающих потребностей в воде, происходит понижение давлений в сети, высоко и далеко (от точек подачи воды) расположенные районы и верхние этажи зданий испытывают перебои в поступлении воды. Разумеется, подобное явление не может наступить внезапно. При надлежаще организованном учете подаваемой воды может быть зарегистрировано опережение фактического роста водопотребления города по сравнению с определенными в результате прогнозирования, и своевременно приняты меры для ускорения ввода в эксплуатацию сооружений и сетей следующей запланированной очереди развития системы водоснабжения.

2.4. Влияние отказов на показатели качества функционирования систем водоснабжения

Все рассмотренные виды повреждений различных элементов системы водоснабжения вызывают снижение качества ее функционирования. Если эти снижения превосходят допустимые (нормативные) пределы снижения водообеспечения, то происходит отказ системы. Таким образом, факт отказа системы водоснабжения может быть установлен лишь в результате сравнения фактических показателей качества функционирования с нормативными.

Надежность системы, как одно из ее важнейших свойств, является одним из существенных показателей качества её функционирования

(в самом широком понимании). Однако для водопроводных систем необходимо рассмотреть отдельно показатели надежности и показатели уровня (качества) их функционирования по обслуживанию потребителей в отношении как количества, так и качества воды. Каждая реализация процесса функционирования системы и каждое состояние может быть охарактеризовано одновременно показателями собственно качества ее функционирования, т. е. степени удовлетворения нужд потребителей, и вероятностью пребывания в этом состоянии, т. е. показателями надежности. Показатели качества выполнения системой функции водоснабжения и показатели надежности системы тесно взаимосвязаны, хотя и различны по своей природе.

Приведенные выше действующие нормативные требования к системам водоснабжения (СНиП11-31-74) касаются лишь оценки нормального уровня водообеспечения и допустимых его снижений или перерывов и допустимой их длительности. Собственно надежностных показателей работы систем водоснабжения, т. е. нормативной вероятности наступления отказов, эти нормативы не дают. Кроме того, следует отметить, что для системы водоснабжения в целом законы распределения времени установить из опыта крайне трудно. Гораздо легче установить вероятности отказов тех отдельных сооружений или элементов, которые могут повлечь отказ системы. Вероятности таких событий позволяют оценить и вероятность отказа системы. Влияние повреждений отдельных элементов на работу системы выявляется путем ее поверочных расчетов или расчетов отдельных подсистем.

Для систем водоснабжения представляет практический интерес оценка качества их функционирования на основании данных по «глубине» и длительности снижения уровня водообеспечения.

Характер процесса функционирования систем водоснабжения и возможность их переходов из одного состояния в другое различны для различных видов систем (рис. 2).

В системах с детерминированным и управляемым процессом водопотребления (таких, как большинство систем водоснабжения промышленных предприятий) фактический режим водопотребления при нормальной работе совпадает с запланированным. Численные показатели функционирования системы заданы. На рис. 2 верхняя горизонтальная прямая 1 – это график подачи заданного (постоянного) расхода; пунктирная линия 2 – график фактической подачи воды системой водоснабжения (при ее исправном состоянии); линия 3 соответствует предельно допустимому уровню временного снижения подачи воды (по условиям технологического процесса); линия 4 – полному прекращению подачи воды.

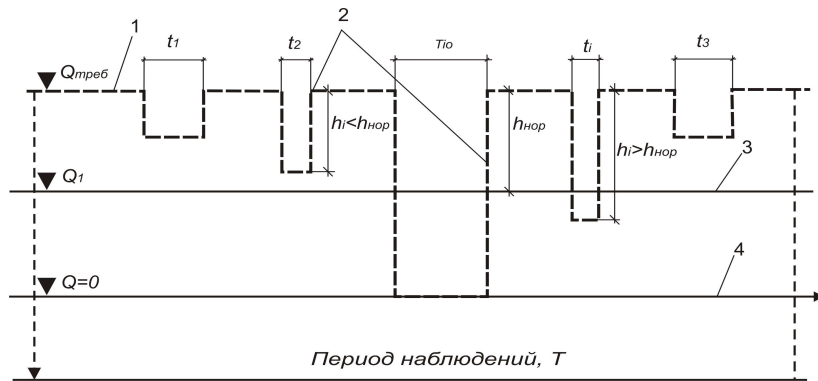


Рис. 2. Процесс функционирования систем водоснабжения

В результате отказов в системе водоснабжения могут происходить следующие виды нарушений нормального качества водообеспечения объекта:

а) временное снижение подачи, не достигающее предельно допустимого уровня. Пусть длительность этих периодов будет τ_1, τ_2, τ_3 ; для каждого периода глубина снижения $h_i < h_{норм}$ (т. е. ниже допускаемой нормами); относительные глубины снижения, т. е. отклонение наибольшего наблюдаемого снижения к допустимому нормами, будут соответственно $h_i / h_{норм}$.

В числе показателей качества функционирования могут быть использованы суммарная длительность интервалов подобных снижений за год $\sum \tau_i$; отношение $\sum \tau_i / T$, где T – общая длительность периода проведенных наблюдений; средняя глубина снижения

$$\frac{\sum h_i / h_{норм}}{n},$$

где n – общее число снижений подобного рода;

б) временное снижение подачи ниже допустимого уровня, т. е. частичные отказы системы. Длительности их периодов $t_1, t_2, \dots$ и т. д.; глубина снижения $h_i > h_{норм}$.

Для оценки качества функционирования могут быть получены показатели, аналогичные приведенным в п. «а» (и по длительности и по глубине); в этом случае величина $h_i / h_{норм} > 1$;

в) перерывы подачи воды потребителям. В качестве оценки функционирования в данном случае может использоваться критерий $\sum T_{\tau_{io}}$ (в год), а также критерий θ_1 , характеризующий эффективность работы системы:

$$\theta_1 = 1 - \frac{\sum T_{\tau_{io}}}{T},$$

где $\sum T_{\tau_{io}} / T$ – отношение времени безотказной работы к календарному сроку работы.

Этот критерий, полученный в результате статистической обработки данных длительных наблюдений, позволяет определить статистическую вероятность безотказной работы системы. Если учитывать все виды отказов (недопустимое снижение и перерыв в подаче воды), то соответствующий критерий будет определяться из выражения

$$\theta_2 = \frac{1 - (\sum t_i + \sum T_{\tau_{io}})}{T}.$$

Значительно сложнее оценка качества функционирования систем со случайным и неуправляемым процессом водопотребления (системы водоснабжения населенных мест). Фактический режим работы таких систем в каждый момент в той или иной степени отличается от запланированного. В период от пуска в эксплуатацию сооружений некоторой очереди развития систем водоснабжения до ее следующего расширения, количество воды, расходуемой в городе, непрерывно возрастает в соответствии с ростом числа жителей и повышением степени благоустройства. Расчетные расходы воды городом на последний год работы системы до ее реконструкции определяются в соответствии с нормами для суток и часов наибольшего и наименьшего водопотребления. Дополнительно, с учетом специфических условий города, в процессе проектирования принимается некоторый расчетный график водопотребления по часам суток. Могут быть составлены отдельные графики, характерные для суток в разные сезоны года, для рабочих, праздничных и предпраздничных дней. Ступенчатые графики могут быть аппроксимированы некоторой огибающей их кривой. Такой график дает предполагаемый (запланированный) режим водопотребления в течение расчетных суток (рис. 3).

На рис. 3 кривая 1 – это расчетная закономерность режима расхода воды в сутки наибольшего водопотребления. Как было указано выше, действующие нормы допускают снижение подачи воды городу в целом не более чем на 30 % от запланированного. Этот предельный уровень представлен на рисунке пунктирной линией 2. Фактический режим водопотребления и величины отборов воды населением отражает потребности жителей в отдельные моменты времени и в отдельные дни и часы отличается в той или иной степени от запланированной расчетной кривой. Предположим, что фактический режим водопотребления представлен кривой 3. Повреждения отдельных элементов системы вызывают снижение подачи воды, которое может быть более или менее допустимым.

При этом мы должны определять снижение расхода от запланированного (кривая 3), а не от фактического, который непрерывно меняется.

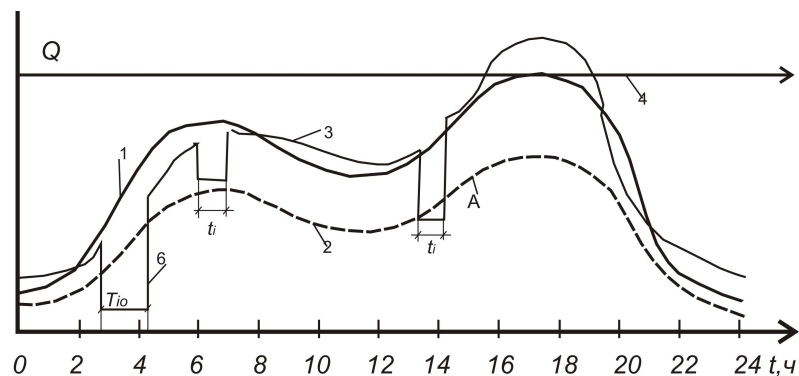


Рис. 3. Режим водопотребления в течение суток

При хорошей организации водомерной службы численные значения понижения расхода во время аварии известны, если производится автоматическая регистрация общих количеств воды, подаваемых в сеть (насосными станциями и подаваемых или отбираемых регулируемыми емкостями). Следовательно, известны длительность и глубина отдельных снижений подачи. Подобные показатели таким же образом получают для случаев, когда снижение превосходит допустимое, т. е. при полном отказе системы, и когда происходит частичный отказ или перерыв подачи воды.

Показатели качества функционирования, отражающие указанные нарушения нормальной работы системы, те же, что и для рассмотренного выше случая детерминированного процесса водопотребления, однако системы со случайным процессом водопотребления имеют специфическую особенность, а именно: кривая фактического водопотребления 3 может располагаться как выше, так и ниже кривой 1 (рис. 3). При этом система может удовлетворять фактические потребности в воде, превышающие запланированные, лишь в пределах установленной мощности своих водопитателей — насосных станций и напорных регулирующих емкостей.

Таким образом, если предположить, что в определенный период времени населению требуются расходы, соответствующие ординатам части кривой 3, расположенной над линией 4, то их запросы не могут быть удовлетворены системой. При этом никакая автоматическая запись подаваемых в систему количеств воды не дает возможности обнаружить тот факт, что населению подаваемой воды не хватает. Записью будет фикси-

роваться только количество подаваемой воды (на уровне линии 4). Между тем подобное явление безусловно следует рассматривать как отказ — тот особый вид отказа, который является причиной несоответствия запланированной потребности в воде фактической.

В системах городского водоснабжения, обслуживающих весьма большую территорию, неизбежно возникает неравномерное качество обслуживания потребителей. Вода, подаваемая в сеть водопитателями, проходит до отдельных районов питания различный по протяженности путь. Чем дальше расположен район (группа домов) от водопитателя, тем более неблагоприятны условия его питания. Чем длиннее путь транспортирования воды, тем больше попутные потери напора и тем меньше пьезометрические отметки в удаленных точках сети. Следовательно, удаленные потребители, прежде всего, будут испытывать ущерб при усиленном общем отборе воды из сети. Падение давления в сети приводит вначале к снижению возможной интенсивности отбора воды, а затем к полному её прекращению к самым удаленным и самым высокорасположенным водоразборным кранам. В верхние этажи зданий вода вообще может перестать поступать. Для того чтобы установить определенную гарантию обслуживания удаленных и высокорасположенных потребителей, в последней редакции СНиП 11-31-74 введено условие обеспечения в таких «диктующих» (критических) точках определенного минимально допустимого давления. Удаленные потребители находятся в худших условиях и по соображениям надежности их водообеспечения в случае каких-либо повреждений линий сети. В водопроводных сетях имеет место некоторая «иерархия отказов». Одинаковое повреждение линий сети и выключение их на ремонт причиняют различный ущерб в зависимости от места расположения участка в сети. В разветвленных сетях с одним источником питания отказ участков, близких к точке подачи воды в сеть, вызывает полное прекращение подачи воды всем потребителям, расположенным ниже места аварии по ходу воды. Наиболее удаленные потребители лишаются воды при аварии любого из цепи участков, которая соединяет их с точкой подачи воды в сеть.

Сети городских водопроводов всегда устраивают кольцевыми, обладающими высокой степенью резервирования (взаимозаменяемостью линий во время аварий). Однако и в этих системах аварии и выключение любых участков магистральной сети вызывают увеличение нагрузки параллельных линий, увеличение потерь напора в них и, следовательно, опасность недопустимого снижения давлений, прежде всего в удаленных точках сети. Из этих соображений строительные нормы устанавливают предельно допустимое (при авариях) снижение подачи воды в наиболее неблагоприятных точках сети.

Так как системы водоснабжения являются многофункциональными, качество их работы должно оцениваться по выполнению всех функций. Для систем водоснабжения населенных мест кроме основной их функции – обеспечения водой населения – такими функциями являются обеспечение подачи требуемых количеств воды для нужд пожаротушения и требуемого качества воды. Для систем технологического водоснабжения промышленных предприятий их функции заключаются также в обеспечении подачи требуемых количеств и качества воды, определяемых характером технологического процесса.

Многолетний статистический материал в области пожаротушения позволил выработать достаточно обоснованные нормативы по определению основных требований к системе водоснабжения, на которую возлагаются функции пожаротушения. Определены нормы расхода воды (интенсивность подачи воды) для создания пожарных струй, расчетные длительности пожара, возможное (расчетное) число одновременных пожаров и требуемые давления, которые должны быть обеспечены в местах отбора воды из общей сети пожарными насосами. Расчетным состоянием систем городского водоснабжения в период пожара является одновременное выполнение ими функций обеспечения водой всех обычных нужд населения и промышленности в часы наибольшего водопотребления, возможности подачи воды к расчетным точкам отборов воды из сети для пожарных нужд в заданном количестве с созданием в этих точках минимально необходимого давления в течение расчетного периода пожаротушения (3 ч).

2.5. Методы получения количественных характеристик надежности природных источников воды

Природные источники воды хоть и не входят в состав систем водоснабжения, являются важнейшей из внешних (ассоциированных) систем, от которой в значительной степени зависит успешное выполнение функций водоснабжения обслуживаемого объекта. Как уже было отмечено, отказ источника может повлечь полное нарушение функций водоснабжения, т. е. представляет наиболее серьезную опасность, чем все возможные отказы элементов самой системы водоснабжения.

Под отказом источника водоснабжения понимается наступление такого его состояния, в котором он не имеет возможности обеспечить получение из него воды вообще или в требуемом количестве и требуемого качества. Это может произойти в результате недопустимого снижения его дебита, повышения или снижения уровня воды, что может вызвать затопление водоприемных устройств или невозможность всасывания воды насосами. Непредвиденное и резкое ухудшение качества воды источника,

например в результате катастрофических сбросов загрязненных сточных вод, может также вызвать нарушение водообеспечения.

Надежностная оценка намеченного к использованию источника является задачей первостепенной важности. В определении надежностных характеристик природных водоемов заинтересованы (кроме водоснабжения) многие области народного хозяйства: гидроэнергетика, водный транспорт, орошение, дорожное и мостовое строительство, ряд отраслей промышленности и городского хозяйства.

Наличие статистических данных по многим источникам и создание единой методики их обработки значительно облегчают возможность получения численных надежностных характеристик источников, используемых для водоснабжения.

В практике водоснабжения используются все виды природных источников: поверхностные, т. е. реки в их естественном состоянии, и зарегулированные, озера, моря, а также подземные воды, родники и др.

Используемые природные источники определяют тип водоприемных сооружений и условия их эксплуатации.

2.6. Реки в естественном состоянии

Реки являются основным и наиболее часто используемым видом поверхностных природных источников воды для целей водоснабжения. Решению вопроса о возможности использования этого источника для заданного объекта предшествует проведение изысканий и исследований, в число которых входит получение статистических данных, позволяющих определить надежностные характеристики стока реки.

Режим реки в естественном состоянии, т. е. изменение ее расходов и уровней воды во времени, обуславливается сочетанием многих факторов: характером чередования и длительностью периодов различных метеорологических условий, сезонов года, изменениями температуры, количеством выпадающих атмосферных осадков, режимом таяния снегов, характером водосборного бассейна (площадь, рельеф, растительный покров, грунты). Так как четкая, численно выраженная функциональная зависимость показателей стока реки от всех перечисленных факторов практически не может быть получена, наблюдаемые различные значения расходов и уровней реки могут рассматриваться как случайные события. Поэтому вероятность наступления различных состояний реки, характеризующихся численными значениями расходов и уровней воды, может быть получена лишь на основании данных длительных наблюдений за фактическим режимом реки.

Наблюдения за режимом реки и первичная обработка полученных данных производятся водомерными постами, расположенными в различных по течению створах реки. Непосредственно замеряются уровни воды. Простейшим способом замеров является использование мерных реек. Замеры уровней воды производятся систематически, обычно два раза в сутки и более часто в периоды паводков для возможности регистрации мгновенных высоких уровней. Используются также автоматические приборы – лимнографы, позволяющие вести непрерывную запись отметок поверхности потока. Все замеряемые уровни привязываются к «нулю поста», имеющего известную геодезическую отметку. Каждому уровню воды в данном створе реки, соответствует как правило единственно возможное значение расхода (величины стока) при условии неизменного состояния русла.

Объем стока в единицу времени (расход)

$$Q = \sum v_i \Delta \omega_i,$$

где v_i – средняя скорость течения воды в пределах площади ω_i .

Вся площадь поперечного сечения реки разбивается на элементарные площадки $\Delta \omega_i$, и для каждой из них измеряются (гидрометрическими вертушками) средние скорости v_i течения воды в пределах этих площадок. В результате подобных замеров для данного створа может быть установлена функциональная зависимость $Q = f(H)$, выражаемая кривой расхода (рис. 4).

При наличии стабильного русла в данном створе можно ограничиться проведением систематических замеров уровней воды H и по ним по кривой $Q = f(H)$ вычислить значение мгновенных расходов, а также скоростей: $v = \phi(H)$.

Средний за сутки уровень определяется как среднее арифметическое из проведенных замеров. Ему соответствует по кривой расходов средний мгновенный расход за сутки. Осреднение полученных таким образом суточных расходов за месяц дает значение среднемесячных расходов; определение месячных расходов за год дает значение среднегодовых расходов.

Первичные статистические материалы позволяют получить значения максимальных и минимальных мгновенных уровней, что представляет практический интерес при выборе отметок расположения водоприемных сооружений и насосных станций первого подъема систем водоснабжения. В результате обработки замеренных на водоприемных постах характеристик стока получают ряды значений уровней и расходов воды в отдельных створах реки, замеренных в течение всего срока наблюдений.

