

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

Калякин А.М., Сауткина Т.Н.

Водоснабжение

Часть 1

Учебное пособие

2008

Введение

При написании учебного пособия ставились две основные цели: а) детально изложить наиболее трудно усвояемые студентами темы; б) подробно

рассмотреть самые необходимые разделы дисциплины «Водоснабжение». Изложен материал, касающийся основ проектирования систем водоснабжения, а также норм и режима водопотребления; приводится достаточное число простых примеров. При написании пособия использованы СНиПы и ГОСТы самых последних выпусков; авторами учтено, что пособие будет использоваться студентами при выполнении курсовой работы по расчёту системы водоснабжения населённого пункта.

Пособие рассчитано также на студентов строительных специальностей, изучающих дисциплину «Водоснабжение и водоотведение». Авторы поставили задачу сделать тему «Надёжность водопроводных сетей» максимально доступной и понятной.

В конце пособия помещены приложения в которых даны основные зависимости из гидравлики, полезные именно при изучении дисциплины «Водоснабжение». Материал этих приложений был тщательно отобран и снабжён примерами. Особое внимание при этом уделялось физическому смыслу явлений.

1. Введение в водоснабжение

1.1 Основные задачи водоснабжения

Среди различных инженерных сетей, таких как сети теплоснабжения, телефонные, канализации и т.д. водоснабжение занимает одно из первых мест. Снабжение населенных пунктов доброкачественной водой в достаточном количестве направлено на повышения уровня жизни людей, благоустройство населенных мест и на развитие промышленности. В любом населенном пункте предусматривается необходимый запас воды для борьбы с пожарами, т.е. для целей пожаротушения. Кроме того, лишь при значительном количестве воды возможна нормальная работа системы водоотведения (канализации).

Структура водопотребления в нашей стране примерно такая:

- производственные нужды – 49%;
- хозяйственно – питьевые нужды – 27%;
- на орошение – 13%;
- сельскохозяйственное водоснабжение – более 1%;
- прочие нужды – около 8%.

Снабжение населения чистой водой имеет важное санитарно-гигиеническое значение, предохраняет людей от всевозможных эпидемических заболеваний.

Для нужд современных городов и промышленных предприятий требуется значительное количество воды, отвечающей по своим качествам запросам потребителей. Это требует тщательного выбора источников водоснабжения, организации охраны их от загрязнений и очистки воды на водопроводных сооружениях.

1.2 Влияние деятельности людей на состояние источников водоснабжения

Хозяйственная деятельность людей оказывает все возрастающее влияние на состояние источников водоснабжения – на количество и качество воды, получаемой из этих источников.

Следует иметь в виду, что природные воды используются не только для водоснабжения, но и в других целях: для орошения, в гидроэнергетике, для водного транспорта и т.д. В любом случае может или осуществляется отбор воды из источника (водоснабжение, орошение), или только использование водоема без отбора воды (гидроэнергетика, водный транспорт, сплав леса). Таким образом, можно различать водопотребителей и водопользователей.

Крупные водопотребители и водопользователи в настоящее время часто не могут удовлетворять свои потребности, используя реки в их естественном состоянии. Например, для целей гидроэнергетики обычно осуществляется регулирование речного стока путем устройства плотин и образования водохранилищ, что дает возможность сезонного регулирования уровня воды. Иногда регулирование необходимо для нормальной работы крупных предприятий, а также для орошения.

Пример 1.1 Такие крупные европейские реки, как Волга, ее притоки, Днепр и т.д. в значительной степени зарегулированы. Например, в бассейне Волги располагаются густонаселенные районы страны с развитой промышленностью и сельским хозяйством. Волга и ее притоки служат источником водоснабжения ряда крупнейших городов (в том числе Москвы) и большого количества промышленных предприятий. Вместе с тем Волга, по сути, превратилась в каскад водохранилищ с рядом крупных гидроэлектростанций.

Недостаток воды местных источников вынуждает использовать удаленные источники – это осуществляется путем строительства каналов или перекачки воды по трубопроводам. Указанные мероприятия не исключают повседневной работы по предотвращению загрязнения окружающей среды – исключение сброса недостаточно очищенных сточных вод городов и промышленных предприятий, предотвращение смыва с сельскохозяйственных полей удобрений, ядохимикатов. Наиболее неблагоприятное влияние на состояние водоемов оказывают сточные воды промышленных предприятий, которые сбрасываются в водоемы без необходимой очистки. Высокая стоимость очистки сточных вод промышленных предприятий задерживает своевременное строительство очистных сооружений производственного водоотведения.

1.3 Источники водоснабжения

Используемые для водоснабжения природные источники делятся на две основные группы:

1. Поверхностные источники – реки, водохранилища, озера;
2. Подземные источники – водоносные пласты, артезианские воды, родники.

Приведем краткий сравнительный анализ качества воды подземных и поверхностных источников. Прежде всего, заметим, что для водоснабжения населенных пунктов и большинства промышленных предприятий наиболее подходящими являются подземные (особенно родниковые и артезианские)

слабоминерализованные воды незначительной мутности, цветности, не содержащие планктона и солей в период паводка.

Поверхностные воды загрязняются через воздушную среду, так как пыль из взвешенного состояния (аэрозоли) осаждается на воду, причем часто с изменением своего состояния.

Температура воды подземных источников отличается постоянством (8 - 12°C). Температура воды поверхностных источников меняется по сезонам года от 0,1°C до 25°C и зависит от поступления подземных вод в водоем, а также сбросов сточных вод. Оптимальная температура воды для хозяйственно – питьевого водоснабжения равна 7 - 11°C.

Характерными особенностями качества речной воды являются высокое содержание мелких твердых частиц (мути) - (особенно в период паводков), высокое содержание органических веществ, бактерий, часто значительная цветность воды. Цветность воды (окраска) обусловлена присутствием в воде гумусовых и дубильных веществ, белково - и углеводородных соединений, входящих в состав живых и растительных организмов, населяющих воду, являющихся продуктами их жизнедеятельности или распада. Обычно в речной воде содержится мало солей.

Вода озер и водохранилищ отличается малым содержанием взвешенных веществ, значительной цветностью, большой окисляемостью, присутствием планктона в летнее время.

Подземные воды, как правило, почти не содержат взвешенных веществ и обычно бесцветны. В них нет органических веществ и бактерий, но они часто сильно минерализованы, имеют повышенную жесткость, значительное содержание железа.

Из сравнения качества воды природных источников с основными требованиями потребителей можно сделать вывод, что для водоснабжения населенных пунктов наиболее подходят подземные воды, если они не сильно минерализованы.

Действительно, для водоснабжения большинства малых и значительной части средних по размерам населенных пунктов используют подземные источники.

Для водоснабжения крупных городов полностью или в значительной степени используют воды поверхностных источников.