Характер изменения расхода реки Q за длительные сроки, например за год, представляется кривой, называемой гидрографом (рис. 5).

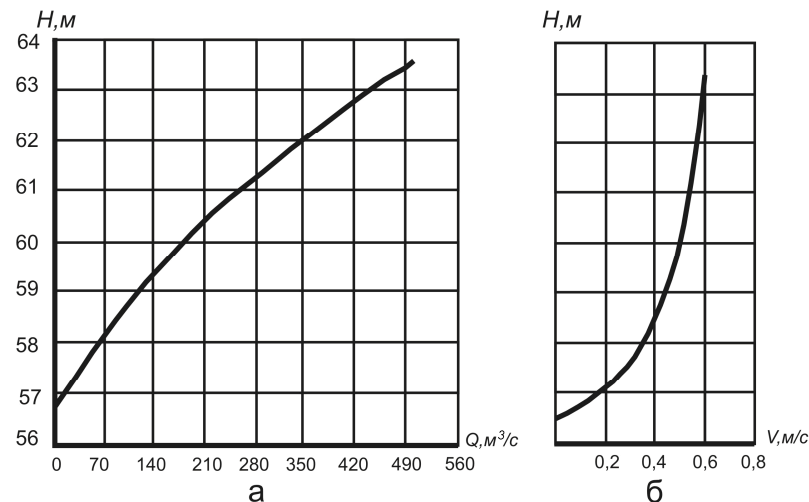


Рис. 4. Кривые расхода

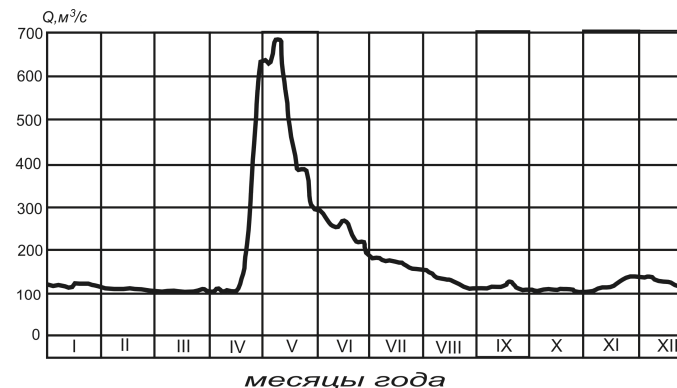


Рис. 5. Изменение расхода воды в реке за год

По многим поверхностным источникам в результате длительного периода наблюдений мы имеем возможность получить надежные характеристики стока этих источников и найти экспериментальные зависимости между отдельными значениями уровней (и расходов) и вероятностью их появления, т. е. выявить законы распределения этих случайных величин.

Методика обработки статистических материалов, поступающих от водомерных постов, имеет определенную специфику, отражающую традиции и опыт гидрологической практики (применяемый в течение многих лет для оценки безопасности гидротехнических и дорожных сооружений).

Для вероятностной оценки расходов и уровней строятся так называемые кривые обеспеченности (рис. 6). В отличие от кривой, выражающей интегральный закон распределения, ординаты кривой обеспеченности (рис. 8) выражают вероятности превышения ($x > x_i$). Величины вероятности превышения могут находиться и по обычной кривой интегрального закона распределения.

При использовании кривой плотности вероятности $f(t)$ вероятность превышения $P(t > t_i)$, т. е. обеспеченность, выражается площадью кривой, расположенной вправо от абсциссы t_i . Площадь кривой, расположенная влево от t_i дает величину $F(t) = P(t_i - t)$ – гарантийной обеспеченности. Очевидно, сумма площадей ω_1 и ω_{11} равна 1 (рис. 7).

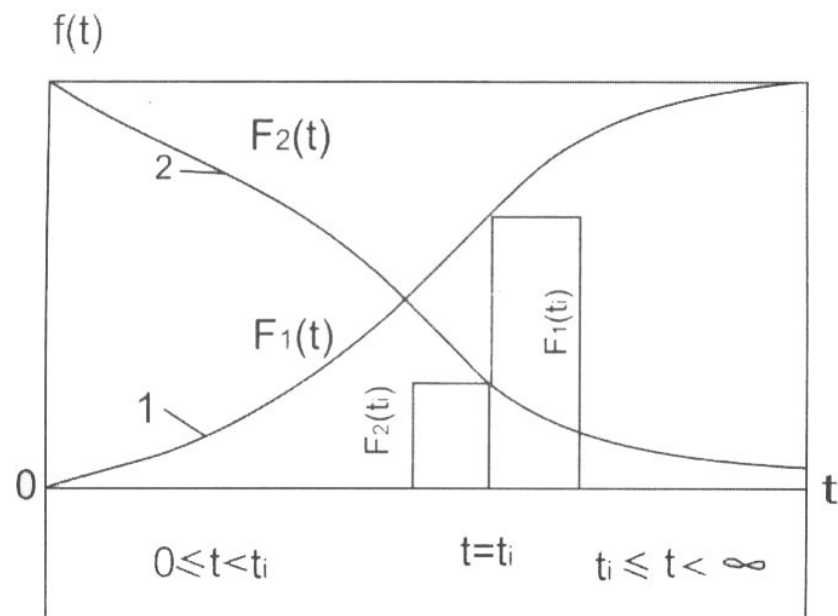


Рис. 6. Кривые обеспеченности

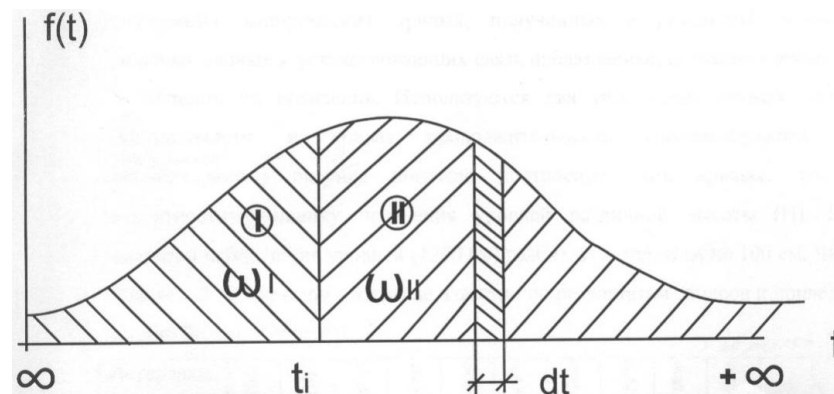


Рис. 7. Вероятность отказов

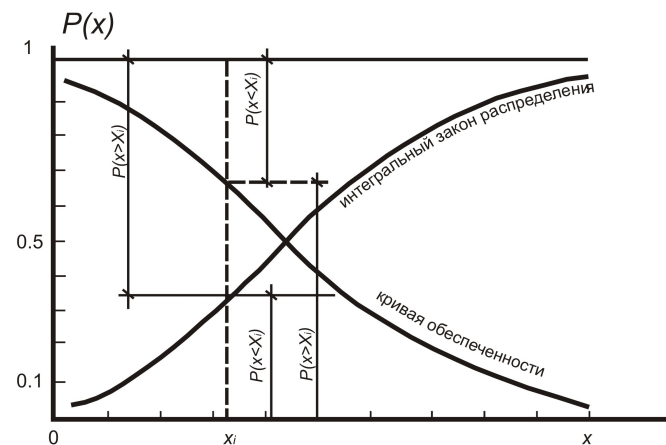


Рис. 8. Кривая обеспеченности

В литературе по гидрологии часто приводятся своеобразные методы построения эмпирических кривых, полученных в результате обработки опытных данных и устанавливающих связь наблюдаемых случайных событий и вероятность их появления. Используются два типа таких кривых: кривая повторяемости и кривая продолжительности (обеспеченности). На рис. 9 показано построение этих кривых, дающих вероятностную оценку появления уровней различной высоты (H).

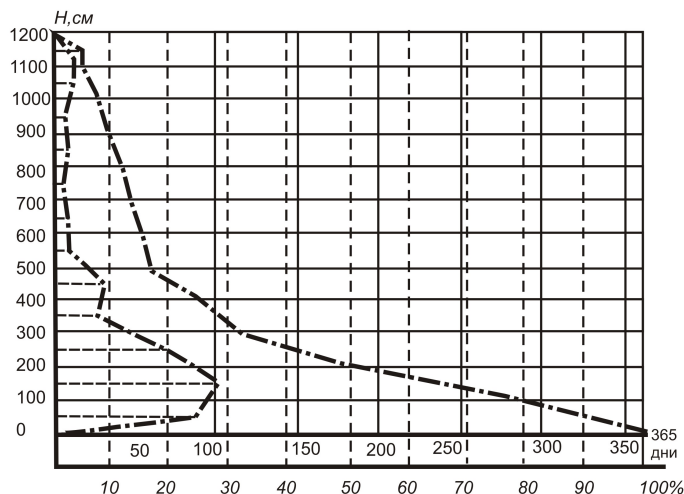


Рис. 9. Кривые повторяемости и продолжительности (обеспеченности)

Весь диапазон наблюдения уровней (1200 см) разбит на интервалы по 100 см. Число появлений H_i в каждом интервале известно по результатам замеров и приведено в табл. 3.

Таблица 3

Интервалы, см	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200
Число значений, Н	87	100	67	25	29	6	6	5	7	5	12	16

Интервалы уровней откладываются по оси ординат. По оси абсцисс откладывается число дней, когда наблюдались уровни, входящие в отдельные интервалы. На каждом интервале строятся столбики высотой, равной соответствующей абсциссе. Средние ординаты столбиков соединяются прямыми, образующими кривую (ломаную линию) повторяемости. По второй шкале оси абсцисс откладывается также длительность отдельных периодов года в %. Таким образом, кривая повторяемости (частоты) дает для каждого из интервалов замеренных значений уровней

H_i фактическое процентное отношение числа дней появления этих значений H_i к общему числу дней за год (рис. 9).

Построение кривой повторяемости аналогично построению гистограмм и эмпирических кривых плотности вероятности. Ординаты тех и других дают вероятность появления событий – появления уровней в отдельных интервалах. Абсциссы отдельных точек кривой продолжительности 2 (обеспеченности) получаются последовательным суммированием абсцисс кривой повторяемости; ординаты этих точек соответствуют нижнему уровню каждого рассматриваемого интервала значений H_i . Полученная кривая аналогична кривой обеспеченности. Разница между ними лишь в том, что характеристики вероятности появления (или превышения) располагаются на оси абсцисс, а на оси ординат (как это обычно делается в практике для кривых распределения).

Минимальные расчетные расходы воды должны определяться с использованием наблюдений за зимний и летнее – осенний периоды. Данные о минимальных расходах соответствующей обеспеченности, используемые при составлении проектов водопотребления и водопользования, должны включать средние за сутки расходы воды и за календарный месяц в рассматриваемом периоде.

Систематические наблюдения за стоком рек позволяют установить для некоторых рек периоды полного прекращения стока в результате их временного пересыхания летом или замерзания зимой. Такие реки, очевидно, не могут вообще быть приняты в качестве источника постоянно действующих систем водоснабжения.

На основании полученных указанным путем экспериментальных кривых распределения выявляется наиболее близкий к ним теоретический закон распределения и строятся соответствующие аналитические кривые распределения.

Распределение характеристик стока обычно достаточно хорошо аппроксимируется биномиальным законом распределения или законом трехпараметрического гамма-распределения. Плотность распределения по биномиальному закону определяется по формуле:

$$P_{mn} = C_n^m p^m (1-p)^{n-m},$$

где P_{mn} – вероятность появления некоторого события в n независимых случаях m раз;

p – вероятность появления события в каждом опыте (замере).

Основными параметрами биномиального распределения являются: коэффициент вариации:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k-1)^2}{n-1}}$$

и коэффициент асимметрии:

$$C_s = \frac{\sum (k-1)^3}{(n-1)c_v^3},$$

где $k = Q/Q_{cp}$, здесь Q – поводочный расход каждого года;

Q_{cp} – средний многолетний поводочный расход.

Расход с определенной вероятностью превышения может быть определен по формуле:

$$Q_n = Q_{cp} (1 + \Phi_p C_p),$$

где Φ_p – коэффициент, определяемый в зависимости от C_s (по специальной таблице).

Приблизенно для расходов талых вод в равнинных реках $C_s = 2C_v + 2,5C_v$ для дождевых расходов в равнинных реках и горных реках с муссонным климатом – $C_s = 3C_v + 4C_v$ для расходов воды в горных реках – $C_s = 4C_v$.

Водоем, выбираемый в качестве источника водоснабжения, должен обеспечить получение расчетного максимального суточного расхода с заданной гарантийной обеспеченностью. Для систем водоснабжения расчетная (нормативная) обеспеченность отборов воды из природного источника устанавливается в отношении как максимальных, так и минимальных расходов и уровней воды в источнике. Возможность получения максимального расчетного отбора воды из источника системой водоснабжения должна быть обеспечена при всех расходах реки, включая минимальный.

Допустим, что для объекта водоснабжения данной категории величина расчетной обеспеченности минимального расхода, т.е. вероятность его превышения, установлена в 95%. Иначе говоря, вероятность появления меньших расходов не должна превышать 5%. По кривой обеспеченности минимальных расходов воды в рассматриваемом источнике, полученной в результате гидрометрических исследований, может быть определена вероятность превышения минимального расхода воды в реке, равного величине максимального расчетного отбора воды для нужд водопользования. Если эта вероятность не меньше 95 %, то источник может быть использован.

Расчетная обеспеченность снабжения объекта водой – надежность водообеспечения, или надежность систем водоснабжения в целом (вероятность бесперебойного снабжения водой потребителей), может быть установлена в зависимости от характера и значимости объекта (характера потребителя), степени ущерба (материального или морального), приносимого потребителям отказами систем водоподачи.

По расчетной обеспеченности источников водоснабжения СНиП 11-31-74 устанавливают обеспеченность среднемесячных и среднесуточных расходов воды поверхностных источников в зависимости от требований бесперебойности подачи воды потребителям.

Наивысшая незаливаемая отметка водоприемных сооружений должна превышать максимальные мгновенные уровни воды в реке, зафиксированные за многолетний период наблюдений.

Для целей проектирования систем водоснабжения наибольший интерес представляют кривые распределения максимальных и минимальных суточных расходов источника, а также максимальных и минимальных мгновенных уровней воды в реке. Вероятностная оценка минимальных уровней в источнике позволяет также определить отметки расположения насосов станций первого подъема и численные характеристики надежности их работы, соответствующие вероятности того, что фактический уровень воды не будет меньше заданного.

Для систем водоснабжения представляет практический интерес вероятностная оценка появления наивысших уровней воды в реке, соответствующих максимальным расходам. Такая оценка необходима для обоснованного выбора отметок расположения сооружений (отдельных помещений водоприемных сооружений и насосных станций), не допускающих их затопления в паводки. Надежность этих сооружений (в отношении незатопления) может быть охарактеризована вероятностью превышения уровня воды в реке над отметкой, принимаемой для их расположения.

Детальные гидрологические изыскания и многолетние гидрометрические замеры расходов и уровней реки позволяют получить обоснованные данные для заключения возможности ее использования в качестве источника водоснабжения данного объекта. Базирование системы водоснабжения на недостаточно исследованном источнике может привести к катастрофическим последствиям.

Кроме указанных наблюдений за расходами и уровнями реки в определенных климатических условиях необходимы также возможно более длительные наблюдения и исследования ледовых условий реки: режима ледостава, ледохода, образования ледовых заторов, шуги, глубинного льда, возможности полного промерзания реки и т.п.

Специфический вид отказа природного источника может возникнуть при резком изменении качества его воды, например, в результате внезапного сброса неочищенных стоков промышленных предприятий. Сигналы о подобном происшествии или фактическое обнаружение недопустимого снижения качества воды источника на станции очистки воды обязывают персонал станции принять меры предотвращения подачи загрязненной воды потребителям (временное усиление степени очистки). Если это невыполнимо, то постепенно срабатывают запасы накопленной очищенной воды в резервуарах для подачи потребителю.

2.7. Особенности использования для целей водоснабжения рек с зарегулированным стоком

Ряд особенностей в обеспечении надежности водоподачи возникает при использовании зарегулированного стока рек, т. е. при заборе воды из водохранилищ. В тех случаях, когда водохранилища устраиваются исключительно в целях улучшения условий приема воды для систем водоснабжения, все требования к режиму использования водохранилищ и допустимому колебанию уровней воды в нем задаются авторами системы водоснабжения.

Для нужд водоснабжения используются иногда многоцелевые водохранилища, создаваемые для целей гидроэнергетики и одновременно для нужд водного транспорта. При использовании водохранилищ катастрофическим событием могут быть разрушение или серьезное повреждение плотины и резкое падение уровня воды в водохранилище, не позволяющее забирать из него воду.

При использовании водохранилищ комплексного назначения для бесперебойного водоснабжения весьма важно согласование между всеми потребителями воды приемлемого диапазона колебания уровней воды в водохранилище в процессе нормальной его эксплуатации с учетом требуемой запланированной сработки по условиям режима работы гидроэлектрических станций.

2.8. Подземные воды

В основу проектирования сооружений для приема подземных вод должны быть приняты утвержденные запасы этих вод.

В настоящее время Государственная комиссия производит оценку запасов подземных вод 95%-ной обеспеченности, восполняемых за счет питания от поверхностных источников. Невосполняемые запасы подземных вод оцениваются по объемам их залегания и размерам пополнения за счет инфильтрации атмосферных осадков (по климатологическим данным).

В процессе эксплуатации скважин и колодцев несоответствие их дебита требуемому обнаруживается при нарастающем понижении уровня воды в них. Число резервных скважин рекомендуется принимать по СНиП 11-31-74 в зависимости от категории надежности подачи воды (табл. 4).

Таблица 4

Число рабочих скважин	Количество резервных скважин при категории надежности	
	1	11
1	1	1
От 2 до 10	2	1
11 и более	20%*	20%*
* от числа рабочих скважин		

Строительные нормы и правила (СНиП 11-31-74) дают нормативные сроки ликвидации аварий на водопроводных линиях (табл. 5).

Таблица 5

Диаметр трубопровода, мм	Время, необходимое для ликвидации аварий на трубопроводах, при глубине их залегания, м	
	До 2	>2
<400	8	12
400-1000	12	18
>1000	18	24

Эти нормативы могут рассматриваться лишь как временные и ориентировочные, так как они не отражают целого ряда факторов, существенно влияющих на вероятную длительность периода неработоспособности поврежденного участка.

2.9. Оценка масштабов загрязнения подземных вод

Масштабы загрязнения подземных вод оценивают по результатам изучения их состояния в районе источников загрязнения и качества на участках водозаборов.

Выявление масштабов изменения подземных вод в районе источника загрязнения включает определение размеров области загрязнения подземных вод, скорости продвижения загрязненных вод в пласте.

В качестве границы области загрязнения может быть принята область с общей минерализацией подземных вод 1 г/л или граница предельно допустимой концентрации, характерной для данных условий загрязняющего компонента. Если изменение подземных вод вызывается

несколькими загрязняющими компонентами, то размеры области загрязнения дают как по границе минерализации 1 г/л, так и по границам ПДК этих компонентов.

Граница общей минерализации 1 г/л области загрязнения принимается по той причине, что пресные подземные воды характеризуются минерализацией до 1 г/л, а загрязняющие сточные воды, как правило, отличаются более высокой минерализацией; кроме того, величина общей минерализации 1 г/л является предельно допустимой для вод питьевого качества (ГОСТ 2874–73 и CSH 830611).

В ряде случаев, когда загрязненные воды имеют небольшую общую минерализацию и по этому признаку незначительно отличаются от пресных или подземных вод, область загрязнения выделяют по характерному загрязняющему компоненту.

Если загрязненные воды менее минерализованы, чем подземные (особенно это характерно для аридных зон), то загрязнение последних будет появляться не только в появлении несвойственных им загрязняющих компонентов, но и в относительном «опреснении» подземных вод. В этом случае размеры области загрязнения будут определяться границами территории, в пределах которой обнаружены эти загрязняющие вещества, и границами области «опреснения».

Оконтуривание области загрязнения подземных вод линиями ПДК отдельных загрязняющих компонентов выполняется, когда содержание в подземных водах этих компонентов заметно превышает их ПДК (имеется в виду ПДК для питьевых вод).

Наряду с этим могут быть такие условия, когда в подземных водах появляются несвойственные им искусственные загрязняющие вещества (например, никель, нефтепродукты, СПАВ) от известного источника загрязнения, но в количествах, меньших ПДК. Тем не менее, область подземных вод, в пределах которой обнаружены эти вещества, целесообразно выделить в качестве области с признаками загрязнения подземных вод.

Выделение областей загрязнения подземных вод по контуру предельной общей минерализации или по контурам ПДК отдельных загрязняющих компонентов возможно на хорошо изученных участках с достаточным числом наблюдательных скважин. На слабо изученных участках с небольшим числом наблюдательных скважин, где построение таких контуров может оказаться недостоверным, область загрязнения выделяется по скважинам с минерализацией подземных вод, большей 1 г/л (если загрязняются подземные воды с природной минерализацией, меньшей 1 г/л), или по скважинам, где обнаружены несвойственные подземным водам искусственные загрязняющие компоненты, даже если их содержание меньше ПДК.

2.10. Оценка размеров области загрязнения подземных вод

Размеры области загрязнения подземных вод оцениваются по ее площади, длине и ширине. Площадь области загрязнения, сформированной под влиянием одного источника загрязнения, определяется по площади, ограниченной контурами общей минерализации 1 г/л и ПДК отдельных компонентов. При нескольких источниках загрязнения, когда между отдельными участками загрязнения имеются участки чистых подземных вод (но эти участки меньше или близки к размерам загрязненных зон), площадью загрязнения подземных вод следует считать всю область, охватывающую как участки загрязненных вод, так и расположенные между ними промежутки незагрязненных подземных вод.

На основе обобщения фактических данных могут быть выделены следующие градации размеров площади загрязнения, представленные ниже.

Градация	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Площадь, км ²	<1	1–3	3–5	5–10	10–20	20–30	30–50	50–100	100–200	>200

Для оценки линейных размеров области загрязнения целесообразно использовать ее длину. Обычно область загрязнения вытянута по потоку подземных вод или по направлению к месту отбора подземных вод (водозабор, осушение, шахтный водоотлив и т.д.). Иногда небольшая протяженность (длина) области загрязнения отмечается не по потоку подземных вод, а в направлении источников загрязнения (в случае области загрязнения, сформированной несколькими произвольно расположенными источниками). Если область загрязнения имеет форму, близкую к кругу, то в качестве ее линейного размера указывается радиус. Градации области загрязнения по ее длине приведены ниже. По известной площади области загрязнения и ее протяженности (длине) ориентировочно можно оценить ширину области загрязнения.

Градация	1	2	3	4	5	6	7	8
Длина, км.	<1	1–3	3–5	5–10	10–20	20–30	30–50	>50

Интенсивность загрязнения подземных вод определяется:

- 1) по величине средней минерализации внутри области загрязнения, ограниченной контуром общей минерализации 1 г/л;
- 2) по средней концентрации содержания отдельных компонентов внутри контуров из ПДК.

Средняя общая минерализация и средняя концентрация отдельных компонентов определяются как величины, средневзвешенные по

площади. Так, пусть внутри контура минерализации 1 г/л выделяется несколько зон различных минерализаций $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, характеризующихся соответственно площадями $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$.

Тогда средняя минерализация внутри области загрязнения, определяющая интенсивность загрязнения подземных вод, будет равна:

$$M = \frac{M_1 * F_1 + M_2 * F_2 + M * F_3 + \dots + M_n * F_n}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n}.$$

Аналогично находят средние концентрации отдельных загрязняющих компонентов внутри контуров ПДК.

Если область загрязнения изучена недостаточно, то интенсивность загрязнения подземных вод определяется как средняя арифметическая величина значений общей минерализации или концентраций отдельных компонентов по имеющимся скважинам, колодцам и другим водопунктам внутри области загрязнения.

Для характеристики интенсивности загрязнения подземных вод целесообразно использовать не абсолютные значения средних общих минерализаций или концентраций компонентов, а их относительные значения. Таким относительным значением общей минерализации будет отношение абсолютного значения средней общей минерализации к предельной величине 1 г/л; для отдельного компонента относительным значением средней концентрации к величине ПДК этого компонента. Градации интенсивности C загрязнения подземных вод приведены ниже.

Градация	А	Б	А	Б	В	Г	Д	Е
С	<0,5	0,5–1	1–5	5–10	10–30	30–50	50–100	>100

Индексы А и Б характеризуют интенсивность загрязнения подземных вод, соответствующую тем случаям, когда не превышены значения ПДК, но отмечаются тенденция роста содержания загрязняющих веществ, появление в подземных водах несвойственных им веществ, т.е. еще отсутствуют явные признаки загрязнения подземных вод.

Пример. Область загрязнения подземных вод внутри контура общей минерализации $M = 1$ г/л характеризуется площадью 17 км², длиной 8 км и средней относительной минерализацией 27; область загрязнения по C_1 – площадью 16 км², длиной 6,5 км и относительной концентрацией 8; область загрязнения по NO_3 площадью 11 км², длиной 5,5 км и средней относительной концентрацией 6,5. Указанная область загрязнения подземных вод на основе приведенных выше градаций может быть записана следующим образом: $M-V-4-B, C_1 - V-4-B, NO_3-V-4-B$.

Скорость продвижения загрязненных вод в пласте оценивается по фактическому смещению за определенный период контура общей мине-

рализации 1 г/л или контуров ПДК отдельных компонентов. Если фактических данных недостаточно, то скорость продвижения загрязненных вод оценивается расчетным путем.

2.11. Особенности структуры систем водоснабжения как объектов резервирования

Принцип резервирования весьма широко используется в системах водоснабжения и органически связан с самой структурой этих систем и характером обслуживаемых объектов. Следует учитывать, что системы водоснабжения являются постоянно развивающимися системами. Периодический ввод в эксплуатацию каждой новой очереди развития системы ведет к увеличению общего числа однотипных сооружений, установок и линий, что повышает степень резервирования и надежность водообеспечения объекта. В системах водоснабжения обычно используется принцип постоянного резервирования, при котором резервные элементы (сооружения) постоянно участвуют в работе системы наравне с основными. При этом все они обычно работают в некотором облегченном режиме, допуская соответствующую догрузку в случае отказа одного из них.

Для нахождения количественных показателей надежности отдельных элементов системы, а также надежности взаимосвязанных в работе сооружений или подсистем необходима предварительная оценка влияния их возможных отказов на работу системы в целом. Выявление отказов, ведущих к недопустимому (по нормам) ухудшению качества функционирования системы, может быть осуществлено лишь в результате поверочных (технологических) расчетов запроектированной системы. Вероятность отказов отдельных элементов сооружений может быть оценена численно. Полученные показатели надежности должны быть сравнены с нормативными требованиями к надежности системы водообеспечения.

Определение общих численных показателей надежности резервируемых систем элементов представляет часто, особенно для восстанавливаемых элементов, весьма сложную операцию. Может возникнуть вопрос, возможно ли вообще (и необходимо ли) определение численных показателей надежности реальной системы водоснабжения в целом на основе известных показателей надежности отдельных ее элементов или сооружений. Безусловно, эта задача является весьма сложной, что объясняется огромным числом разнородных восстанавливаемых элементов, большая часть которых имеет сложные взаимосвязи.

Между тем поставленная задача может быть решена много проще и быстрее путем проведения серии технологических расчетов отдельных

основных групп элементов, отказ которых (предположительно) может привести к отказу системы.

Следует отметить, что расчет численных показателей надежности основных водопроводных сооружений, общей схемы питания объекта от источников, основных трактов подачи воды к городу, насосных станций, а также в известной степени и сооружений для очистки воды вполне осуществим. Располагая показателями надежности указанных подсистем, можно осуществить поэтапный подход к определению надежностной оценки всей системы водоснабжения.

Рассмотрим схему водоснабжения объекта, предусматривающую питание его от двух природных источников. Предположим, что для нормального функционирования системы достаточно одного (любого из двух) источника.

Нормальное водообеспечение объекта будет обеспечено при двух возможных состояниях:

- а) оба источника могут быть использованы одновременно;
- б) один из источников (любой) может быть использован, второй не может (две комбинации).

Имея характеристики обеспеченности источников F_1 и F_2 , получим численную характеристику надежности системы источников в состоянии «а»: $F_1 F_2$; то же, в состоянии «б»:

$$F_1(1 - F_2) + F_2(1 - F_1) - F_1 + F_2 - 2(F_1 F_2) F_1.$$

Источники могут рассматриваться как невосстанавливаемые системы.

Вероятность хотя бы одного из этих состояний, т. е. надежность источника – вероятность обеспечения объекта, будет:

$$F = F_1 F_2 + (F_1 + F_2) - 2F_1 F_2 = (F_1 + F_2) - F_1 F_2.$$

Если принять $F_1 = 0,92$ и $F_2 = 0,85$, то $F = 0,988$. Вероятность отказа системы $D = 1 - F = 0,012$, тогда как при использовании одного источника с той же обеспеченностью 90% вероятность отказа будет 0,1, т. е. в 8 раз больше.

В том случае если из двух источников отказ одного не вызывает отказа системы, а отказ другого вызывает, то, очевидно, надежность системы водоснабжения объекта будет $F = 0,92$. Наконец, если отказ любого одного из источников вызывает отказ системы, то имеет место их «последовательное соединение» и надежность системы водоснабжения будет 0,85.

На этом первоначальном этапе рассмотрения проблем оценки надежности системы водообеспечения объекта еще не учитываются водопроводные сооружения, обеспечивающие фактически подачу воды от выбранных источников потребителям.

Вторым этапом рассмотрения является оценка совместной работы сооружений для приема воды из природных источников и подачи ее на территорию снабжаемого объекта. Каждый тракт подачи воды от источника до потребителя представляет собой систему разнообразных последовательно включенных сооружений (рис. 10).

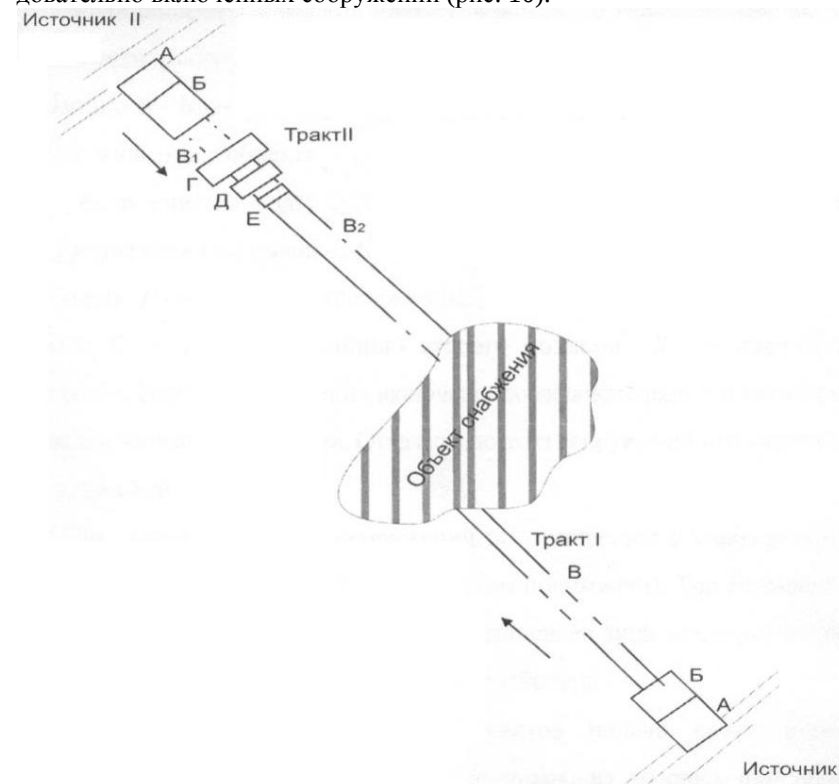


Рис. 10. Оценка совместной работы сооружений

Если подаваемая вода не требует очистки, то тракт I подачи включает цепь следующих сооружений: А – водоприемное сооружение; Б – насосную станцию и В – систему водоводов, транспортирующих воду к территории обслуживаемого объекта.

Если очистка воды требуется, то тракт подачи воды включает: А – водоприемное сооружение; Б – насосную станцию и В₁ – водоводы первого подъема; Г – станцию очистки воды; Д – емкость (резервуар) для очищенной воды; Е – насосную станцию второго подъема В₂ – водоводы вто-

рого подъема. Все эти сооружения включены последовательно и в геометрическом, и в надежном понимании. Отказ каждого из сооружений цепи приводит к отказу всей цепи.

Две показанные цепи сооружений по отношению к снабжаемому объекту включены параллельно (в геометрическом понимании). Тип соединения цепей в надежном понимании может быть установлен лишь после уточнения их роли в выполнении функций водообеспечения объекта.

Надежные характеристики трактов подачи воды должны быть сопоставлены с характеристиками источников, из которых они подают воду. Обеспеченность каждого источника предполагается достаточной для снабжения объекта водой. В процессе проектирования устанавливается количество воды, подаваемой из каждого источника в обычной и аварийной ситуации, и уточняются условия работы сооружений, при которых обеспечивается выполнение системой ее функций. В соответствии с этим определяется кратность резервирования отдельных элементов в пределах каждого из последовательно включенных в цепь сооружений. Следует при этом иметь в виду, что во всех случаях последовательного включения элементов экономически целесообразно, чтобы численные показатели их надежности были одинаковыми или близкими для соблюдения принципа равнонадежности всей цепи. Завышение надежности отдельных элементов цепи по сравнению с остальными вызывает ее удорожание, в то время как вероятность отказа цепи почти не изменяется.

Общее выражение надежности (вероятности безотказной работы) тракта при последовательном соединении отдельных сооружений и подсистем $F_{11} = F_A F_B F_{B1} F_D F_{B2}$.

Изложенные здесь соображения дают лишь упрощенную схему возможной оценки надежности системы подачи воды в сеть объекта в целом как комплекса основных составляющих ее подсистем. Очевидно, что численные характеристики надежности отдельных подсистем и сооружений должны быть выражены через надежность их составных частей (изделий и элементов) в зависимости от типа элементов и характера их соединений.

Принцип оптимального резервирования должен быть применен при выборе общей схемы водообеспечения объекта с учетом ее постепенного развития и к выбору отдельных ее сооружений.

2.12. Принципы оптимального резервирования трактов подачи воды объекту

Обеспечение надежности систем, осуществляющих подачу воды от источника на территорию снабжаемого объекта, является задачей первоочередной важности. Отказ такой системы может вызвать (при одном источнике) полный отказ всей системы водоснабжения. В ряде случаев успешное и экономичное решение задачи обеспечения требуемой надежности систем, транспортирующих воду, сопряжено с большими трудностями.

В современных крупных системах водоснабжения все чаще приходится использовать удаленные источники воды. Для подачи больших количеств воды на значительные расстояния может оказаться рентабельным использование различных видов транспортирующих сооружений в зависимости от ряда местных условий. Прежде всего следует отметить, что в большом числе случаев оказывается возможным и экономически целесообразным рассматривать и разрешать подобные проблемы водоснабжения как часть комплекса водохозяйственных проблем района, включая вопросы орошения, обводнения, водного транспорта, гидроэнергетики и др. Каждая из кооперирующихся отраслей водного хозяйства предъявляет при этом свои специфические требования к типам, размерам и оборудованию транспортирующих воду сооружений и к обеспечению их надежности.

В практике последних десятилетий для подачи воды на дальние расстояния нашли широкое применение открытые самотечные каналы. В ряде случаев на водопроводных каналах в соответствии с рельефом местности по трассе канала устанавливаются перевальные насосные станции. На каналах, служащих одновременно для нужд водоснабжения и судоходства, при пересечении возвышенностей сооружаются шлюзы с соответствующими насосными станциями, а иногда и с установками для рекуперации энергии. В ряде случаев на каналах устраиваются водохранилища, что обычно обусловливается рельефом местности. Водохранилища играют существенную роль в обеспечении надежности систем подачи воды как резервные емкости. Пересечение открытыми самотечными каналами рек, оврагов, долин осуществляется дюкерами.

Иногда в крупных водохозяйственных системах для подачи воды на отдельных участках трассы используются естественные русла рек, куда воду сбрасывают из искусственных транспортирующих устройств и снова ее забирают в заданных пунктах. Подобные мероприятия могут значительно снизить общие затраты на строительство транспортирующих систем. Таким образом, типы и ассортименты сооружений для транспортирования воды к объекту снабжения многочисленны и разнообразны. Можно считать, что в настоящее время наибольшее распространение имеют

все же напорные трубопроводы (водоводы) – нагнетательные, по которым вода подается насосами, или гравитационные (самотечные).