Промышленные предприятия в отдельных случаях могут использовать воду поверхностных источников без ее очистки. В настоящее время водоснабжение некоторых крупных промышленных предприятий основано на использовании морской воды, которая применяется в производственном водоснабжении для охлаждения.

2. Системы и схемы водоснабжения

2.1 Системы водоснабжения

Система водоснабжения – это комплекс инженерных сооружений, предназначенных для забора воды из источника водоснабжения, ее очистки, хранения и подачи потребителям.

Системы водоснабжения часто классифицируют по следующим признакам.

По **назначению** системы водоснабжения делят на

- **хозяйственно-питьевые**, предназначенные для подачи воды на хозяйственные и питьевые нужды населения и работников предприятий;
- **производственные**, снабжающие водой предприятия и цеха;
- **противопожарные**, обеспечивающие подачу воды для тушения пожаров.

По **виду обслуживаемого объекта** системы делят на **городские, поселковые, промышленные, сельскохозяйственные, железнодорожные** и т.д.

По **способу подачи воды** различают

- **самотечные водопроводы** (гравитационные);
- **водопроводы с механической подачей воды** (с помощью насосов).

По **виду используемых природных источников** различают водопроводы, забирающие воду из

- **поверхностных источников** – рек, водохранилищ, озер, морей,
- **подземных источников.**

Есть также водопроводы смешанного питания. Часто устраивают объединенные системы водоснабжения: хозяйственно – противопожарные, производственно – хозяйственные – противопожарные. Так, например, в городах и крупных поселках обычно устраивают единый хозяйственно – противопожарный водопровод. На некоторых промышленных предприятиях устраивают специальные противопожарные водопроводы.

Пример 2.1 Саратовский водопровод может быть отнесен к городскому производственно – хозяйственному – противопожарному водопроводу с механической подачей воды с забором ее из поверхностного источника.

2.2 Схемы водоснабжения населенных пунктов

Схема водоснабжения населенного пункта зависит от многих факторов, главным из которых является вид источника водоснабжения.

Схемой водоснабжения называется совокупность сооружений, расположенных в определенном порядке и осуществляющих снабжение потребителя водой заданного качества.

Рассмотрим вначале схему водоснабжения от поверхностного источника.

На рис 2.1 приведена наиболее общая схема водоснабжения населенного пункта с забором воды из реки или водохранилища. Вода из источника через самотечную трубу 1 поступает в приемное отделение, а затем в насосное отделение водозаборного сооружения 2, из которого насосами станции I подъема 3 подается на сооружения для очистки и обработки воды 4. Затем очищенная вода поступает в резервуары чистой воды 5, откуда забирается насосами станции II подъема 6 для подачи по магистральным трубопроводам 7 и распределительным водоводам 8 в населенный пункт. Все сооружения сообщаются между собой водоводами 9. На территории населенного пункта (обычно на возвышенности) строится водонапорная башня 10, которая, как и

резервуары чистой воды, служит для хранения и накопления запасов воды. Расход воды из водопроводной сети (водопотребление) сильно колеблется в течение суток, в то время как подача воды насосами станции II подъема относительно равномерна. В те часы суток, когда насосы подают в водопроводную сеть воды больше, чем ее расходуется, излишек поступает в водонапорную башню; в часы максимального водопотребления, когда расход, подаваемый насосами, недостаточен, используется вода из башни. Водонапорная башня, расположенная в противоположном от насосной станции конце города, называется *контррезервуаром*. При наличии вблизи населенного места значительного естественного возвышения вместо водонапорной башни строят *наземный водонапорный резервуар*.

Пример 2.2 В Саратовской городской сети водоснабжения нет единой водонапорной башни и вода из резервуаров чистой воды, находящихся на значительном возвышении подается в городскую сеть и в районные насосные станции.

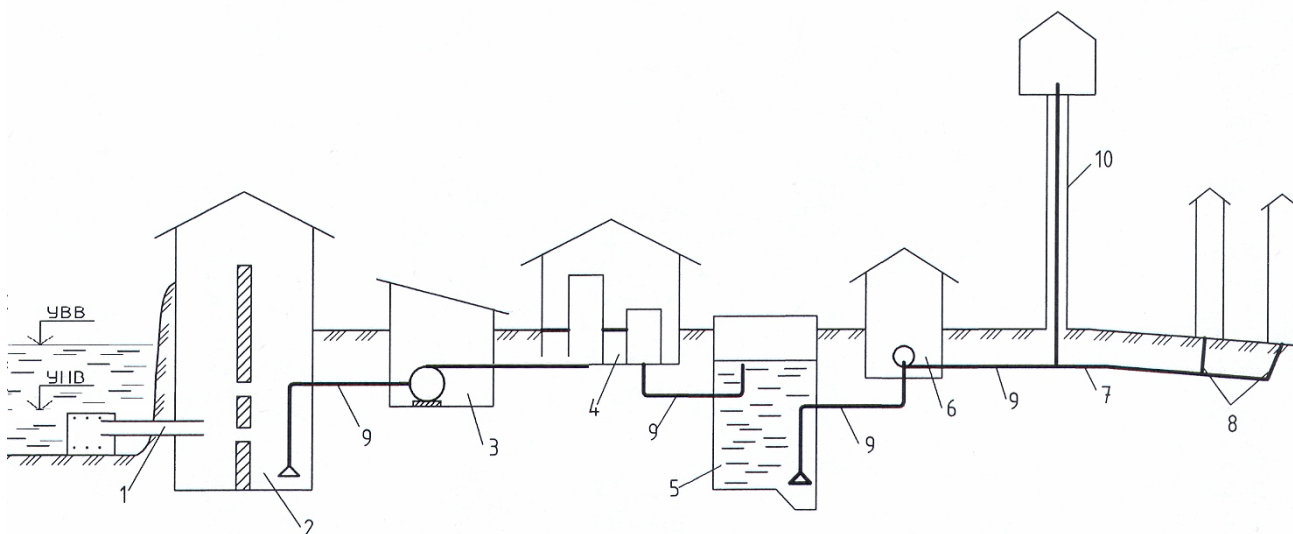


Рис. 2.1

Поясним подробнее назначение каждого из элементов схемы.

Водозаборное сооружение может быть не обязательно такого типа, как показано на схеме. Единственное обязательное условие для него – контакт с природной водой и возможность поступления воды в насосную сеть. Задачей насосной станции I подъема является создание напора для подачи воды на очистные сооружения, причем часто водозаборное сооружение совмещается с насосной станцией первого подъема. Очистные сооружения могут состоять из разных элементов, например, из отстойников, фильтров, контактных осветлителей и многих других. Как правило, в большинстве схем присутствуют резервуары чистой воды, если только они не совмещены с водонапорной башней.