Далее будут рассмотрены методы оптимального резервирования напорных водоводов без соединительных перемычек, с соединительными перемычками и с использованием емкостей в целях повышения надежности трактов подачи воды. Следует отметить, что системы параллельно уложенных водоводов (без перемычек) используются только в тех случаях, когда трассы отдельных водоводов приходится проводить на большом расстоянии друг от друга. Устройство перемычек между линиями водоводов дает существенные преимущества и широко распространено в практике водоснабжения.

2.13. Методы оптимального резервирования системы водоводов (без перемычек)

В соответствии с определением ГОСТ по «надежности в технике» резервирование есть «метод повышения надежности объекта введением избыточности». Введение избыточности в систему водоводов производится путем увеличения общего числа параллельно проложенных линий, т. е. введением резервных линий.

При выборе и оценке возможных методов резервирования водоводов необходимо прежде всего четко определить условия нормального уровня функционирования системы и допустимых пределов его снижения в аварийной ситуации, т. е. четко определить состояние отказа. Для нормального функционирования системы водоводов необходима подача объекту расчетного расхода воды Q . В период аварийной ситуации система должна обеспечивать подачу воды не менее чем $Q_a = \alpha Q$. Предельно допустимая величина α устанавливается нормативными требованиями в зависимости от типа объекта снабжения. Величина α может меняться в пределах от 0 до 1. Величина $\alpha = 0$ показывает, что допускается полный временный перерыв подачи воды потребителю (допустимая длительность перерывов также устанавливается нормами); величина $\alpha = 1$ – снижение нормативного уровня водообеспечения вообще не допускается. Все подобные требования должны соответствовать определенной вероятностной оценке их соблюдения.

Обычно в условия нормального уровня водообеспечения объекта включаются также требования к величине давления, которое должно быть обеспечено в конечной точке водовода – в точке его примыкания к сети объекта.

Весь процесс оптимального резервирования трактов подачи воды теснейшим образом связан с процессом их технологического проектирова-

ния (выбора числа линий и диаметров линий водоводов). В технологических и в надежностных расчетах напорных водоводов необходимо учитывать их органическую связь в работе с водопитателями, а часто и с емкостями. Только анализ условий совместной работы комплекса водопитатель – водоводы в нормальных и в аварийных условиях позволяет правильно найти путь оптимального резервирования системы водоподачи [6, 7].

Основным типом структурного резервирования водоводов является использование группы параллельно уложенных линий водоводов, основных и резервных, рассчитанных для транспортирования заданных количеств воды. Оптимальное резервирование системы водоводов сводится фактически к нахождению такого числа основных и резервных элементов (линий), которые бы при минимальной стоимости системы выполняли заданные функции и одновременно обеспечивали ее требуемую надежность.

В системах водоснабжения используется обычно принцип постоянного резервирования водоводов, т. е. все n параллельно работающих линий участвуют одновременно в работе системы и несут одинаковую нагрузку. Таким образом, все элементы этой системы являются безличными и фактически не разделяются на основные и резервные.

Надежность системы возрастает при увеличении числа резервных линий n_p , или, что то же, при увеличении кратности резервирования, т. е. отношения числа резервных линий к числу основных – $K = n_p/n_0$. В любой резервированной системе водоводов $n = n_0 + n_p$.

Если обозначить через m минимальное число линий, отказ которых вызывает отказ системы, то получим:

$$n_0 = n - m + 1$$

и

$$m = n - n_0 + 1 = n_p + 1,$$

откуда

$$n_p = m - 1.$$

Согласно общей терминологии ГОСТа, различают следующие возможные режимы работы резервных элементов:

ненагруженный резерв – резервные элементы при обычной работе вообще не несут нагрузки;

нагруженный резерв – резервные элементы работают в том же режиме, что и основные;

облегченный резерв – резервные элементы находятся в облегченном режиме по сравнению с основными.

Ненагруженный резерв неэкономичен и редко применяется в практике водоснабжения.

Нагруженный резерв применяется широко, однако при этом в период нормального функционирования все линии работают в менее нагруженном (облегченном) режиме. Полную нагрузку они получают в аварийной ситуации, когда резервные элементы отказали. При отказе любого числа резервных элементов нагрузка основных элементов возрастает. Степень этого возрастания зависит от принятого соотношения расходов Q и Q_a , т. е. от коэффициента a , и от принятой кратности резервирования K . Анализ системы водоводов для получения оценки их экономичности и надежности производится путем сравнения вариантов для заданных Q и a и для различных кратностей резервирования K .

При использовании принципа нагруженного резерва каждая линия системы водоводов, работая в нормальных условиях, подает расход Q/n . Наивыгоднейший диаметр водоводов следует назначать по условиям их нормальной работы, т.е. по расходу Q/n . При аварийной ситуации, вызвавшей отказ системы, нагрузка каждой линии водовода возрастает до значения aQ/n' , когда в работе остается n' линий.

Предельным состоянием, еще не вызывающим отказа системы, будет состояние, при котором в работе остаются только основные линии; расход на каждой линии в этом случае возрастает до aQ/n_0 .

Одновременный отказ m линий приводит уже к отказу системы:

$$m = n - n_0 + 1 = n_p + 1.$$

Таким образом, минимально необходимое число основных элементов системы определяется по величине Q_a . При этом, хотя общая нагрузка водоводов, оставшихся в работе, при аварийных режимах уменьшается (так как $Q_a < Q$), соответствующее уменьшение числа работающих линий приводит обычно к возрастанию нагрузки на одну оставшуюся в работе линию. В ряде случаев оказывается рациональным некоторое завышение расчетной нагрузки водоводов при их нормальном функционировании, т. е. введение избыточности в их пропускную способность вместо увеличения числа водоводов.

В процессе проведения подобных оптимизационных расчетов необходимо для каждого варианта проверять величины действительных расходов и потерь напора, которые будут иметь место при совместной работе системы водоводов и водопитателей при различных типах водопитателей.

Всякая авария в системе водоводов (повреждение и выключение отдельных линий водоводов) вызывает изменение гидравлического сопротивления системы и соответственно их пропускной способности $\Pi = 1/\sqrt{\beta}$, где β – отношение сопротивления системы в аварийном состоянии к ее сопротивлению в исправном состоянии. В общем виде потеря

напора в системе параллельно включенных линий, подающих вместе полный расход Q , может быть представлена выражением

$$h = s\left(\frac{Q}{n}\right)^2 = \left(\frac{s}{n^2}\right)Q^2 = SQ^2,$$

где s – гидравлическое сопротивление одной линии;

S – гидравлическое сопротивление системы n водоводов.

При выключении некоторого числа поврежденных линий (n_a) потеря напора в системе будет:

$$h_a = \frac{s}{(n - n_a)^2} Q_a^2 = S_a Q_a^2,$$

отсюда

$$\frac{S_a}{S} = \left(\frac{n}{n - n_a}\right)^2 = \beta \quad \text{или} \quad S_a = \beta S.$$

При выключении одной из двух линий гидравлическое сопротивление системы возрастает в четыре раза.

Влияние изменения величины гидравлического сопротивления различно сказывается на режиме работы гравитационных и нагнетательных водоводов. В гравитационных водоводах напор в их начальной точке постоянен и определяется разностью отметки питающего водоема и отметки излива воды (или заданной пьезометрической отметки $z_2 + H_0$) в конечной точке водовода (рис. 11 а). Если разность этих отметок (H) постоянна, то при аварии водовода меняется только расход подаваемой воды. Следовательно, в этих случаях

$$h = h_a = H,$$

где H – расчетный напор и $S_a Q^2 = S_a Q_a^2$.

Схематически профиль системы гравитационных водоводов, подающих воду из высокорасположенного водоема при заданной величине давления H_0 в точке примыкания водоводов к сети объекта можно показать следующим образом (рис. 11). В этих условиях располагаемый напор для преодоления сопротивления водоводов остается постоянным при любом состоянии системы и равным $z_1 - (z_2 + H_0) = H$; величина потери напора h остается равной располагаемому напору H . При изменении сопротивлений водоводов в результате повреждений меняется расход, подаваемый объекту:

$$Q = (H / S)^{1/2} \quad \text{и} \quad Q_a = (H / S_a)^{1/2}.$$

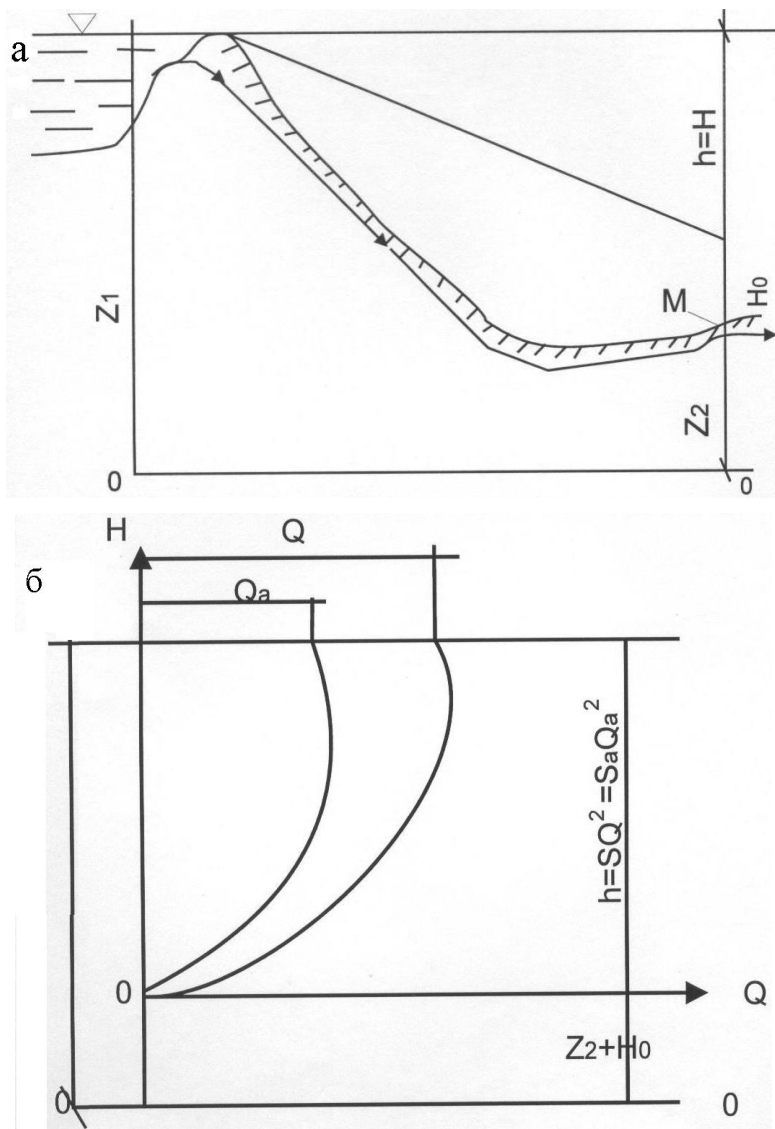


Рис. 11. Определение напора воды в гравитационных водоводах

Следует иметь в виду, что указанная закономерность соблюдается точно только при условии, что напор H_0 в конечной точке фактически обеспечивается постоянным. В тех случаях, когда вода подается непосредственно в сеть, величина напора в точке М будет изменяться в зависимости от изменения давления в сети. Пределы колебания этой величины определяются расчетом сети [4].

В системе нагнетательных водоводов, т.е. в тех случаях, когда вода подается в систему водоводов центробежными насосами (рис. 12), всякое изменение гидравлического сопротивления водоводов влияет на режим работы насосов. Эти изменения зависят от характеристики насосов и определяются путем совмещения графических характеристик насоса ($Q-H$) с графическими характеристиками водоводов $h = SQ^2$ (в исправном и аварийном состоянии). В результате (рис. 13) находятся искомые значения Q_a и H_a .

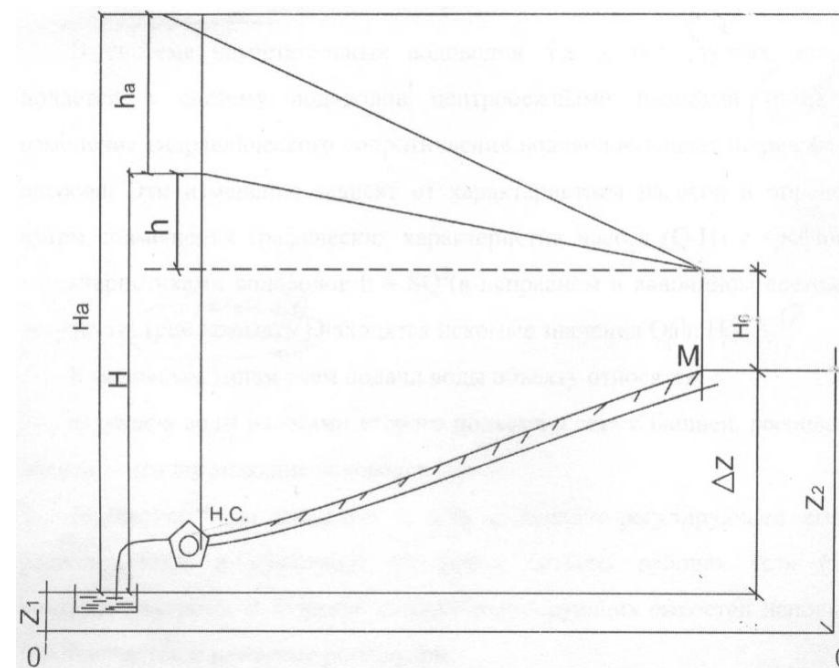


Рис. 12. Система нагнетательных водоводов

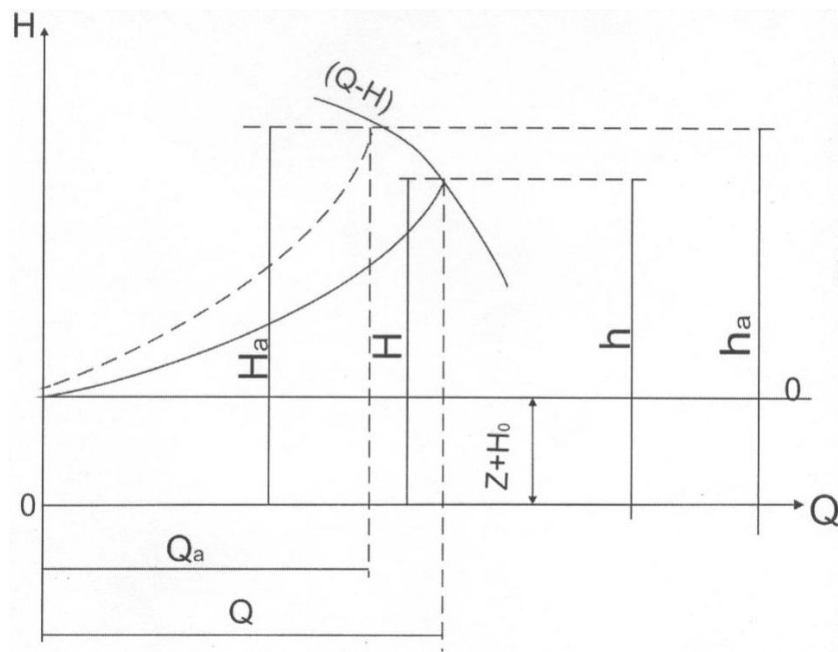


Рис. 13. Определение расхода воды и напора в системе нагнетательных водоводов

К основным типам схем подачи воды объекту относятся:

а) подача воды насосами второго подъема в сеть с башней, расположенной вблизи точки примыкания водоводов к сети;

б) подача воды насосами в сеть с напорно-регулирующей емкостью, расположенной в удаленных от точки питания районах сети (т. е. с контррезервуаром). В качестве напорно-регулирующих емкостей используются как башня, так и наземные резервуары.

В системах коммунального водоснабжения подача воды в сеть, не имеющую напорно-регулирующих емкостей, обычно не применяется.

Рассмотрим основные особенности влияния емкостей и насосных станций на функционирование сети в условиях аварийной ситуации.

В системе с башней в начале сети отдача воды в нее при выключении поврежденного участка уменьшается. Предположим, что уровень воды в баке башни занимает некоторое среднее положение. В следующий за выключением участка момент уровень воды в баке будет изменяться в соответствии с соотношением расхода, подаваемого насосами, и расхода, отводимого в сеть, уменьшающегося в аварийных условиях. Обычно

в системах коммунального водоснабжения насосная станция второго подъема подает в сеть около 75–80 % количества воды, расходуемого в час наибольшего водопотребления, по которому проводятся все расчеты.

Следовательно, при снижении отдачи воды до 70% нормального количества, подаваемой насосами, будет превышать количество отводимой воды и бак башни начнет постепенно наполняться, пока не возникнут потери воды, сбрасываемой в водосток. В ряде случаев может оказаться целесообразным выключение башни на период аварийного состояния сети, и тогда при $Q_{нас} > 0,7 Q$ работа насосов будет способствовать увеличению подачи воды в сеть и повышению давления в ее конечных точках, т. е. способствовать уменьшению вероятности отказа.

Место расположения отказавшего участка влияет на характер изменения пьезометрических линий в пределах городской сети и отборов воды из нее. Чем ближе будет находиться место аварии к источнику питания сети, тем большая часть ее будет располагаться в зоне пониженных давлений. В этих случаях вероятнее возникновение отказа в результате недопустимого снижения общего водопотребления ($< 0,7Q$). При авариях участков, удаленных от точки питания, в большей части сети сохраняется достаточное давление и относительно малы сниженные расходы. При проведении поверочных расчетов системы необходимо проверять характер работы сети с учетом расположения участков. При этом, разумеется, подлежит корректировке и схема распределения узловых отборов.

Сети с контррезервуаром в часы наибольшего водопотребления получают воду от насосной станции и от башни, т. е. имеют двустороннее питание. В течение этого периода запас воды в башне в значительной степени исчерпывается, и уровень воды в баке занимает наиболее низкое положение. Критические (по напорам) точки сети в этот период будут расположены на границе зон питания (О). Аварии участков сети в зоне а–О (рис. 14) стимулируют падение давления воды на участке О–б, что в свою очередь вызывает усиленный отбор воды из башни и задерживает падение давления в точке О до тех пор, пока бак башни не будет опорожнен.

После этого башня прекращает подачу воды в сеть; пьезометрическая линия получает уклон одного знака на всем протяжении сети и критической становится точка б. Бак башни имеет объем, недостаточный для питания сети в течение срока ликвидации аварий, и при аварии участков сети, расположенных в зоне а–О, полное опорожнение башни вполне возможно. В этом случае сеть будет питаться только от насосной станции; критической точкой по расходам и напорам становится и здесь точка б – примыкание башни к сети.

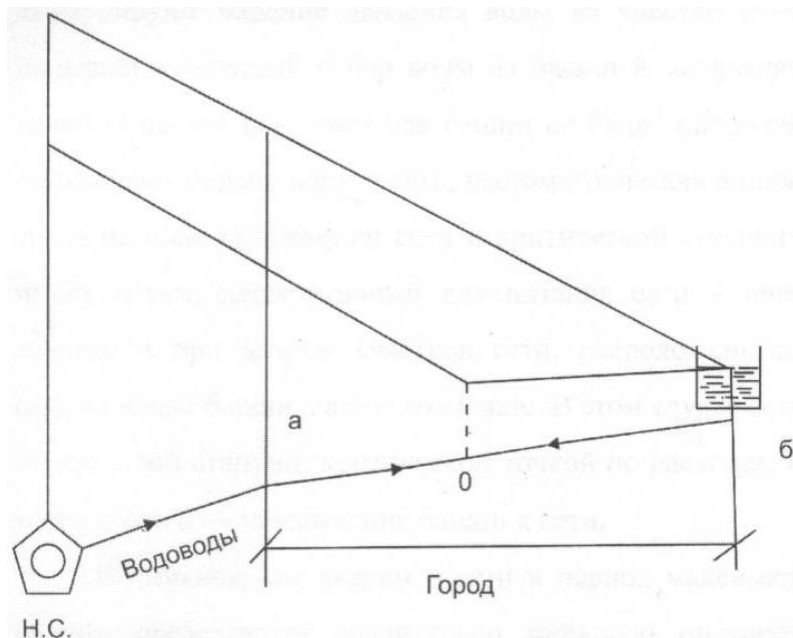


Рис. 14. Схема обеспечения города водой

Возникновение аварии в сети в период максимального транзита воды в башню представляет значительно меньшую опасность для возникновения отказов системы. Обычно это может привести к увеличению длительности периода транзита, но не вызовет отказа системы ни по расходу, ни по напору. Кроме того, непосредственная подача воды насосами во всю сеть позволяет при выключении участков сети обеспечить требуемые условия водоснабжения объекта, форсируя работу насосной станции путем пуска резервных агрегатов. Поверочные расчеты кольцевых сетей в аварийной ситуации при выключении некоторого числа участков магистральных линий, показывают, что выключение на ремонт одного из участков обычно весьма мало отражается на качестве функционирования сети. Даже одновременный отказ двух противоположных участков продольных магистралей весьма редко вызывает недопустимое снижение функционирования системы, регламентированное нормами, т. е. отказ системы.

Проведенный анализ ряда кольцевых сетей, имеющих не менее четырех продольных магистралей, позволил определить надежностные показатели сетей, соответствующие характеристикам отказа, сформулированным СНиП 11-31-74.

При отказе любого одного продольного участка магистрали состояние отказа системы вообще не наступало. В некоторых отдельных случаях отказ наступал при одновременном выключении двух соседних участков одного поперечного сечения сети. При этом вероятность безотказной работы сети могла быть оценена в пределах 0,93–0,96. Одновременный отказ трех параллельных участков одного поперечного сечения обычно вызывал отказ системы. Вероятность такого события была близка к нулю, т. е. вероятность безотказной работы системы оценивалась в 0,99 и выше.

Строительные нормы и правила устанавливают следующие три степени надежности забора воды:

I степень – водоприемники, обеспечивающие отбор расчетного расхода воды;

II степень – водоприемники, обеспечивающие отбор расчетного расхода воды с возможностью прорывов ее подачи в течение до 5 ч или снижения ее подачи в течении до одного мес.;

III степень – водоприемники, отбор воды через которые может прекращаться до 3 сут.

Для средних природных условий водозабора СНиП рекомендуют относить к I степени надежности – береговые (незатопленные) водоприемники, приемные отверстия которых всегда доступны для обслуживания и очистка решеток механизирована. Ко II степени относятся все типы русловых (затопленных) водоприемников, оголовки которых периодически могут оказаться недоступными для обслуживания в период ледохода, шугохода и др. К III степени надежности относятся все плавучие и подвижные водоприемники.

Для возможности оценки надежности водоприемных сооружений необходимо накопление статистических данных об отказах отдельных элементов этих сооружений.

Сооружения для приема подземных вод. Действующие нормативные документы предъявляют некоторые требования по резервированию только в отношении трубчатых колодцев (скважин). При числе рабочих скважин от 2 до 10 для объектов I категории надежности надлежит иметь две резервные скважины; для объектов II категории – одну резервную скважину. При числе рабочих скважин 11 и более для объектов I категории предусматривается число резервных скважин, равное 20% числа рабочих; для объектов II категории – 10% числа рабочих.

Проведенный анализ показывает, что отказ системы, т. е. снижение уровня водообеспечения объекта ниже пределов, установленных действующими нормами, в результате аварий участков сети городских водопроводов имеет малую вероятность, и, следовательно, надежность сети высокая. Поэтому в дальнейшем при пересмотре нормативных допусков

снижения функционирования систем можно уменьшить допустимую степень снижения общей отдачи воды населению и повысить величину допустимого давления в критических точках. При этом надежность показатели сети могут остаться не ниже тех, которыми обладают обычно насосные станции и водоводы, т. е. принцип равнонадежности цепи сооружений обеспечивается.

3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

(ПО ГОСТ 13377–75)

Таблица 6

Термины	Определения
Общие понятия	
Надежность	Свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования
Безотказность	Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки
Долговечность	Свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов
Ремонтопригодность	Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания
Сохраняемость	Свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и (или) транспортирования
Исправное состояние, исправность	Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией
Неисправное состояние	Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией
Работоспособное состояние	Состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией
Неработоспособное состояние	Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным нормативно-технической документацией

Продолжение табл. 6

Термины	Определения
Общие понятия	
Предельное состояние	Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, или неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы, или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, или необходимости проведения среднего или капитального ремонта
Повреждение	Событие, заключающееся в нарушении исправности объекта или его составных частей вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации на объекте
Отказ	Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта
Восстанавливаемый объект	Объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации
Невосстанавливаемый объект	Объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации
Ремонтируемый объект	Объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа или повреждения подлежит восстановлению
Неремонтируемый объект	Объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа или повреждения не подлежит восстановлению
Показатель надежности	Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта
Комплексный показатель надежности	Показатель надежности, относящийся к одному из свойств, составляющих надежность объекта
Наработка	Продолжительность или объем работы объекта
Срок службы	Календарная продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после среднего или капитального ремонта до наступления предельного состояния
Срок сохраняемости	Календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которой сохраняются значения заданных показателей в установленных пределах

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И КУРСОВОГО ПРОЕКТА (РАБОТЫ) ПО ОЦЕНКЕ РИСКА В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Задача курсового проекта (работы) и практических занятий – закрепить теоретические знания в области проектирования сетей и сооружений систем водоснабжения. В процессе работы над проектом (работы) учащийся должен получить полное представление о комплексе таких систем. Основное внимание необходимо обратить на устройство сети, ее трассировку, детализировку и гидравлический расчет.

Курсовой проект (работа) состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчетно-пояснительная записка должна освещать принятые решения проектируемой системы водоснабжения и содержать:

1. Заглавный лист.
2. Оглавление.
3. Исходные данные для проектирования.
4. Перечень разработанных в проекте чертежей.
5. Краткую характеристику района расположения объекта.
6. Краткую характеристику объекта водоснабжения.
7. Анализ исходных данных и дополнительных условий.
8. Обоснование принятых норм водопотребления и свободных напоров.
9. Определение расхода воды.
10. Выбор источника водоснабжения.
11. Обоснование принятой схемы, системы водоснабжения и конструкции водопроводной сети. Описание основных положений принятой схемы водоснабжения объекта с обоснованиями и технико-экономическим сравнением вариантов по укрупненным показателям.
12. Соображения о выборе материала сети, водоводов.
13. Описание трассировки водоводов и сети и ее краткое обоснование с технико-экономическими сравнениями возможных вариантов.
14. Пояснения к часовому графику водопотребления, подбору насосов и определению емкости резервуаров и бака водонапорной башни.
15. Гидравлический расчет сети и водоводов на основные случаи работы системы.
16. Определение высоты водонапорной башни и окончательный подбор насосов.
17. Пояснения к продольному профилю пьезометрических линий.
18. Пояснения к детализировке сети и ее основным элементам, спецификацию материалов.

19. Данные о качестве воды источника и краткие сведения о санитарных и других условиях приема воды.

20. Список использованной литературы (в алфавитном порядке с указанием фамилий и инициалов авторов, места издания, издательства и года издания).

Графический материал должен включать:

1. Генплан объекта в горизонталях с сетями магистральной водопроводной сети и расположением основных водопроводных сооружений: водозабора, насосных станций, водоводов, водонапорной башни и первого пояса зоны санитарной охраны (масштаб 1:5000).

4. 1. Указания по выполнению курсового проекта

После получения задания на курсовой проект учащийся, ознакомившись с поставленными перед ним задачами и сроками выполнения, уточняет состав и содержание проекта, подбирает литературу по теме.

После анализа исходных данных и дополнения их материалами согласно нормативной литературе, учащийся дает краткую характеристику объекта, возможных источников водоснабжения, зоны санитарной охраны и т.д. Сведения о районе расположения объекта он дополняет данными о нормативной глубине промерзания грунта.

Затем учащийся устанавливает нормы хозяйственно-питьевого, противопожарного и поливочного расхода воды.

Расход воды на производственные (технологические) нужды обычно принимается равномерным по частям смены; при реальном проектировании распределение этого расхода по часам суток задается потребителем.

Рекомендуется следующая последовательность работы:

1. По принятым данным в соответствии с коэффициентом часовой неравномерности составляют таблицу расхода воды по часам суток.
2. Строят график водопотребления по часам суток.
3. Решают схему водоснабжения с выбором места расположения водозаборных и очистных сооружений.
4. Устанавливают свободные напоры, производительность, режим работы насосов, их количество.
5. Согласно таблицам расходов воды по часам суток и графику работы насосов определяют необходимую регулируемую вместимость бака водонапорной башни, при этом стремятся сделать ее наименьшей.
6. Устанавливают расчетные часы для трех случаев работы сети:
I случай – когда сеть пропускает максимальный хозяйственный и производственный расходы;

II случай – когда сеть должна пропустить дополнительно расход воды на пожаротушение (принимается тот же час, что и в I случае);
 III случай – если водонапорная башня устанавливается в противоположной от насосной станции точке сети, является контррезервуаром, способным регулировать напоры в сети и компенсировать разницу между расходом воды из сети и подачей воды насосами (рассчитывается пропуск максимального транзита воды в бак водонапорной башни).

7. При расчете сети на случай пожаротушения расходы воды на тушение пожаров обычно намечают в наиболее высокорасположенных и удаленных от насосной станции точках сети, а также учитывают расположение наиболее опасных в пожарном отношении объектов (гостиниц, промышленных предприятий и др.).
8. Гидравлический расчет сети для трех перечисленных выше случаев выполняется по методу М.М. Андриашева. При предварительном распределении расходов по участкам магистральной сети необходимо помнить, что это распределение не окончательное и в него будут внесены поправки при последующем гидравлическом расчете сети. Учащийся намечает диаметры трубопроводов по экономическим скоростям движения воды. При этом необходимо учитывать работу сети в разных случаях. При назначении диаметров сеть должна конструироваться таким образом, чтобы начиная от точки подачи воды диаметры участков постепенно уменьшались по ходу движения воды к водонапорной башне или к конечным точкам сети. Нельзя допускать, чтобы после меньшего диаметра трубы шел больший. После того, как намечены расчетные расходы, направления движения воды по участкам и диаметры труб, учащийся производит расчет сети.
9. По первому случаю расчета сети определяют отметку дна бака водонапорной башни
10. По второму случаю расчета находят потери напора при подаче воды на пожаротушение и проверяют, обеспечивают ли подобранные насосы требуемый при пожаре свободный напор.
11. По третьему случаю расчета сети окончательно определяют необходимый напор на насосах.
12. После окончания расчетов производят детализацию сети.
13. Строят пьезометрический график для всех трех случаев расчета сети.

4. 2. Определение суточных и часовых расходов воды

Расчетный (средний за год) суточный расход воды в м³/сут на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте определяется по формуле:

$$Q_{\text{сут.ср.}} = \frac{q^N}{1000}, \quad (4.1)$$

где q – среднесуточная норма водопотребления на 1 жителя, л/сут;

N – расчетное число жителей;

$Q_{\text{сут.ср.}}$ – м³/сут., 1000 – перевод из литров в м³.

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления для населенных пунктов принимаются в соответствии с табл. 7.

Таблица 7

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления
для населенных пунктов

Степень благоустройства районов жилой застройки	Водопотребление на одного жителя среднесуточное за год, л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией:	
без ванн	125–160
с ваннами и местными водонагревателями	160–230
с ваннами и централизованным горячим водоснабжением	230–350
Застройка зданиями, необорудованными внутренним водопроводом и канализацией (водопользование из водоразборных колонок)	30–50

Расчетные расходы воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления определяют по формулам

$$Q_{\text{сут.макс.}} = k_{\text{сут.макс.}} Q_{\text{сут.ср.}}; \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{сут.мин.}} = k_{\text{сут.мин.}} Q_{\text{сут.ср.}}, \quad (4.3)$$

где $k_{\text{сут.макс.}}$ и $k_{\text{сут.мин.}}$ – соответственно максимальный и минимальный коэффициенты суточной неравномерности водопотребления, учитывающие уклад жизни населения, режим работы промышленных предприятий, степень благоустройства зданий и изменение водопотребления по сезонам года и дням (принимаются $k_{\text{сут.макс.}} = 1,1 \div 1,3$, $k_{\text{сут.мин.}} = 0,7 \div 0,9$).

Если в населенном пункте имеются зоны с различным санитарно-техническим оборудованием зданий (соответственно градации, по табл. 7), то среднесуточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды населения определяют по формуле (4.1) для каждой зоны, а затем находят их сумму. Коэффициенты $k_{\text{сут.макс.}}$ и $k_{\text{сут.мин.}}$ принимают в указанных пределах в зависимости от степени благоустройства рай-

онов жилой застройки населенного пункта. Чем выше эта степень, тем меньше $k_{\text{сут. макс}}$ и больше $k_{\text{сут. мин}}$ и наоборот.

Примечание. В общий расход воды потребления населенным пунктом включается дополнительно:

а) расход воды в м³/сут. на поливку, который определяется по формуле:

$$Q_{\text{п}} = 10 \sum F_{\text{п}} q_{\text{п}}, \quad (4.4)$$

где $F_{\text{п}}$ – поливаемая площадь, га;

$q_{\text{п}}$ – норма расхода воды, л/м², принимаемая в зависимости от вида поливаемых площадей и принимается в соответствии с табл. 8.

Таблица 8

Расход воды на полив различного вида территорий

Поливаемая территория	Площадь, га	Нормы расхода воды, л/м ²	Расход воды на поливку, м ³ /сут.
Улицы	8	0,3	24
Газоны	4	5	200
Парки	5	3	150
Итого			374

б) расход воды на промышленные предприятия, который определяется по формуле

$$Q = q_1 \cdot n_1, \quad (4.5)$$

где q_1 – норма водопотребления на единицу выпускаемой продукции;

n_1 – количество выпускаемой продукции.

Суммарный расход воды, потребляемый населенным пунктом, будет состоять из следующих категорий водопользователей и определяется по формуле:

$$Q_{\text{об.}} = Q_{\text{х.л.}} + Q_{\text{н.л.}} + Q_{\text{полив}}, \quad (4.6)$$

где $Q_{\text{х.л.}}$ – расход воды на хозяйственно-питьевое водопотребление;

$Q_{\text{н.л.}}$ – расход воды на промышленный предприятия;

$Q_{\text{полив}}$ – расход воды на полив улиц, газонов и т.д.

Суммарное количество населения, проживающего в зданиях с той или иной степенью санитарно-технического благоустройства, а также суммарную площадь поливки $F_{\text{п}}$ принимают по данным генерального плана развития населенного пункта или планового задания на проектировании водопровода.

Обычно число жителей в зоне застройки с соответствующей степенью санитарно-технического благоустройства определяют по формуле

$$N_i = p_i F_i, \quad (4.7)$$

где p_i – плотность населения в данной зоне жилой застройки, чел/га;

F_i – площадь застройки зоны, га.

Нормы расхода воды на различные виды поливок принимаются по табл. 9.

Таблица 9

Вид поливки	Измеритель	Нормы расхода воды, л/м ²
Механизированная мойка усовершенствованных покрытий, проездов и площадей	1 мойка	1,2–1,5
Механизированная поливка усовершенствованных покрытий, проездов и площадей	1 поливка	0,3–0,4
Поливка вручную (из шлангов) усовершенствованных покрытий	То же	0,4–0,5
Поливка городских зеленых насаждений	То же	3–4
Поливка газонов и цветников	То же	4–6
Поливка посадок в грунтовых зимних теплицах	1 сутки	15
Поливка посадок в теплицах (стеллажных зимних и грунтовых весенних), парниках всех типов и утепленного грунта	То же	6

Нормы расхода воды на промышленные нужды приводятся в справочной литературе в зависимости от вида и рода деятельности предприятия

Пример. Определить суточные расходы воды из водопроводной сети города, имеющего две зоны жилой застройки и соответствующий им характер санитарно-технического оборудования зданий. Первая зона площадью 80 га застроена зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией с ваннами и газовыми водонагревателями. Плотность населения в ней – 180 чел/га. Вторая зона площадью 60 га застроена зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн. Плотность населения в ней – 70 чел/га.

Примечание. Расход воды на промышленные предприятия и полив зеленого насаждения в данном примере опущен.

Порядок расчета.