При использовании в качестве источника водоснабжения подземных вод схема водоснабжения значительно упрощается. В этом случае очистные сооружения обычно не нужны, т.к. подземные воды не требуют очистки. В некоторых случаях не устраивают также резервуаров чистой воды и насосной станции II подъема, т.к. вода может подаваться в сеть насосами, установленными в буровых скважинах.

На рис 2.2 представлена самая общая схема снабжения населенного пункта подземными водами.

Вода забирается из водоносного горизонта 1 погружным электронасосом 2, опущенным в водозаборную скважину 3; далее вода подается на водоочистную станцию 4 и затем в резервуар чистой воды 5. Насосная станция II подъема 6 создает напор и перекачивает чистую воду в водонапорную башню 7 и затем в город через магистральные трубопроводы 8 и распределительную городскую сеть 9. В данном случае присутствуют почти все сооружения, обычно работающие в системах забора воды из поверхностных источников.

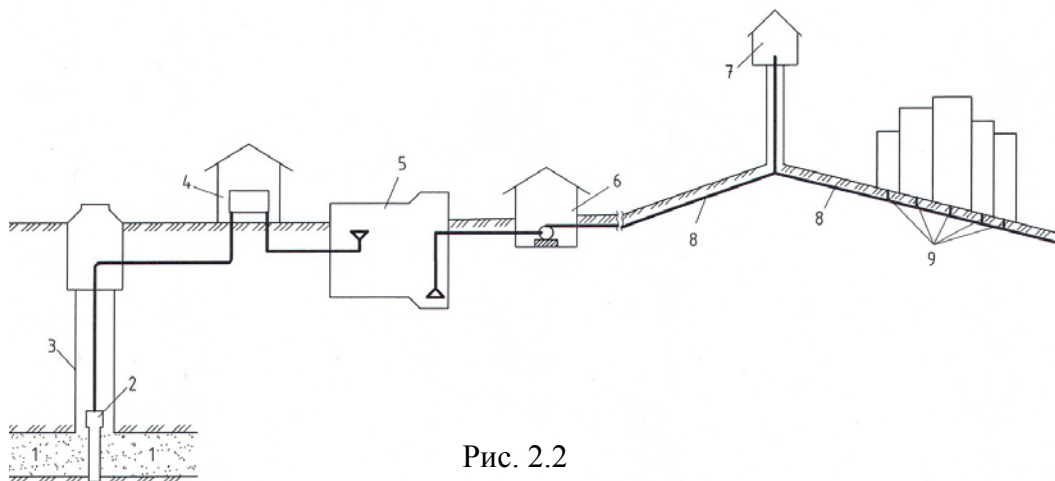


Рис. 2.2

На рис. 2.3 представлена схема снабжения населенного пункта подземными водами, надежно защищенными от загрязнения. В данном случае артезианские скважины 1 расположены отдельными группами. Насосы I подъема находятся в самих колодцах и могут подавать воду непосредственно в сеть. Иногда в такой системе водоснабжения вода из скважин подается сначала в сборный резервуар 2, который служит регулирующей и запасной емкостью, и оттуда перекачивается насосами станции II подъема 3 в сеть.

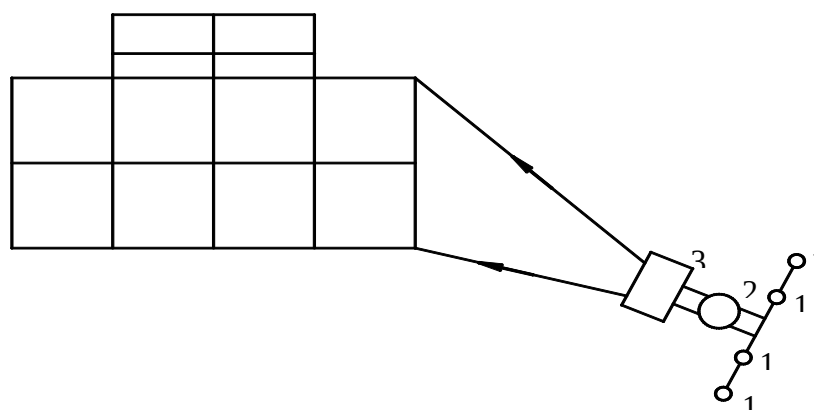


Рис. 2.3

Если населенный пункт снабжается водой из двух или более источников, то система называется с *двухсторонним или многосторонним питанием*.

При расположении источников водоснабжения на значительной высоте по отношению к населенному пункту, когда возможна подача воды из источника без помощи насосов – самотеком, устраивают гравитационный водопровод.

Последовательность расположения отдельных сооружений системы водоснабжения и их состав могут быть различными в зависимости от назначения, местных природных условий, требований водопотребителя или исходя из экономических соображений. Так, например, регулирующая емкость может быть расположена в различных точках территории объекта в зависимости от сочетания планировки объекта и рельефа данной местности. Если очистные сооружения и резервуары чистой воды расположены на достаточно высоких отметках местности, очищенная вода может подаваться потребителю по водоводам самотеком, т.е. надобность в насосной станции II подъема отпадает. При использовании подземных артезианских вод, не нуждающихся в очистке, система водоснабжения объекта упрощается за счет исключения очистных сооружений, как, например, на рис. 2.3.

Для правильного выбора системы и источника водоснабжения необходимо иметь данные о водопотреблении, знать требования, предъявляемые к качеству воды, иметь сведения о напоре, под которым она должна подаваться потребителю, знать характеристику имеющихся природных водоисточников в районе проектирования. В значительной степени тип системы водоснабжения зависит от выбранного водоисточника: поверхностный или подземный, его мощности, качества воды, расстояния, на которое он удален от водопотребителя.

Пример 2.3 В г. Марксе Саратовской области, стоящем на берегу Волги, источником хозяйственно – питьевого водоснабжения служат водоносные пласты, а в г. Красноармейске вода для хозяйственно – питьевых нужд забирается из р. Волги и по трубам длиной ≈ 25 км подается к очистным сооружениям.

2.3 Схемы водоснабжения промышленных предприятий

Промышленные предприятия, отличающиеся значительным разнообразием технологических операций, потребляющие для отдельных процессов воду различного качества, требующие подачи ее под различными напорами, имеют сложные схемы водоснабжения. Промышленные предприятия, расположенные на территории современного города, обычно получают хозяйственно – питьевую воду непосредственно из городского водопровода.

Водоснабжение промышленных предприятий может быть прямоточным, с последовательным использованием воды и оборотным.

В прямоточных системах водоснабжения промышленных предприятий, рис 2.4.а, вода обычно входит в состав выпускаемого продукта или сильно изменяет свой состав, в связи, с чем ее повторное использование нецелесообразно. В этом случае она сбрасывается в городскую канализацию или проходит перед этим предварительную очистку. Например, использование воды в пунктах мойки автомобилей.