I. Определение среднесуточного расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды.

I.1. Определение расчетного числа жителей

а) для первой зоны

$$N_1 = 180 \cdot 80 = 14400;$$

б) для второй зоны

$$N_2 = 70 \cdot 60 = 4200.$$

I.2. Определение среднесуточного расхода воды для двух зон с различной степенью благоустройства зданий:

а) для 1-ой зоны при степени благоустройства зданий, оборудованных внутренним водопроводом, канализацией с ваннами и газовыми водонагревателями согласно табл. 7 расход воды на 1 жителя приходится в пределах 230–350 л/сут. Согласно формуле (4.1) расход будет равен:

$$Q_1 = \frac{(230 - 350) \cdot 14400}{1000} = (3312 - 5040) \text{ м}^3/\text{сут.};$$

б) для 2-ой зоны при степени благоустройства зданий оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн согласно табл. 1. расход воды на 1 жителя приходится в пределах 125–160 л/сут. Согласно формуле (4.1) расход будет равен:

$$Q_2 = \frac{(125 - 160) \cdot 4200}{1000} = (525 - 672) \text{ м}^3/\text{сут.}$$

I.3. Суммарный расход воды для двух зон с различной степенью благоустройства зданий будет равен:

$$Q_{\text{об ср.}} = Q_1 + Q_2 = (3312 - 5040) + (525 - 672) = (3837 - 5712) \text{ м}^3/\text{сут.}$$

II. Определение расхода воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления.

II.1. Расход воды в сутки наибольшего водопотребления определяется по формуле (4.2). Тогда

$$Q_{\text{сут. макс.}} = (3837 - 5712) \cdot (1,1 - 1,3) = (4220,7 - 7425,6) \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Расход воды в сутки наименьшего водопотребления определяется по формуле:

$$Q_{\text{сут. мин.}} = (3837 - 5712) \cdot (0,7 - 0,9) = (2685,9 - 5140,8) \text{ м}^3/\text{сут.}$$

II.2. Определение часовых расходов

Водопотребители расходуют воду в течение суток неравномерно. Поэтому для построения общего суточного графика водопотребления из сети необходимо определить часовые расходы воды

каждым потребителем, затем их просуммировать. Степень расходов воды зависит от типа водопотребителя и коэффициента часовой неравномерности водопотребления. Такие графики составляют в результате проведения замеров фактических расходов воды в действующих водопроводах, а также в результате обработки и осреднения данных этих наблюдений. Для населенных пунктов часовые расходы воды определяют с учетом двух коэффициентов часовой неравномерности водопотребления – максимального $k_{\text{ч. макс}}$ и минимального $k_{\text{ч. мин}}$, которые вычисляют по формулам:

$$k_{\text{ч. макс}} = \alpha_{\text{ макс}} \beta_{\text{ макс}}, \quad (4.8)$$

$$k_{\text{ч. мин}} = \alpha_{\text{ мин}} \beta_{\text{ мин}}. \quad (4.9)$$

Тогда

для первой зоны

$$k_{\text{ч. макс}} = (1,2 - 1,4) \cdot 1,2 = (1,44 - 1,68),$$

$$k_{\text{ч. мин}} = (0,4 - 0,6) \cdot 0,5 = (0,2 - 0,30),$$

для второй зоны

$$k_{\text{ч. макс}} = (1,2 - 1,4) \cdot 1,5 = (1,8 - 2,1),$$

$$k_{\text{ч. мин}} = (0,4 - 0,6) \cdot 0,2 = (0,08 - 0,12),$$

где α – коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия (принимают $\alpha_{\text{ макс}} = 1,2 \div 1,4$, $\alpha_{\text{ мин}} = 0,4 \div 0,6$); β – коэффициент, учитывающий количество жителей в населенном пункте, который определяется по таблице (СНиП II-31-74) (табл. 10):

Таблица 10

Коэффициент β	Значение β при количестве жителей в населенном пункте, тыс.чел. (до)										
	1	1,5	2,5	4	6	10	20	50	100	300	1000 и более
Максимальный	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1
Минимальный	0,1	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85	1

Значения коэффициента часовой неравномерности по часам суток приведены в табл. 11.

Таблица 11

Часы суток	Расходы по населенным пунктам при коэффициенте часовой неравномерности водопотребления						
	1,25	1,3	1,35	1,5	1,7	2	2,5
0–1	3,5	3,2	3	1,5	1	0,75	0,6
1–2	3,25	3,1	3,2	1,5	1	0,75	0,6
2–3	3,3	3,2	2,5	1,5	1	1	1,2
3–4	3,2	3,2	2,6	1,5	1	1	2
4–5	3,25	3,2	3,5	2,5	2	3	3,5
5–6	3,4	3,4	4,1	3,5	3	5,5	3,5
6–7	3,85	3,8	4,5	4,5	5	5,5	4,5
7–8	4,45	4,6	4,9	5,5	6,5	5,5	10,2
8–9	5,2	5,4	5,6	6,25	6,5	3,5	8,8
9–10	5,05	5	4,9	6,25	5,5	3,5	6,5
10–11	4,85	4,8	4,9	6,25	4,5	6	4,1
11–12	4,6	4,6	4,7	6,25	5,5	8,5	4,1
12–13	4,6	4,5	4,4	5	7	8,5	3,5
13–14	4,55	4,4	4,1	5	7	6	3,5
14–15	4,75	4,6	4,1	5,5	5	4,7	2
15–16	4,7	4,6	4,4	6	4,5	5	6,2
16–17	4,65	4,4	4,3	6	5	3,5	10,4
17–18	4,35	4,3	4,1	5,5	6,5	3,5	9,4
18–19	4,4	4,4	4,5	5	6,5	6	7,3
19–20	4,3	4,5	4,5	4,5	5	6	1,6
20–21	4,3	4,5	4,5	4	4,5	6	1,6
21–22	4,2	4,8	4,8	3	3	3	1
22–23	3,75	3,8	4,6	2	2	2	0,6
23–24	3,7	3,7	3,3	1,3	1	1	0,6
Итого	100	100	100	100	100	100	100

Определение максимального и минимального часового расхода воды населением производится по следующим формулам

$$Q_{ч.макс.} = k_{ч.макс.} \frac{Q_{сут.макс.}}{24}; \quad (4.10)$$

$$Q_{ч.мин} = k_{ч.мин} \frac{Q_{сут.мин}}{24}. \quad (4.11)$$

Тогда

а)

$$Q_{ч.макс.} = (1,44 - 1,68) \frac{(4220,7 - 7425,6)}{24} = (253,242 - 51979,2),$$

$$Q_{ч.мин} = (0,2 - 0,30) \frac{(2685,9 - 5140,8)}{24} = (22,375 - 64,26),$$

б)

$$Q_{ч.макс.} = (1,8 - 12,1) \frac{(4220,7 - 7425,6)}{24} = (316,552 - 3743,74),$$

$$Q_{ч.мин} = (0,08 - 0,12) \frac{(2685,9 - 5140,8)}{24} = (8,953 - 25,704).$$

4.3. Расходы воды на пожаротушение

Расход воды на пожаротушение определяется по формуле:

$$Q_{пож} = q_1 \cdot n, \quad (4.12)$$

где q_1 – расход воды на пожаротушение, n – количество одновременных пожаров.

Примечание. Противопожарный водопровод чаще всего объединяют с хозяйственно-питьевым или производственным. Самостоятельный противопожарный водопровод устраивают только в том случае, если такое объединение нецелесообразно.

Система противопожарного водопровода принимается низкого или высокого давления. Противопожарный водопровод проектируют, как правило, низкого давления. Водопроводы высокого давления можно проектировать при соответствующем обосновании. В населенных пунктах с числом жителей до 5 тыс. чел. следует предусматривать противопожарный водопровод высокого давления.

Расходы воды на пожаротушение принимают по СНиП II-31-74.

4.4. Наружное пожаротушение

Для населенных мест расчетный расход воды на наружное пожаротушение принимают в зависимости от количества жителей и характера жилой застройки.

В табл. 12 приведен расчетный расход воды на наружное пожаротушение и расчетное количество одновременных пожаров в населенных пунктах.

Таблица 12

Количество жителей в населенном пункте, тыс.чел. (до)	Расчетное количество одновременных пожаров	Расход воды на 1 пожар, л/с, для зданий (независимо от их степени огнестойкости) высотой		Количество жителей в населенном пункте, тыс.чел. (до)	Расчетное количество одновременных пожаров	Расход воды на 1 пожар, л/с, для зданий (независимо от их степени огнестойкости) высотой	
		до 2 этажей вклю- чительно	3 этажа и более			до 2 этажей вклю- чительно	3 этажа и более
5	1	10	10	400	3	–	70
10	1	10	15	500	3	–	80
25	2	10	15	600	3	–	85
50	2	20	25	700	3	–	90
100	2	25	35	800	3	–	95
200	3	–	40	900	3	–	100
300	3	–	55	1000	4	–	100

В жилых районах, застроенных зданиями высотой до 2 этажей включительно и входящих в состав населенных пунктов с большой этажностью застройки, допускается принимать расход воды для тушения пожара, соответствующей этажности застройки и количеству жителей в районах. При этом общий расход воды на пожаротушение в населенном пункте необходимо определять по общей численности населения.

При зонном водоснабжении расчетный расход воды на наружное пожаротушение принимают для каждой зоны отдельно в зависимости от количества проживающих в ней жителей.

Расчетный расход воды на наружное пожаротушение для сельских населенных пунктов с количеством жителей 50–500 чел. допускается применять 5 л/с при продолжительности пожара 3 ч независимо от этажности и степени огнестойкости зданий. При числе жителей в городе более 2 млн. чел. расчетное количество одновременных пожаров и расход воды на один пожар устанавливают в каждом отдельном случае по

согласованию с органами Государственного пожарного надзора.

В расчетное число одновременных пожаров в населенном пункте следует включать пожары на промышленных предприятиях, если эти предприятия расположены в пределах населенного пункта.

На промышленных предприятиях расчетный расход воды на наружное пожаротушение принимают для производственных зданий с фонарями и без фонарей шириной до 60 м в зависимости от степени огнестойкости здания и категории пожарной безопасности по табл. 13:

Таблица 13

Расчетный расход воды на наружное пожаротушение
для производственных зданий

Степень огнестойкости зданий	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды на 1 пожар, л/с, при объеме зданий, тыс.м ³						
		до 3	3–5	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
III	Г, Д	10	10	15	25	–	–	–
	В	10	15	20	30	–	–	–
IV и V	Г, Д	10	15	20	30	–	–	–
	В	15	20	25	40	–	–	–

Расход воды на наружное пожаротушение для производственных зданий без фонарей шириной 60 м и более (степень огнестойкости зданий I и II) принимается по табл. 14:

Таблица 14

Категория производства по пожарной опасности	Расход воды на пожар, л/с, при объеме здания, тыс.м ³								
	до 50	50–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800
А, Б, В	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Г, Д	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Расход воды на наружное пожаротушение для сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений принимается по табл. 15.

Таблица 15

Степень огнестойкости зданий	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды на пожар, л/с, при объеме здания, тыс.м ³				
		до 3	3–5	5–20	20–50	50–200
I и II	Г, Д	5	5	10	10	15
	А, Б, В	10	10	15	20	30
III	Г, Д	10	10	15	25	–
	В	10	15	20	30	–
IV и V	Г, Д	10	15	20	30	–
	В	15	20	25	40	–

Расчетный расход воды на пожаротушение складов грубых кормов объемом более 1000 м³, расположенных на территории сельскохозяйственных производственных комплексов и животноводческих ферм, работающих на промышленной основе, определяют по табл. 15, относя эти склады к зданиям V степени огнестойкости и производственной категории В. Расход на наружное пожаротушение животноводческих ферм, работающих на промышленной основе, определяют также по табл. 15, относя их к зданиям с производством категории В при содержании животных на подстилке и к категории Д – при содержании их без подстилки.

Расчетное количество одновременных пожаров на промышленных предприятиях принимают в зависимости от площади территории предприятия: менее 150 га – 1 пожар, 150 га и более – 2 пожара с расчетным расходом для двух зданий, требующих наибольшего количества воды.

Для объединенного водопровода, обслуживающего промышленное предприятие и поселок, расчетный расход воды принимают в зависимости от площади территории предприятия и количества жителей в поселке, а именно:

При площади до 150 га и количестве жителей до 10 тыс. чел. – 1 пожар (по наибольшему расходу на предприятии или в населенном пункте);

При площади до 150 га и количестве жителей от 10 до 25 тыс. чел. – 2 пожара (один на предприятии и один в населенном пункте).

При площади 150 га и более и количестве жителей до 25 тыс. чел. – 2 пожара (оба на предприятии или оба в населенном пункте, по наибольшему расходу).

При числе жителей 25 тыс. чел. и более расчетное количество одновременных пожаров определяют отдельно для населенного пункта и для предприятия; при этом расход воды определяют как сумму потребного наибольшего расхода плюс 50% потребного меньшего расхода.

Внутреннее пожаротушение. Кроме расхода на наружное пожаротушение, необходимо дополнительно учитывать потребление ее на тушение пожара внутри одного из обслуживаемых водопроводом зданий, оборудованным внутренними пожарными кранами. Расход воды на внутреннее пожаротушение в производственных и общественных зданиях принимают из расчета двух пожарных струй производительностью не менее 2,5 л/с.

В случае оборудования зданий (помимо внутренних кранов) спринклерами расчетный расход воды определяют в соответствии с табл. 16, для производственных зданий шириной 60 м и более:

Таблица 16

Вид расхода	Расход, л/с, при объеме зданий, тыс.м ³							
	до 100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800
Наружное пожаротушение	30	40	50	60	70	80	90	100
Питание спринклеров	30	35	40	50	50	50	50	50

Расчетную продолжительность тушения пожара в населенном пункте или на промышленном предприятии принимают 3 ч, а для зданий I и II степени огнестойкости с производствами категорий Г и Д – 2 ч.

Подача полного расчетного количества воды на тушение пожара должна быть обеспечена при наибольшем часовом расходе воды на другие нужды. При этом расходы воды на поливку территории, прием душей, мытье полов в производственных зданиях и мойку технологического оборудования не должны учитываться.

Гидравлический расчет сети на пропуск пожарного расхода является поверочным расчетом в обеспечении снижения риска возникновения и развития чрезвычайных ситуаций от прорыва наружной и внутренней водопроводной сети.

5. ВОДОВОДЫ

5.1. Выбор типа и устройство водовода

Водоводы предназначены для транспортирования воды от водисточника к объекту водоснабжения. Они подразделяются на напорные, самотечные, или гравитационные и комбинированные (рис. 15–17). В напорных водоводах подача воды осуществляется насосами, а в самотечных – самотеком под действием силы тяжести. Комбинированный водовод состоит из напорных и самотечных водоводов.

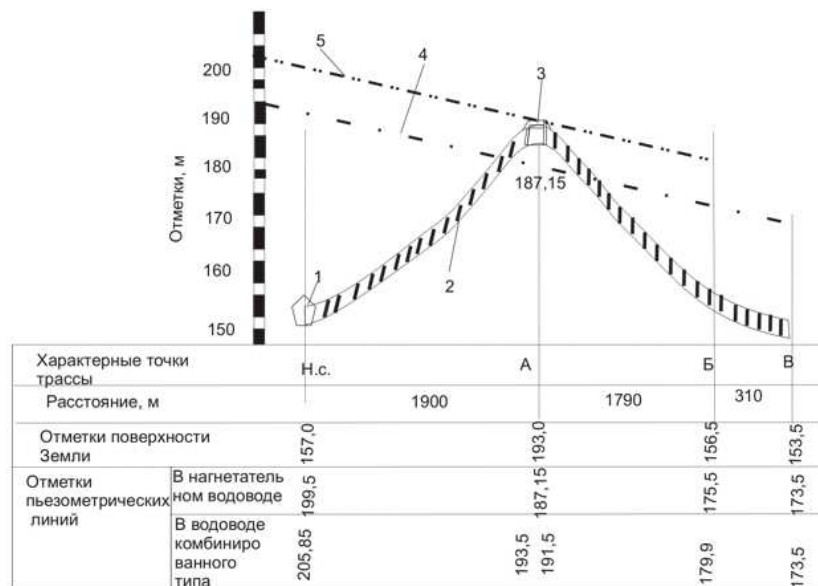


Рис. 15. Схема устройства напорного водовода: 1 – насосная станция, 2 – водовод, 3 – водонапорный резервуар, 4 – пьезометрическая линия в напорном водоводе, 5 – то же, в водоводе комбинированного типа

Тип водовода выбирают в зависимости от типа водоисточника, удаленности его от объекта водоснабжения, топографических условий и расхода транспортируемой воды.

По напорным водоводам воду подают из питающего резервуара с меньшей отметки его свободной поверхности z_1 в питаемый резервуар на высоту z_2 (рис. 16).

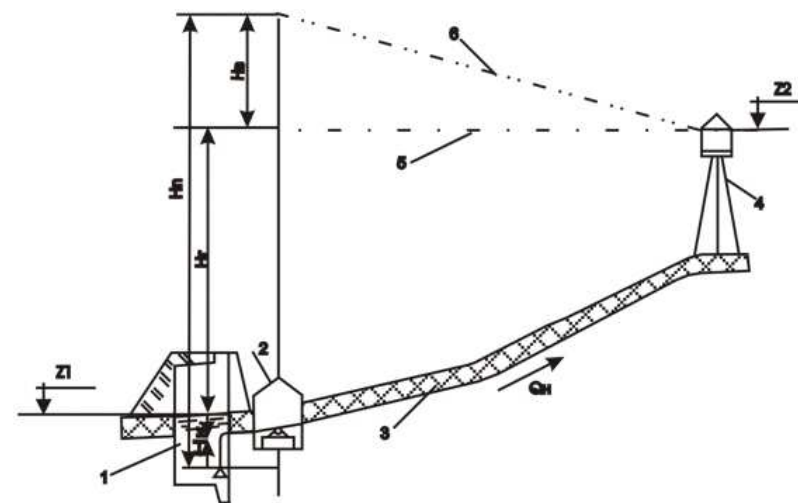


Рис. 16. Схема устройства напорного водовода: 1 – резервуар, питающий насос, 2 – насосная станция, 3 – напорный водовод, 4 – водонапорная башня, 5 – линия гидростатического напора, 6 – линия гидродинамического напора.

Для этих водоводов линия гидродинамического напора всегда будет находиться выше линии гидростатического. В самотечных водоводах отметки уровня воды в питающем резервуаре больше отметок в питаемом на величину располагаемого напора $H = z_1 - z_2$. Для этих водоводов линия гидродинамического напора всегда будет находиться ниже линии гидростатического напора (рис. 17).

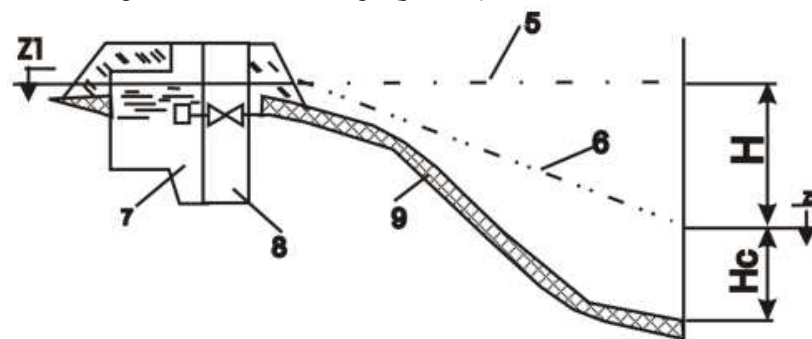


Рис. 17. Схема устройства самотечного водовода: 5 – линия гидростатического напора, 6 – линия гидродинамического напора, 7 – подземный напорный резервуар, 8 – камера переключения, 9 – самотечно-напорный водовод

Напорный и самотечно-напорный водоводы работают полным сечением, самотечно-безнапорный – неполным.

Водоводы являются ответственными элементами в системе водоснабжения. К ним предъявляются два основных требования: экономичность и надежность подачи воды потребителям. Для обеспечения бесперебойности работы водоводы укладывают обычно в две нитки, которые, кроме того, часто соединяют переключателями, позволяющими выключать на ремонт какой-либо участок в случае аварии на нем.

Допускается укладка водовода в одну нитку при значительной его длине при соответствующем технико-экономическом обосновании. Если водовод проектируют в одну нитку, необходимо предусмотреть устройство запасных резервуаров (в конце водовода). Объем этих резервуаров в m^3 определяют по формуле:

$$W_{зап} = 3,6Q_{ав}T_{ав} + 3,6Q_{пож}T_{пож} \text{ л/с,}$$

где $Q_{ав} = 0,7Q_{хоз} + Q_{пр.ав}$ – аварийный расход воды в водоеме, л/с,

в случае аварии на нем;

$Q_{хоз}$ – расход воды предприятиями по аварийному графику, л/с;

$T_{ав}$ – время, необходимое для ликвидации аварии на водоводе, которое принимается по табл. 17:

Таблица 17

Диаметр труб, мм	Т _{ав} , ч, при глубине заложения труб, м	
	до 2	более 2
до 400	8	12
400–1000	12	18
более 1000	18	24

$Q_{пож}$ – расход воды на пожаротушение, л/с; $T_{пож}$ – расчетная продолжительность пожаротушения (при $Q_{пож} \leq 25$ л/с $T_{пож} = 3$ ч; $Q_{пож} \geq 25$ л/с $T_{пож} = 6$ ч; для зданий I и II степени огнестойкости с производствами категорий Г и Д величину $T_{пож}$ принимают соответственно 2 и 4 ч).

Водоводы укладывают из стальных, чугунных, асбестоцементных и железобетонных труб. Для предохранения одного трубопровода от размыва в случае аварии на втором расстояние между нитками водовода принимают в зависимости от диаметров труб: при $d \leq 300$ мм $l \geq 5$ м; при $d > 300$ мм $l \geq 10$ м. Водопроводные трубы должны быть уложены

на глубине, обеспечивающей незамерзаемость воды зимой, исключающей возможность недопустимого нагревания ее летом и предупреждающей повреждение труб под нагрузками от движущегося транспорта. Для обеспечения незамерзаемости глубина укладки труб (считая до дна траншеи) должна быть на 0,5 м больше расчетной глубины проникания в грунт нулевой температуры:

$$H_{пр} = H_{нр} + 0,5 \text{ м.}$$

За расчетную принимают максимальную глубину проникания в грунт нулевой температуры $H_{нр}$, определяемую на основании многолетних наблюдений. Для предупреждения нагревания воды в летнее время глубину заложения труб хозяйственно-питьевых водопроводов следует принимать не менее 0,5 м, считая от верха труб.

5.2. Гидравлический расчет

Порядок расчета.

1. Производится трассировка сети.
2. Определяются длины участков.
3. Определяется удельный расход воды на участках.
4. Определяется путевой расход.
5. Определяется узловый расход.
6. Производится потокораспределение по участкам.
7. Определяется потери напора на участках.
8. Производится увязка сети.
9. Определяется требуемый напор насоса.
10. Производится поверочный расчет сети на пропуск пожарного расхода.
11. Строится профиль по напору для пропуск расхода в час максимального водопотребления и пропуск пожарного расхода в час максимального водопотребления.
12. Проводится оценка риска по обеспечению потребителя требуемым расходом воды и требуемым напором в час максимального водопотребления по полученным профилям напора.

5.3. Выбор метода обработки воды и состава водоочистных сооружений

Сравнивая данные о качестве воды природных источников, полученные по результатам анализов, с требованиями, предъявляемыми к ней потребителями, намечают мероприятия для улучшения ее качества.

В практике водоснабжения применяются следующие технологические операции для улучшения качества воды: осветление – удаление

взвешенных веществ; обесцвечивание – устранение веществ, обуславливающих цветность воды; обеззараживание – уничтожение содержащихся в воде бактерий; обессоливание – удаление растворенных солей; умягчение – удаление солей кальция и магния, обуславливающих жесткость воды; обезжелезивание освобождение воды от растворимых соединений железа; обесфторивание – удаление соединений фтора; фторирование – добавление в воду фтора; дегазация – удаление из воды растворенных газов (H_2S , CO_2 , O_2); дезактивация – удаление из воды радиоактивных веществ.

Состав основных сооружений водоочистной станции для осветления и обесцвечивания выбирают в зависимости от мутности и цветности исходной воды, а также производительности станции. Состав основных технологических сооружений для осветления и обесцвечивания воды приведен в табл. 18.

Таблица 18

Сооружения	Условия применения		
	Качество исходной воды		Производительность очистной станции, м³/сут
	содержание взвешенных веществ, мг/л	цветность, град.	
Обработка воды с применением коагулянта			
Станции со скорыми фильтрами:			
напорные фильтры	До 50	До 80	До 3000
открытые фильтры	« 30	« 30	Любая
вертикальные отстойники и фильтры	« 2500	Любая	До 3000
осветлители со взвешенным осадком и фильтры	« 2500	«	Более 3000
горизонтальные отстойники и фильтры	« 2500	«	« 30000
первичные и вторичные отстойники и фильтры	Более 2500	«	Любая
крупнозернистые фильтры для частичного осветления	До 150	До 150	«
Контактные осветлители	« 150	« 150	«
Отстойники или осветлители для частичного осветления	« 2500	Любая	«

Продолжение табл. 18

Сооружения	Условия применения		
	Качество исходной воды		Производительность очистной станции, м³/сут
	содержание взвешенных веществ, мг/л	цветность, град.	
Обработка воды без применения коагулянта			
Станции с медленными фильтрами:			
с удалением песка при регенерации	До 50	До 50	До 1000
без удаления песка при регенерации (с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений)	« 700	« 50	« 30000
префильтры, медленные фильтры без удаления песка при регенерации	« 1000	« 50	« 30000
Крупнозернистые фильтры для частичного осветления	« 150	« 150	Любая

По принципу перемещения воды в сооружениях водоочистной станции различают самотечные и напорные системы. В самотечных системах водоочистных сооружений вода протекает под действием силы тяжести. В напорных системах вода течет по водоочистным сооружениям закрытого типа под давлением, создаваемым насосами.

Состав и технологическую схему работы самотечных систем обычно представляют в виде высотной схемы в профиле основных сооружений водоочистной станции. Высотную схему начинают составлять с наиболее низко расположенного сооружения – резервуара чистой воды. При определении отметок уровней воды в элементах сооружений водоочистной станции за начальную принимают отметку поверхности земли площадки водоочистной станции z_1 . Отметку наивысшего уровня воды в РЧВ z_2 обычно назначают из экономических и санитарных соображений на 0,5 м выше отметки z_1 . Затем определяют отметки уровней в отдельных сооружениях станции и соединительных коммуникациях между ними. Для ориентировочных расчетов эти потери можно принимать табл. 19.

Таблица 19

Сооружения и оборудование	Потери напора, м	Соединительные коммуникации	Потери напора, м
Барабанные сетки и микрофильтры	0,5–0,7	От смесителей к отстойникам	0,3–0,5
Сетки входной камеры контактных осветлителей	0,2	От смесителей к осветлителям со взвешенным осадком	0,5
Смесители	0,4–0,9		
Камеры хлопьеобразования	0,4–0,5	От смесителя или выходной камеры к контактным осветлителям	0,5–0,7
Отстойники	0,6–0,7		
Осветлители со взвешенным осадком	0,7–0,8	От отстойников или осветлителей со взвешенным осадком к фильтрам	0,5–1
Фильтры	3,0–3,5		
Контактные осветлители	2–2,5	От фильтров или контактных осветлителей к РЧВ	1
Медленные фильтры	1,5–2		
Измерительная аппаратура на входе и выходе из станции	0,5		
Индикаторы расхода на отстойниках, осветлителях со взвешенным осадком, фильтрах и контактных осветлителях	0,2–0,3		

Для уменьшения строительной стоимости водоочистной станции ее отдельные технологические сооружения необходимо максимально приспособить к рельефу местности с учетом обеспечения незатопляемости площадки и возможности самотечного отвода сточных вод и осадков из всех сооружений.

Диаметры труб соединительных коммуникаций определяют в зависимости от величины расчетного расхода воды и допускаемых скоростей ее движения.

Значения допускаемых скоростей движения воды в соединительных коммуникациях водоочистных станций приведены в табл. 20.

Таблица 20

Соединительные коммуникации	Допускаемые скорости воды, м/с
От насосов 1-го подъема к смесителю	1–1,2
От смесителя к камере хлопьеобразования или к осветлителю	0,8–1
От камеры хлопьеобразования к отстойнику	0,05–0,1
От отстойников (осветлителей) к фильтрам	0,8–1,2
От фильтров к РЧВ	1–1,5
Трубы, подводящие промывочную воду к фильтрам	1,5–2
Канал для отвода промывной воды после фильтров	≥0,8

6. СКОРЫЕ ФИЛЬТРЫ

Скорые фильтры применяются как при реагентном, так и безреагентном методах обработки воды. При безреагентном методе они предназначены для частичного осветления воды перед медленными фильтрами. В реагентных системах очистки скорые фильтры устраивают для полного осветления воды, которая поступает из отстойников или осветлителей с оставшимися еще в ней взвешенными веществами. Мутность воды, подаваемой на скорые фильтры, не должна превышать 8–12 мг/л, а мутность фильтра должна быть не более 1–1,5 мг/л.

Обыкновенный скорый безнапорный фильтр представляет собой железобетонный резервуар, загруженный слоями песка и гравия, крупность которых возрастает сверху вниз (рис. 18).

Толщину фильтрующего слоя, диаметры частиц, неоднородность фильтрующей загрузки и скорость фильтрования воды принимают по табл. 21 в зависимости от типа фильтра, качества воды в источнике водоснабжения, технологии ее обработки перед фильтрованием и от других местных условий.

Вместо песка могут применяться другие фильтрующие материалы – пенополистирол, шунгизит, горелые породы и др.

Взвешенные вещества. Поступающие на скорый фильтр вещества при реагентном методе обработки воды являются агрегативно неустойчивыми и способны прилипать к зернам фильтрующего материала, поры которого по мере работы фильтра заполняются этой взвесью, и сопротивление движению воды через загрузку возрастает. Кроме того, загрязнения по мере фильтрования воды проникают на большую глубину и могут остаться в фильтрате, ухудшая его качество. Нормальными считаются потери напора на открытом скором фильтре в пределах 2,5–3 м, после достижения величины которых надо отключать его на промывку [8].

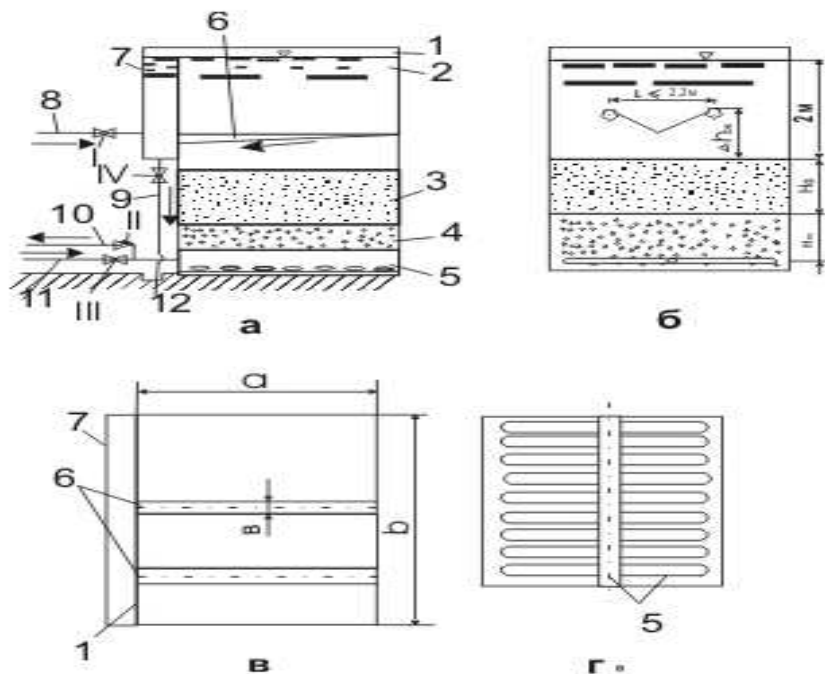


Рис. 18. Конструкция скорого безнапорного фильтра: а – продольный разрез, б – поперечный разрез, в – вид сверху, г – дренажная система в плане, 1 – корпус фильтра, 2 – слой воды в фильтре, 3 – слой фильтрующего материала, 4 – гравийные поддерживающие слои, 5 – дренажная (распределительная) система, 6 – желоба для отвода промывной воды, 7 – карман фильтра, 8 – труба, подводящая воду из отстойника или осветлителя, 9 – труба для отвода грязной промывной воды с фильтра, 10 – труба, отводящая фильтрованную воду, 11 – труба для подачи промывной воды, 12 – канализационный лоток, I – IV – задвижки.

Регенерация фильтра, т.е. восстановление его фильтрующей способности, производится промывкой. Для этого подачу исходной воды прекращают (закрывают задвижки I и II) и через дренажную (распределительную) систему подают воду с большой скоростью. Промывка скорого фильтра должна быть интенсивной и продолжительной. При промывке открывают задвижки III и IV; фильтрующую загрузку взрыхляют, расширяют, а ее частички отмыывают от прилипших к ним загрязнений. Грязную воду переливают в желоба и отводят в сток.

Кромку желобов следует располагать строго горизонтально для того чтобы промывную воду можно было равномерно собирать со всей площади фильтра; кромка желобов должна находиться также на некоторой высоте над уровнем фильтрующей загрузки, чтобы во время промывки не уносились водой частицы фильтроматериала. Эту высоту в м определяют по формуле:

$$\Delta h_{жс} = \frac{H_{\phi}^e}{100} + 0,3,$$

где H_{ϕ} – высота фильтрующего слоя, м, принимаемая по табл. 21;

e – относительное расширение фильтрующей загрузки, %.

Расстояние между осями желобов должно составлять не более 2,2 м, а длина желоба не должна превышать 5–5,3 м. Дну желобов придают продольный уклон $i = 0,01$ по ходу движения промывной воды, которая поступает в боковой карман фильтра, откуда по трубе сбрасывается в отводящий канал.

Промывную воду можно подавать на фильтры двумя способами: при помощи промывных насосов и от специального напорного бака.

Промывной насос подбирают по расходу в л/с

$$Q_{np} = \omega F_1,$$

и напору в м

$$H_H = H_r = \sum h,$$

где ω – интенсивность промывки, лс·м²;

H_r – разность отметок кромки желоба и минимального уровня воды в питающем насосы резервуаре, м;

$\sum h$ – сумма потерь напора на пути движения воды от всасывающих отверстий насоса до кромки желобов, м (в коммуникациях, распределительной системе, поддерживающих слоях и фильтрующем слое).

Емкость напорного бака в м³ определяют из условий промывки два раза подряд одного фильтра:

$$W_{np} = \frac{2\omega F_1 t_1 \cdot 60}{1000},$$

где t_1 – продолжительность промывки фильтра, мин.

Высота его расположения над кромкой желобов в м

$$H = \sum h.$$

Бак наполняют от специального насоса или от водовода насосов 2-го подъема.

Эффективность работы скорого фильтра в значительной степени зависит от правильно подобранных характеристик фильтрующего слоя. Эквивалентный диаметр частиц фильтрующего слоя в мм определяют по формуле:

$$d_{\text{э}} = \frac{100}{\sum \frac{p_i}{d_i}},$$

где p_i – содержание фракций со средним диаметром d_i , %.

Коэффициент неоднородности загрузки

$$k = d_{80} / d_{10},$$

где d_{80} и d_{10} – диаметры зерен, мм, меньшее из которых в фильтрующей загрузке находится соответственно 80 и 10% по массе.

Скорые фильтры могут работать при нормальном и форсированном режимах. При нормальном режиме работа всех фильтров происходит с периодическим отключением одного из них на промывку. При количестве фильтров до 20 выключается один фильтр, а при большем количестве – два. Расчетную скорость фильтрования в м/ч при форсированном режиме определяют по формуле:

$$v_{p.ф.} = v_{p.н.} \frac{N}{N - N_1},$$

где $v_{p.н.}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, принимаемая по табл. 21;

N – число фильтров на водоочистной станции;

N_1 – количество фильтров, выключаемых одновременно на ремонт.

Величина $v_{p.ф.}$ не должна превышать значений, указанных в табл. 21. Если очищаемую воду используют на производственные нужды, то принимают большие значения скоростей фильтрования.

Промежуток времени между двумя промывками фильтра называют фильтроциклом, а количество загрязнений, задерживаемых в процессе фильтроцикла – грязеемкостью фильтра. Обычно фильтроцикл скорого фильтра при нормальном режиме составляет 8–12 ч, а при форсированном – не менее 6 ч.

В период выключения одного из фильтров на промывку на остальных скорость может оставаться постоянной или увеличиваться до 20%. При количестве фильтров меньше 6 скорость фильтрования должна быть постоянной. В этом случае нормальный уровень воды в сооружениях, где может накапливаться вода (фильтры, отстойники, осветлители,

смесители и т.д.), определяют по высотной схеме водоочистной станции, также необходимо предусматривать дополнительную высоту слоя воды:

$$H_{\text{дон}} = \frac{W}{\sum F},$$

где W – объем воды, м³, накапливающейся в сооружениях за время промывки одного фильтра;

$\sum F$ – суммарная площадь сооружений, м², в которых происходит накопление воды.

Объем воды в м³ определяют по выражению:

$$W = F_1 V_{p.ф.} t_2,$$

где t_2 – время простоя фильтра в связи с промывкой, ч, принимаемое для скорых однопоточных фильтров 0,33, а для двухпоточных – 0,5 ч.