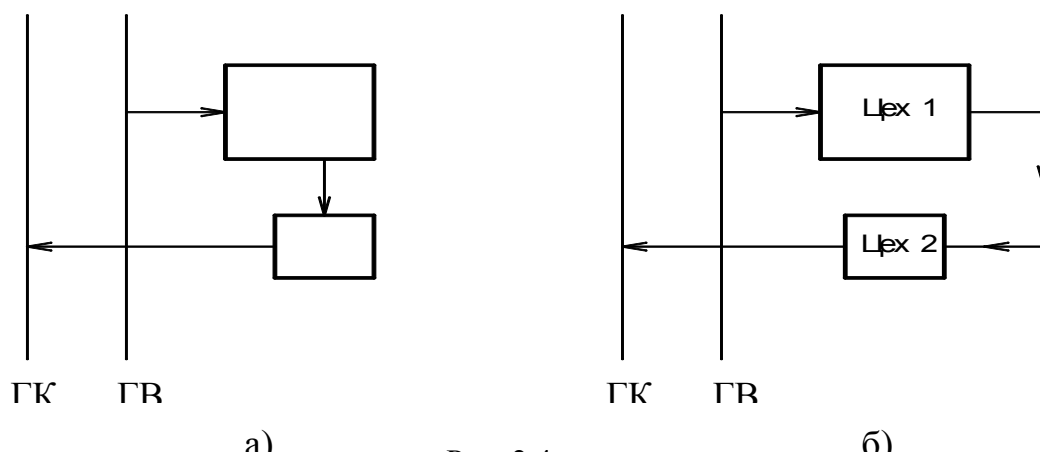


Рис. 2.4

В системах повторного использования вода, сбрасываемая одним из потребителей (цех №1) рис. 2.4.б может быть использована другим потребителем (цех №2), что позволяет уменьшить количество воды, забираемой из сети водоснабжения. Например, в цехе №1 вода используется для охлаждения и температура ее при этом повышается; в цехе №2 она может использоваться для промывки деталей и, имея повышенную температуру, весьма успешно выполняет функции растворителя загрязнений.

В оборотных системах водоснабжения рис 2.5 вода может применяться в основном для охлаждения, и в целях экономии ее используют повторно (т.е. она совершает оборот).

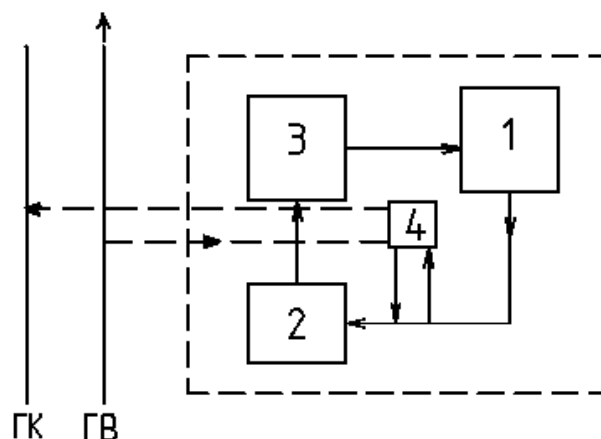


Рис 2.5

Например, вода охлаждает что-то в теплообменнике 1 рис. 2.5, ее температура повышается; насосами 2 она подается в градирню 3, где тепло отбирается воздухом и затем вода вновь подается в теплообменник. В блоке 4 происходит дополнительная очистка воды, добавление свежей (из-за утечек в системе и при испарении в градирне), а также промывка некоторых агрегатов. Из сети водоснабжения подается только 3-5% общего количества используемой воды для восполнения потерь при ее обороте.

3. Нормы и режим водопотребления

При проектировании и модернизации систем водоснабжения любого объекта основной задачей является определение общей потребности в воде, расходуемой на те или иные нужды данного объекта. Для решения этой задачи, в первую очередь, необходимо учесть все категории возможных потребителей и установить их требования к количеству и качеству подаваемой им воды.

3.1 Нормы водопотребления

Нормой водопотребления называется количество воды, расходуемой на определённые нужды в единицу времени или на единицу вырабатываемой продукции.

Вода, расходуется потребителями на различные нужды и требования к количеству и качеству воды зависит от категории, к которой относится водопотребитель. Основными категориями потребителей вода расходуется на:

- хозяйственно питьевые нужды (в том числе на хозяйственно-питьевые нужды рабочих и служащих во время их пребывания на производстве);
- благоустройство;
- производственные нужды;
- нужды пожаротушения.

Основной вид использования воды в сельском хозяйстве – на орошение – является отдельной отраслью сельского хозяйства и не охватывается понятием «водоснабжение».

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления. Расход на хозяйственно-питьевые нужды населения, обуславливается бытом людей (питьё, приготовление пищи, личная гигиена, гигиена жилища и т. п.). В населённых пунктах нормы хозяйственно-питьевого водоснабжения назначают по СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение, наружные сети и сооружения» в зависимости от степени благоустройства районов жилой застройки и климатических условий. Расчётные среднесуточные расходы на хозяйственно-питьевые нужды на одного жителя приведены в таблице 3.1.

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления

Таблица 3.1

Степень благоустройства районов жилой застройки	Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в населённых пунктах на одного жителя среднесуточное (за год), л/сут
Застройка зданиями, оборудованными водопроводом и канализацией:	
без ванн	125 – 160
с ванными и местными водонагревателями	160 – 230
с централизованным горячим водоснабжением	230 – 350
Примечания: 1. Для районов застройки зданиями с водопользованием из водоразборных колонок	

удельное среднесуточное (за год) водопотребление на одного жителя следует принимать 30 – 50 л/сут.

2. Удельное водопотребление включает расходы воды на хозяйственно-питьевые и бытовые нужды в общественных зданиях (по классификации, принятой в СНиП 2.08.02-89*), за исключением расходов воды для домов отдыха, санитарно-туристических комплексов и пионерских лагерей, которые должны приниматься согласно СНиП 2.04.01-85 и технологическим данным.

3. Выбор удельного водопотребления в пределах, указанных в табл. 1, должен производиться в зависимости от климатических условий, мощности источника водоснабжения и качества воды, степени благоустройства, этажности застройки и местных условий.

4. Количество воды на нужды промышленности, обеспечивающей население продуктами, и неучтённые расходы при соответствующем обосновании допускается принимать дополнительно в размере 10 – 20% суммарного расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды населённого пункта.

5. Для районов (микрорайонов), застроенных зданиями с централизованным горячим водоснабжением, следует принимать непосредственный отбор горячей воды из тепловой сети в среднем за сутки 40% общего расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды и в час максимального водозабора – 55% этого расхода. При смешанной застройке следует исходить из численности населения, проживающего в указанных зданиях.

6. Удельное водопотребление в населённых пунктах с числом жителей свыше 1 млн. чел. допускается увеличивать при обосновании в каждом отдельном случае и согласовании с органами Государственного надзора.

В таблице 3.1 приведены значения среднего количества расхода воды в сутки усреднённого за год (365 дней). Значение расчётного удельного водопотребления из указанного в таблице интервала зависит от климатических условий, времени года, дня недели и пр.

Приведённые в данной таблице нормы водопотребления включают расходы воды на бытовые нужды в общественных зданиях и коммунально-бытовых и производственных предприятиях. На производственных предприятиях вода расходуется рабочими и служащими на хозяйственно-питьевые нужды и для душей. Расходы воды на хозяйственно-питьевые цели рабочими во время их пребывания на производстве для цехов со значительным тепловыделением (более 80 кДж на 1 м³) принимают 45 л, для остальных цехов 25 л на каждого рабочего в смену. При этом коэффициенты часовой неравномерности водопотребления следует принимать 2,5 и 3 соответственно. Кроме того, на производствах, связанных с загрязнением тела или требующих особого санитарного режима, должен быть предусмотрен расход воды в душевых из расчёта 500 л/ч на одну душевую сетку в течение 45 мин.

Количество душевых сеток определяют следующим образом:

- для цехов с производственными процессами, не вызывающими загрязнения одежды и рук – 1 душевая сетка на 15 человек;
- то же, вызывающими указанное загрязнение – 1 душевая сетка на 7 человек;
- для производств с применением воды и выделением значительного количества пыли – 1 душевая сетка на 5 человек;
- то же, с выделением особо загрязняющих веществ – 1 душевая сетка на 3 человека.

Нормы водопотребления на благоустройство. Расход воды на благоустройство включает поливку проезжей части улиц и тротуаров, зелёных насаждений, обводнение городских водоёмов и обмен воды в бассейнах и пр. Рекомендуемые расходы воды на благоустройство приведены в СНиП 2.04.02 – 84* «Водоснабжение, наружные сети и сооружения» (таблица 3.2).

Таблица 3.2

Назначение воды	Измеритель	Расход воды на поливку, 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 тротуаров и проездов	То же	0,4-0,5
Поливка городских зелёных насаждений	«	3-4
Поливка газонов и цветников	«	4-6
Поливка посадок в грунтовых зимних теплицах	1 сут	15
Поливка посадок в стеллажных зимних и грунтовых весенних теплицах, парниках всех типов, утеплённом грунте	То же	6
Поливка посадок на приусадебных участках:		
овощных культур	«	3-15
плодовых деревьев	«	10-15
Примечания: 1. При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства (зелёные насаждения, проезды и т. п.) удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку в расчёте на одного жителя следует принимать 50 – 90 л/сут в зависимости от климатических условий, мощности источника водоснабжения, степени благоустройства населённых пунктов и других местных условий. 2. Количество поливок надлежит принимать 1 – 2 в сутки в зависимости от климатических условий.		

Нормы водопотребления на технологические нужды производства.

Расходы воды на производственные нужды промышленных предприятий зависят от характера и объёма производства, а также от технологических процессов производства. Основными видами использования воды различными предприятиями промышленности являются: парообразование, конденсация пара, приготовление различных фабрикатов, промывка продукции и используемых материалов, охлаждение производственных установок и т. п. Наиболее крупными производственными потребителями воды являются теплосиловые станции, металлургические и нефтеперерабатывающие предприятия, использующие воду для охлаждения (конденсация пара, охлаждение производственных агрегатов).

Расходы воды на нужды промышленных предприятий зависят от характера и объёма производства, состава исходного сырья и получаемого продукта, роли воды в технологических процессах, схемы водоснабжения и повторного использования воды. Для ориентировочных расчётов потребления воды на производственные нужды используют нормы, разработанные технологами соответствующих производств, полученные на основании опыта эксплуатации объекта с учётом принятой технологии. Нормы производственного водопотребления представляют собой расход воды для тех или иных нужд отнесённый на единицу продукции промышленного предприятия.

К этой же категории необходимо отнести расход воды для заводнения нефтяных пластов и пылевыведения в шахтах, где требуется значительное количество воды питьевого качества.

Нормы водопотребления на пожаротушение. В настоящее время пожаротушение осуществляют подачей воды из пожарных гидрантов, размещаемых на наружной водораспределительной сети хозяйственно-питьевого (производственного) объединённого с противопожарным водопровода, а для внутреннего пожаротушения используют пожарные краны, устанавливаемые на сети внутреннего водопровода. Расход воды на нужды пожаротушения определяется в соответствии с нормами, регламентируемыми СНиП 2.04.02 – 84* «Водоснабжение, наружные сети и сооружения»

Примечания*: 1. Допускается принимать наружное противопожарное водоснабжение из ёмкостей (резервуаров, водоёмов) с учётом требований для:

- населённых пунктов с числом жителей до 5 тыс. чел.;
- отдельно стоящих общественных зданий объёмом до 1000 м³, расположенных в населённых пунктах, не имеющих кольцевого противопожарного водопровода;
- зданий объёмом свыше 1000 м³ – по согласованию с территориальными органами Государственного пожарного надзора;
- производственных зданий с производствами категорий В, Г и Д при расходе воды на наружное пожаротушение 10 л/с;
- складов грубых кормов объёмом до 1000 м³;
- складов минеральных удобрений объёмом зданий до 5000 м³;
- зданий радиотелевизионных передающих станций;
- зданий холодильников и хранилищ овощей и фруктов.

2. Допускается не предусматривать противопожарное водоснабжение:

населённых пунктов с числом жителей до 50 чел. при застройке зданиями высотой до двух этажей;

отдельно стоящих, расположенных вне населённых пунктов, предприятий общественного питания (столовые, закусочные, кафе и т. п.) при объёме зданий до 1000 м³ и предприятий торговли при площади до 150 м² (за исключением промтоварных магазинов), а также общественных зданий I и II степеней огнестойкости объёмом до 250 м³, расположенных в населённых пунктах;

производственных зданий I и II степеней огнестойкости объёмом до 1000 м³ (за исключением зданий с металлическими незащищёнными или деревянными несущими конструкциями, а также с полимерным утеплителем объёмом до 250 м³) с производствами категории Д;

заводов по изготовлению железобетонных изделий и товарного бетона со зданиями I и II степеней огнестойкости, размещаемых в населённых пунктах, оборудованных сетями водопровода при условии размещения гидрантов на расстоянии не более 200 м от наиболее удалённого здания завода;

сезонных универсальных приёмозаготовительных пунктов сельскохозяйственных продуктов при объёме зданий до 1000 м³;

зданий складов сгораемых материалов и негораемых материалов в сгораемой упаковке площадью до 50 м².