К важнейшим элементам скорого фильтра относится дренажная система, которая должна обеспечить равномерный со всей площади фильтра отвод фильтруемой воды, равномерно распределить при промывке промывную воду по всей площади фильтра, не пропустить вместе с фильтруемой водой частиц фильтрующего материала. Особое внимание следует обратить на выполнение второго требования, поскольку неодинаковое распределение промывной воды, подаваемой с большими скоростями, может привести к неравномерной промывке, вызвать сдвиг гравийных поддерживающих слоев (если они применяются) и нарушить правильную работу фильтра. Лучшему обеспечению выполнения всех перечисленных требований отвечает дренажная система большого сопротивления.

Гравийные поддерживающие слои применяются только в таких скорых фильтрах, у которых минимальные диаметры зерен песка меньше диаметров отверстий дренажной системы. Поддерживающие слои должны не пропускать зерен фильтрующего материала в отверстия дренажной системы и равномерно распределять промывную воду при промывке по всей площади фильтра. Высоту поддерживающих слоев гравия или щебня в скрытых фильтрах с крупностью зерен 2–40 мм принимают 350–500 мм.

Трубчатые дренажи большого сопротивления со щелевой перфорацией при ширине щели на 0,1 мм меньше величины наиболее мелкой фракции фильтрующей загрузки, применяются без поддерживающих слоев. Их выполняют из нержавеющей стали или винипласта. В скорых фильтрах без поддерживающих слоев и с водовоздушной промывкой применяются дренажи из колпачков со щелевыми отверстиями. Такие колпачки изготавливают из фарфора, пластмассы или нержавеющей

стали. Количество их должно быть не меньше 35 на 1 м² площади фильтра. Поверхность щелей фарфорового колпачка ВТИ-5 составляет 1,92 см², а пластмассового В-1 – 2,88 см². Суммарную площадь щелей всех колпачков принимают равной 0,8–1% площади фильтра. Потерю напора в дренажной системе с колпачками в м определяют по формуле:

$$h_k = \frac{v_{щ}^2}{2g\mu},$$

где $v_{щ}$ – скорость движения воды в щелях колпачков, принимаемая равной не менее 1,5 м/с;

μ – коэффициент расхода, принимаемый равным 0,5.

Суммарную площадь скорых фильтров в м² вычисляют по формуле:

$$F = \frac{Q_{пол}}{T v_{р.н.} - 3,6n\omega t_1 - nt_2 v_{р.н.}},$$

где $Q_{пол}$ – полезная производительность водоочистной станции, м³/сут.;

$v_{р.н.}$ – расчетная скорость фильтрования в нормальном режиме, м/ч;

n – число промывок каждого фильтра в сутки, которое при нормальном режиме эксплуатации должно быть не более 2–3;

ω – интенсивность промывки, л/с · м²;

t_1 – продолжительность промывки, ч;

t_2 – время простоя фильтра в связи с промывкой, ч;

T – продолжительность работы очистной станции в течение суток, ч.

Количество фильтров ориентировочно определяют по формуле:

$$N = \sqrt{F/2}.$$

Ширина желоба

$$B = K \cdot \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1,57 + a)^3}},$$

где a – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины (принимается в пределах 1–1,5);

K – коэффициент, принимаемый для желобов с треугольным основанием 2,1, а с полукруглым – 2.

Количество воды, расходуемой на промывку фильтров, вычисляют по формуле:

$$P_{\phi} = \frac{60Q_{пр}Nt_1}{1000Q_{ч}T_p} 100\%,$$

где $Q_{пр}$ – расход воды в канале, м³/с;

$Q_{ч}$ – расчетный часовой расход воды, м³/ч;

T_p – продолжительность работы фильтров между промывками, ч;

T_o – продолжительность фильтроцикла, ч.

Загрязненную промывную воду из желобов изливают в сборный канал, откуда сбрасывают в сток. Сборный канал не должен создавать подпор на выходе воды из желобов. Высота от дна желобов до дна бокового сборного канала в м

$$H_{кан} = 1,73 \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{gb_{кан}^2}},$$

где $q_{кан} = Q_{пр}$ – расход воды в канале, м³/с;

$b_{кан}$ – минимально допустимая ширина канала, принимаемая равной 0,7 м.

Потери напора в м при промывке скорого фильтра определяют отдельно по следующим формулам:

в трубчатой распределительной системе:

$$h_{р.с.} = \left(\frac{2,2}{k_{\omega}^2} + 1 \right) \frac{v_{кол}^2}{2g} + \frac{v_{отв}^2}{2g},$$

где $v_{кол}$ – скорость движения воды в начале коллектора, м/с;

$v_{отв}$ – то же, в начале ответвлений, м/с;

k_{ω} – отношении суммы площадей всех отверстий распределительной системы к площади сечения коллектора;

в гравийных поддерживающих слоях:

$$h_{н.с.} = 0,022 H_{н.с.} \omega,$$

где $H_{н.с.}$ – высота поддерживающих слоев, м;

ω – интенсивность промывки, л/с · м².

в фильтрующем слое:

$$h_{\phi} = (a + b\omega) H_{\phi},$$

где H_{ϕ} – высота фильтрующего слоя, м; а и b – параметры, соответственно равные 0,76 и 0,017 для кварцевого песка с размером зерен 0,5–1 мм, 0,85 и 0,004 – для зерен 1–2 мм;

в трубопроводе, подводящем промывную воду к общему коллектору распределительной системы:

$$h_{n.m.} = il;$$

на местные сопротивления в фасонных частях и арматуре:

$$h_{m.c.} = \sum \xi \frac{v^2}{2g}.$$

Характеристика фильтрующего слоя и величины скорости фильтрации (СНиП II-31–74) представлены в табл. 21.

Таблица 21

Тип фильтра	Характеристика фильтрующего слоя					Скорость фильтрования, м/ч	
	Диаметр зерен, мм			Коэффициент неоднородности	Высота слоя, мм	при нормальном режиме	при форсированном режиме
	минимальный	максимальный	эквивалентный				
Однослойный скорый фильтр с загрузкой (кварцевый песок) различной крупности	0,5 0,7 0,8	1,25 1,6 2	0,7–0,8 0,8–1 1,1–1,2	2–2,2 1,8–2 1,5–1,7	700 1200–1300 1800–2000	5,5–6 7–8 8–10	6–7,5 8–10 10–12
Скорый фильтр с двухслойной загрузкой: кварцевым песком	0,5	1,25	0,8		600–700		
антрацитом	0,8	1,8	1,1	2	400–500	8–10	10–12
Скорый фильтр двухпоточный с загрузкой кварцевым песком	0,5	1,6	0,9	2–2,2	1450–1650	10–12	12–15

7. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

7. 1. Общие положения

Для каждого водопровода со всеми входящими в него сооружениями, а также для всего комплекса устройств искусственного пополнения подземных вод следует проектировать зоны санитарной охраны. В зависимости от степени санитарной ответственности элемента устройств водоснабжения проектируемая зона предусматривает либо строгий санитарный режим (1-ой пояс), либо ограниченный (2-ой пояс).

В пределах территории 1-го пояса запрещается применение ядохимикатов, органических и некоторых видов минеральных удобрений, выпуск стоков, водопой и выпас скота, ловля рыб, купание лошадей и собак, стирка белья, проживание людей, а также все виды строительства. Существующие здания в первом поясе должны быть канализованы, а его территория спланирована так, чтобы поверхностный сток беспрепятственно отводился. Акваторию первого пояса следует ограждать бакенами.

При проектировании 2-го пояса следует руководствоваться СНиП II-31–74.

Проект зон санитарной охраны устройств водоснабжения и искусственного пополнения подземных вод согласуется с Госсанинспекцией.

Зоны санитарной охраны проектируют применительно к источникам водоснабжения и приуроченным к ним водоприемным устройствам, а также применительно к устройствам пополнения запасов подземных вод, площадкам водопроводных сооружений и водоводам [5].

7. 2. Зоны санитарной охраны поверхностных водоисточников

Для поверхностных водоисточников предусматривается проектирование 1-го и 2-го поясов санитарной охраны.

Первый пояс охватывает используемый водоем в месте забора из него воды и территорию расположения головных водопроводных сооружений (водоприемник, насосные и очистные станции, резервуары). При расположении отдельных сооружений в нескольких местах, зоны строгого режима устанавливают для каждого сооружения в отдельности. Территорию 1-го пояса ограждают от доступа посторонних лиц и окружают зелеными насаждениями. Границы этого пояса в месте забора воды из открытых водоисточников рекомендуется устанавливать не менее 200 м вверх по реке, 100 м ниже по ее течению, 100 м вглубь прилегающего берега от линии уреза при ГВВ. Эти границы являются ориентировочными. При установлении их следует учитывать гидрологические и топографические условия.

Границы второго пояса зон санитарной охраны охватывают сам водоисточник, питающие его притоки и грунтовые воды, а также соответствующую территорию с ее населенными пунктами, зданиями и сооружениями. Размеры зоны ограничений зависят от характера водоема, направления течения в нем, рельефа местности и направления движения как поверхностного стока, так и потока подземных вод. Обычно зону ограничений по шине определяют границами водосборного для данного водоема бассейна по его водоразделу. Размеры ее устанавливают с учетом гидрологических, гидрогеологических, топографических и санитарных данных.

При проектировании зон санитарной охраны рассчитывают протяженность зоны, ограничений на основе фактической возможности сброса того или иного количества сточных вод, исходя из условий обеспечения их самоочищения. Бактериальное самоочищение воды заканчивается примерно в течение 3–5 суток. Процесс распада органических веществ можно считать практически законченным, если 5-суточная биохимическая потребность воды в кислороде не будет превышать 2 мг/л ($BPK_5 \leq \text{мг/л}$).

Принимая во внимание эти данные и зная скорость движения воды в реке, можно приближенно определить протяженность зоны ограничения. Например, при скорости течения воды в реке $V = 0,3 \text{ м/с}$ и времени, необходимом для завершения процессов бактериального самоочищения $S = V_t = 0,3 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3 = 77760 \text{ м} \approx 78 \text{ км}$. Этот расчет следует обязательно корректировать данными местного санитарного обследования.

При сбросе в реки производственных сточных вод, содержащих вредные вещества, необходимо учитывать возможность их разбавления речной водой до концентрации, при которой можно использовать воду для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Для водохранилищ, создаваемых на малых реках, в границы 2-го пояса включают всю площадь водосбора. При длине чаши водоема более 10 км и полезном объеме более 50 млн. м³ в зону ограничений входят площадь водосбора в пределах 10-суточного дотекания воды выше и 2–2,5 км ниже створа водозабора.

Для защиты поверхностных водоемов от загрязнения в нашей стране издан ряд правительственных постановлений, направленных на ограничение сброса в них загрязнений сточных вод. Этими постановлениями строго регламентированы условия спуска сточных вод в природные водоемы, используемые для питьевого водоснабжения или для культурно-бытовых целей (спорт, отдых, купание и т.д.).

Важным мероприятием по защите поверхностных водоемов от загрязнения и истощения является борьба с эрозией почв, которая осуществляется поведением агротехнических работ по задержанию поверхно-

стного стока. Для закрепления склонов устраивают защитные лесонасаждения. Вырубать леса в верховьях рек и их притоков запрещается.

7. 3. Зоны санитарной охраны подземных водоисточников

Для подземных источников предусматривают также два пояса санитарной охраны. В первый пояс санитарной охраны включается участок водоприемного сооружения, а также связанные с ним насосная станция, установка для обработки воды и резервуар. Границы этого пояса должны отстоять от водозаборных сооружений на расстоянии не менее 30 м при использовании артезианских водоносных горизонтов и на расстоянии не менее 50 м при использовании безнапорных грунтовых вод.

Территория 1-го пояса санитарной охраны должна быть спланирована на возможность отвода поверхностного стока за границы зоны, а также должна быть ограждена (оградой и зелеными насаждениями) и обеспечена постоянным наблюдением.

При размещении отдельных сооружений водопровода в нескольких местах зоны строгого режима устанавливаются для каждого сооружения отдельно.

На территории 1-го пояса санитарной охраны запрещается проживание людей, а также не допускается строительство и размещение зданий, сооружений и устройств, не имеющих непосредственного отношения к эксплуатации водопровода и не подлежащих обязательному размещению на территории этого пояса. Для зоны строгого режима запрещается доступ посторонних людей, содержание скота, а также употребление органических удобрений и ядохимикатов для посадок и посевов. При расположении в непосредственной близости к границам 1-го пояса существующих жилых, производственных или других зданий следует принимать меры по благоустройству их территории, исключающие возможность загрязнения территории 1-го пояса санитарной охраны.

Второй пояс санитарной охраны охватывает территорию, непосредственно окружающую подземный водоисточник. В этой зоне запрещается такое использование территории, которое могло бы вызвать ухудшение качества воды в водоисточнике.

Границы второго пояса устанавливаются в зависимости от местных гидрогеологических условий и характера использования подземного потока. Обычно размер зоны ограничений устанавливают в границах кривой депрессии при наибольшем понижении динамического уровня воды в скважине или другом типе водосбора (горизонтального инфильтрационного). При групповом расположении скважин с расстояниями

между ними до 500–600 м в границы этой зоны включают территорию всего депрессионного поля на площади размещения всех скважин.

При определении границ зоны ограничения подземного водоисточника необходимо руководствоваться в первую очередь санитарными условиями, в которых находятся водозаборные сооружения и водоносный горизонт, а также гидрогеологическими характеристиками – мощностью и составом перекрывающих пород, направлением движения подземных вод, а также депрессией, создаваемой при эксплуатации водосбора. При наличии гидравлической связи водоносного горизонта с открытыми водоемами (река, водохранилище, озеро), часть этих водоемов также следует включать во второй пояс санитарной охраны.

На территории зоны ограничений необходимо осуществлять следующие предупредительные мероприятия: выявлять и тампонировать старые и неработающие скважины; выявлять и ликвидировать имеющиеся водопоглощающие колодцы; благоустраивать расположенные на ней населенные пункты. Этими мероприятиями достигается необходимая защита эксплуатируемого водоносного горизонта от всех возможных загрязнений с поверхности земли.

Вся территория первого пояса санитарной охраны должна находиться в непосредственном ведении водопроводного предприятия, которое обеспечивает на этой территории санитарный режим. Контроль за содержанием зон санитарной охраны осуществляют органы Государственного санитарного надзора.

7. 4. Санитарная защита площадок водопроводных сооружений и водоводов

Водопроводные сооружения – насосные станции, отстойники, фильтры, осветители, запасные и регулирующие резервуары – следует охранять в санитарном отношении. Границы санитарных охранных зон для них устанавливают не менее чем в 30 и в стесненных условиях не менее 10 м от их стен. Расстояния между площадками станций водоочистки и промышленными предприятиями следует принимать в соответствии с требованиями СН 245–71 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

Прокладка водоводов по территориям свалок, полей фильтрации или орошения, кладбищ, животноводческих ферм и скотомогильников запрещена. Санитарными нормами не допускается также пересечение водоводами территорий промышленных предприятий.

По незастроенной территории зону санитарной охраны водоводов следует предусматривать в виде полосы, ширина которой в обе стороны от крайних трубопроводов составляет следующие величины:

в случае отсутствия грунтовых вод или движения их от водоводов при $d \leq 1000$ мм – 10 м; при $d > 1000$ мм – 20 м;

в случае движения грунтовых вод к водоводам – не менее 50 м (независимо от диаметра).

По застроенной территории ширину полосы зоны санитарной охраны водоводов допускается уменьшать до пределов, диктуемых местными условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов Н.Н.* Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 216.
2. *Абрамов Н.Н., Поспелова М.М.* Расчет водопроводных сетей. – М.: Госстройиздат, 1968.
3. *Абрамов Н.Н.* Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. – М.: Стройиздат, 1972.
4. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1974.
5. *Белан А.Е. Хорунжий П.Д.* Проектирование и расчет устройств водоснабжения. – Киев.: Будивельник, 1976.
6. *Ильин Ю.А.* Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат, 1985. – 241 с.
7. *Ильин Ю.А.* Расчет совместной работы насосов водопроводных сетей и резервуаров. – Киев, Госстройиздат УССР, 1963.
8. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. И.А. Назарова. – М., Стройиздат, 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ	5
1.1. Комплексные показатели надежности	8
1.2. Основные понятия и определения надежности (риски) в инженерных системах подачи и распределении жидкости	13
1.3. Специфические особенности режимов работы систем водоснабжения и определение их расчетных параметров	14
2. ПРОЦЕСС ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	17
2.1. Характеристика функций системы водоснабжения и ее основных состояний.....	17
2.2. Методы определения расчетных объемов и режимов водопотребления, предусматриваемые действующими нормативными документами	22
2.3. Виды отказов в системах водоснабжения.....	27
2.4. Влияние отказов на показатели качества функционирования систем водоснабжения.....	29
2.5. Методы получения количественных характеристик надежности природных источников воды.....	35
2.6. Реки в естественном состоянии	36
2.7. Особенности использования для целей водоснабжения рек с зарегулированным стоком	45
2.8. Подземные воды.....	45
2.9. Оценка масштабов загрязнения подземных вод.....	46
2.10. Оценка размеров области загрязнения подземных вод	48
2.11. Особенности структуры систем водоснабжения как объектов резервирования.....	50
2.12. Принципы оптимального резервирования трактов подачи воды объекту	54
2.13. Методы оптимального резервирования системы водоводов (без перемычек)	55

3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	65
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И КУРСОВОГО ПРОЕКТА (РАБОТЫ) ПО ОЦЕНКЕ РИСКА В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ...	67
4.1. Указания по выполнению курсового проекта	68
4.2. Определение суточных и часовых расходов воды	69
4.3. Расходы воды на пожаротушение.....	76
4.4. Наружное пожаротушение	76
5. ВОДОВОДЫ.....	80
5.1. Выбор типа и устройство водовода.....	80
5.2. Гидравлический расчет.....	84
5.3. Выбор метода обработки воды и состава водоочистных сооружений.....	84
6. СКОРЫЕ ФИЛЬТРЫ	88
7. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ.....	96
7.1. Общие положения	96
7.2. Зоны санитарной охраны поверхностных водоисточников	96
7.3. Зоны санитарной охраны подземных водоисточников	98
7.4. Санитарная защита площадок водопроводных сооружений и водоводов	99
ЛИТЕРАТУРА.....	101

Составители:

К. Бозов, Е. Вигерина, Т. Турдубаев, А. Шаназарова

ОЦЕНКА РИСКОВ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ЖИДКОСТЕЙ

Методическое пособие
к выполнению практических занятий,
курсового проекта

Редактор *И.С. Волоскова*
Корректор *В.В. Мокрынина*
Компьютерная верстка – *Ю.Ф. Атаманов*

Подписано в печать 30.11.10. Формат 60х84^{1/16}
Офсетная печать. Объем 6,5 п. л.
Тираж 50 экз. Заказ 4.

Издательство Кыргызско-Российского
Славянского университета
720000, Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2