Расход воды на наружное пожаротушение (на один пожар) и количество одновременных пожаров в населённом пункте для расчёта магистральных линий водопроводной сети должны приниматься по таблице 3.3.

Таблица 3.3

Число жителей в населённом пункте, тыс. чел			Расчётное количество одновременных пожаров	Расход воды на наружное пожаротушение в населённом пункте на один пожар, л/с	
				застройка зданиями высотой до двух этажей включительно не зависимо от степени их огнестойкости	застройка зданиями высотой три этажа и выше независимо от степени их огнестойкости
Св.	До	1	1	5	10
1	«	5	1	10	10
«	5	«	1	10	15
«	10	«	2	10	15
«	25	«	2	20	25
«	50	«	2	25	35
«	100	«	3	-	40
«	200	«	3	-	55
«	300	«	3	-	70
«	400	«	3	-	80
«	500	«	3	-	85
«	600	«	3	-	90
«	700	«	3	-	95
«	800	«	3	-	100
Примечания: 1. Расход воды на наружное пожаротушение в населённом пункте должен быть не менее расхода воды на пожаротушение жилых и общественных зданий, указанных в табл. 3.4. 2. При зонном водоснабжении расход воды на наружное пожаротушение и количество одновременных пожаров в каждой зоне следует принимать в зависимости от числа жителей, проживающих в зоне. 3. Количество одновременных пожаров и расход воды на один пожар в населённых пунктах с числом жителей более 1 млн. чел. надлежит принимать согласно требованиям органов Государственного пожарного надзора. 4. Для группового водопровода количество одновременных пожаров надлежит принимать в зависимости от общей численности жителей в населённых пунктах, подключённых к водопроводу. Расход воды на восстановление пожарного объёма по групповому водопроводу следует определять как сумму расходов воды для населённых пунктов (соответственно количеству одновременных пожаров), требующих наибольших расходов на пожаротушение. 5. В расчётное количество одновременных пожаров в населённом пункте включены пожары на промышленных предприятиях, расположенных в пределах населённого пункта. При этом в расчётный расход воды следует включать соответствующие расходы воды на пожаротушение на этих предприятиях, но не менее указанных в табл. 3.3.					

Расход воды на наружное пожаротушение (на один пожар) жилых и общественных зданий для расчёта соединительных и распределительных линий водопроводной сети, а также водопроводной сети внутри микрорайона или квартала следует принимать для здания, требующего наибольшего расхода воды по таблице 3.4.

Таблица 3.4

Назначение зданий	Расход воды на один пожар, л/с, на наружное пожаротушение жилых и общественных зданий независимо от их степени огнестойкости при объёмах зданий, тыс. м ³				
	до 1	св. 1 до 5	св. 5 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 150
Жилые здания одноквартирные и многоквартирные при количестве этажей:	10*	10	-	-	-
до 2	10	15	15	20	-
св. 2 « 12	-	-	20	25	-
« 12 « 16	-	-	-	25	30
« 16 « 25					
Общественные здания при количестве этажей:	10*	10	15	-	-
до 2	10	15	20	25	30
св. 2 « 6	-	-	25	30	35
« 6 « 12	-	-	-	30	35
« 12 « 16					

* Для сельских населённых пунктов расход воды на один пожар – 5 л/с.

Примечание. Расходы воды на наружное пожаротушение зданий высотой или объёмом свыше указанных в табл. 3.4, а также общественных зданий объёмом свыше 25 тыс. м³ с большим скоплением людей (зрелищные предприятия, торговые центры, универмаги и др.) надлежит принимать и согласовывать в установленном порядке.

Расход воды для пожаротушения на промышленных предприятиях определяют в зависимости от характера производства и степени огнестойкости производственных зданий (СНиП 2.04.02 – 84* «Водоснабжение, наружные сети и сооружения», стр. 6, таблица 7, 8).

3.2 Определение расчётных суточных расходов водопотребления населённых пунктов

Приведённые в нормах средние значения водопотребления на одного жителя позволяют определить общие средние суточные расходы воды $Q_{ср.сут}$, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды города или посёлка в целом

$$Q_{ср.сут} = \frac{\sum q_{жс} \cdot N_{жс}}{1000}, \quad (3.1)$$

где $q_{жс}$ – удельное водопотребление, л/сут, принимаемое по таблице 3.1;

$N_{жс}$ – расчётное число жителей, чел;

1000 – коэффициент необходимый для перевода л/сут в м³/сут.

Полученный по формуле (3.1) средний суточный расход воды населённым пунктом является общим показателем его потребности в воде. В

действительности суточный расход воды в городских водопроводах изменяется в отдельные сутки в зависимости от времени года, дней недели, погоды и пр. Очевидно, что системы городского водоснабжения должны обеспечивать потребности населения в воде в любые сутки, включая сутки наибольшего водопотребления.

Анализ неравномерности водопотребления в течение суток в действующих городских водопроводах позволяет выявить значения фактических коэффициентов неравномерности водопотребления $K_{сут}$.

Расчётные расходы воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления $Q_{сут.max}$ и $Q_{сут.min}$, м³/сут, определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{сут.max} &= K_{сут.max} \cdot Q_{ср.сут} \\ Q_{сут.min} &= K_{сут.min} \cdot Q_{ср.сут} \end{aligned} \quad (3.2)$$

где $K_{сут}$ – коэффициент суточной неравномерности водопотребления, учитывающий уклад жизни населения, степень благоустройства зданий, изменение водопотребления по сезонам года и дням недели. СНиП 2.04.02 – 84* «Водоснабжение, наружные сети и сооружения» рекомендует принимать следующие значения коэффициенты суточной неравномерности водопотребления:

$$K_{сут.max} = 1,1 \dots 1,3; \quad K_{сут.min} = 0,7 \dots 0,9$$

Следует помнить, что расчётные суточные расходы $Q_{сут.max}$ и $Q_{сут.min}$ должны быть определены для условий работы системы водоснабжения в последний год запланированного периода её эксплуатации до очередного расширения.

Расчётный суточный расход воды на поливку улиц и зелёных насаждений $Q_{пол}$, м³/сут, определяется в зависимости от размеров поливных площадей, покрытия территории, способа её полива, вида насаждений, климатических и других местных условий:

$$Q_{пол} = \sum (q_{пол} \cdot \omega_{пол}) \quad (3.3)$$

где $q_{пол}$ – расход воды на поливку территории, л/м², принимаемый по таблице 3.2;

$\omega_{пол}$ – размер поливной площади, м².

Значения $q_{пол}$ и $\omega_{пол}$ могут быть различны в отдельных районах одного и того же города, а суточный расход $Q_{пол}$ будет иметь максимальное значение летом.

Расчётный суточный расход на хозяйственно-бытовые нужды $Q_{х/б.раб}$, м³/сут, и пользование душами $Q_{душ.раб}$, м³/сут, рабочих промышленных предприятий определяются согласно требованиям СНиП 2.04.01 – 85 и СНиП 2.09.02 – 85.

Считают, что расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих на производстве, а также расход воды на приём душ в течение года не изменяется, т. е. коэффициент суточной неравномерности водопотребления принимают равным 1.

Расход воды на производственные нужды промышленных предприятий $Q_{пр}$, м³/сут принимается на основании технологических данных. Для предварительных расчётов водопотребления на производственные нужды могут

использоваться удельные нормы расхода воды на единицу продукции в различных промышленных предприятиях, полученные из опыта эксплуатации.

Суммируя все вышеперечисленные расходы воды можно определить полный максимальный суточный расход воды, $Q_{\max}$, м³/сут, в городе

$$Q_{\max} = Q_{\text{ср.сут}} + Q_{\text{пол}} + \sum Q_{\text{х/б. раб}} + \sum Q_{\text{душ. раб}} + \sum Q_{\text{пр}} \quad (3.4)$$

3.3 Режим водопотребления

Размеры основных сооружений водопроводной сети, число и мощность насосов, объём резервуаров, высоту и вместительность водонапорных башен, диаметры труб выбирают путём расчёта этих элементов в соответствии с:

1. количеством подаваемой воды;
2. намеченным режимом работы.

Основным фактором, определяющим режим работы всех элементов системы водоснабжения, является режим расходования воды потребителями, которых эта система обслуживает.

Режим водопотребления характеризуется неравномерностью и зависит от многих обстоятельств, часто субъективных и прогнозировать точно, сколько необходимо подать воды потребителю в данный момент времени практически невозможно.

Тем не менее, заранее необходимо представлять хотя бы приближённо режим водопотребления, так как предполагаемые графики режима водопотребления кладутся в основу расчёта водопроводных сетей и сооружений и определяют стоимость системы и расходы на её эксплуатацию.

Сложнее всего прогнозировать режим водопотребления при проектировании водопроводов населённых пунктов на хозяйственно-питьевые нужды. Он зависит как от быта и труда людей, так и от санитарно-технического оборудования жилых зданий, графиков работы учреждений и предприятий, меняется в зависимости от смены сезонов года и погоды.

Таким образом при проектировании нового водопровода или реконструкции существующего при расчёте принимается график водопотребления, фактически наблюдаемого в городе, наиболее близко подходящем к данному по району расположения, числу жителей, степени развития промышленности и т. п.

Наибольший и наименьший расчётные часовые расходы воды ($Q_{\max}$ и $Q_{\min}$) в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды населения могут быть получены из следующих формул:

для суток наибольшего водопотребления максимальный часовой расход равен:

$$q_{\text{ч. max}} = K_{\text{ч. max}} \frac{Q_{\text{сут. max}}}{24} \quad (3.5)$$

для суток наибольшего водопотребления минимальный часовой расход равен:

$$q_{\text{ч. min}} = K_{\text{ч. min}} \frac{Q_{\text{сут. min}}}{24} \quad (3.6)$$

где $K_{ч. \max}$ и $K_{ч. \min}$ – коэффициенты часовой неравномерности водопотребления в течение суток.

Значения коэффициентов $K_{ч. \max}$ и $K_{ч. \min}$ определяются из выражений:

$$K_{ч. \max} = \alpha_{\max} \cdot \beta_{\max} \quad (3.7)$$

$$K_{ч. \min} = \alpha_{\min} \cdot \beta_{\min} \quad (3.8)$$

где α – коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия, принимаемый $\alpha_{\max} = 1,2 \dots 1,4$; $\alpha_{\min} = 0,4 \dots 0,6$;

β – коэффициент, учитывающий число жителей в населённом пункте, принимаемый по таблице 3.5.

С помощью приведённых формул и значений коэффициентов неравномерности водопотребления в пределах суток возможно определить для проектируемой системы величины часовых расходов воды ($Q_{\max}$ и $Q_{\min}$) на хозяйственно-питьевые нужды населения. К этим расходам должны быть добавлены расходы воды на поливку городских зелёных насаждений. Кроме того, к перечисленным расходам прибавляются расходы на хозяйственно-питьевые нужды на предприятиях и расходы на технологические нужды. Коэффициент, учитывающий число жителей в населённом пункте, принимается по таблице 3.5.

Таблица 3.5

Коэффициент	Число жителей, тыс. чел								
	1,5	2,5	4	6	10	20	30	100	300
$\beta_{\max}$	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05
$\beta_{\min}$	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85

Примечания: 1. Коэффициент β при определении расходов воды для расчёта сооружений, водоводов и линий сети следует принимать в зависимости от числа обслуживаемых ими жителей, а при зонном водоснабжении – от числа жителей в каждой зоне.

2. Коэффициент $\beta_{\max}$ следует принимать при определении напоров на выходе из насосных станций или высотного положения башни (напорных резервуаров), необходимого для обеспечения требуемых свободных напоров в сети в периоды максимального водоотбора в сутки максимального водопотребления, а коэффициент $\beta_{\min}$ – при определении излишних напоров в сети в периоды минимального водоотбора.

Указанным образом могут быть получены только предельные расчётные часовые расходы для суток наибольшего и наименьшего водопотребления – $Q_{\max}$ и $Q_{\min}$, но для выбора наиболее экономичного режима работы отдельных сооружений водопроводной сети необходимо иметь полную картину отбора воды потребителям в течение суток. Анализ графиков, полученных для населённых пунктов, близких по условиям климата, численности населения, степени благоустройства к тому населённому пункту, для которого проектируется система водоснабжения, позволяет выбрать для него расчётную модель водопотребления в течение суток.

Расчетные графики расходования воды по часам разбиты на часовые интервалы и представляют ступенчатые диаграммы; соответственно этому расход воды в пределах каждого часа считается постоянным. Несмотря на требования подавать воду согласно суточному графику водопотребления, основные водопроводные сооружения обладают гибкостью и резервами производительности, т.е. возможностью изменять количество подаваемой воды в необходимых пределах.

При проектировании водопроводных сетей используются несколько типичных расчетных моделей для различных значений $a_{\max}$; каждая из этих моделей отражает некоторую степень неравномерности водопотребления в течение суток. Основу расчета для каждой модели представляет таблица в которой на каждый из 24 часов суток указано количество потребления воды в процентах от всего количества воды за сутки. Пример такой таблицы – таблица 3.6.

Таблица 3.6

Часы суток	Часовой расход, %от суточного при $a=1,25$	Часы суток	Часовой расход, %от суточного при $a=1,25$
0 – 1	3,35	12 – 13	4,6
1 – 2	3,25	13 – 14	4,55
2 – 3	3,3	14 – 15	4,75
3 – 4	3,2	15 – 16	4,7
4 – 5	3,25	16 – 17	4,65
5 – 6	3,4	17 – 18	4,35
6 – 7	3,85	18 – 19	4,4
7 – 8	4,45	19 – 20	4,3
8 – 9	5,2	20 – 21	4,3
9 – 10	5,05	21 – 22	4,2
10 – 11	4,85	22 – 23	3,75
11 – 12	4,6	23 – 24	3,7

Соответствующий ступенчатый график приведен на рис. 3.1

Необходимо заметить, что графики водопотребления в течение суток очень точно отражают различные события, происходящие в населенном пункте. Так, например, в часы интересных спортивных соревнований, радио – и телепередач потребление воды резко падает и на суточном графике появляется провал в соответствующие часы. Отличаются графики в отдельные дни недели – в праздничные и в предпраздничные, от обычных будних дней, а также в различные периоды года.

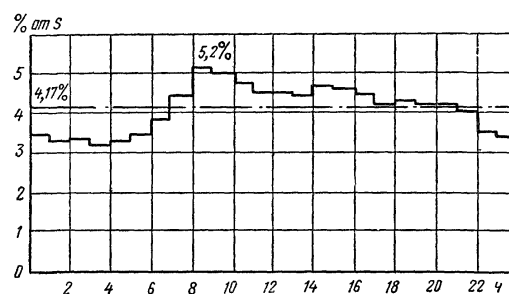


Рис 3 1

Пример 3.1 Определить расчётные расходы воды для города (рис. 3.2), территория которого по плотности населения и характеру застройки разделена на два района: I район – восточный, II район – западный.

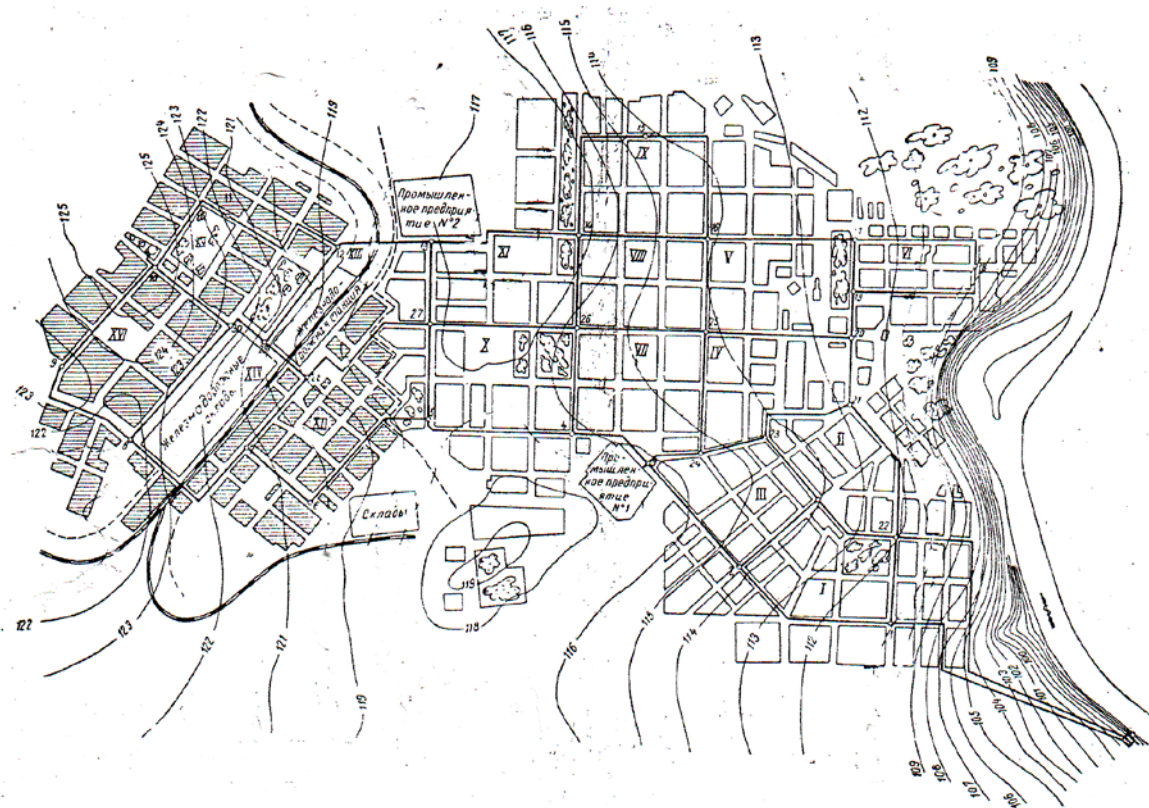


Рис. 3.2 План города

а) Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды населения. Расчётное число жителей:

$N_I = 145660$ человек – район I;

$N_{II} = 36300$ человек – район II.

I район имеет пятиэтажную застройку; здания оборудованы внутренним водопроводом и канализацией, ваннами с газовыми колонками. Площадь застройки составляет около $5,2 \text{ км}^2$; расчётная плотность населения 280 чел/км^2 .

II район имеет девятиэтажную застройку; здания оборудованы внутренним водопроводом, канализацией и централизованным горячим водоснабжением, с ваннами. Площадь застройки составляет около $1,73 \text{ км}^2$; расчётная плотность населения 210 чел/км^2 .

Для начала определим среднесуточные расходы воды $Q_{\text{ср.сут}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, на хозяйственно-питьевые нужды города по формуле 3.1:

$$Q_{\text{ср.сут}} = \frac{180 \cdot 145660 + 300 \cdot 36300}{1000} = 37108,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Максимальный суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды населения города в целом определим по формуле 3.2:

$$Q_{\text{сут.макс}} = 1,2 \cdot 37108,8 = 44530,56 \text{ м}^3/\text{сут}$$

б) Расход воды на поливку улиц и зелёных насаждений. В соответствии с планом города площадь улиц, проездов и зелёных насаждений требующих поливки составляет 1,4 км² или 1400000 м², из которых 900000 м² составляют площади, проезжие части и тротуары, а 500000 м² – зелёные насаждения.

Согласно формуле 3.3 максимальный суточный расход воды на поливку для города в целом составит:

$$Q_{пол} = 0,001(900000 \cdot 0,4 + 500000 \cdot 3,5) = 2110 \text{ м}^3/\text{сут}$$

При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства (зеленые насаждения, проезды и т.п.) удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку в расчете на одного жителя следует принимать 50-90 л/сут в зависимости от климатических условий, мощности источника водоснабжения, степени благоустройства населенных пунктов и других местных условий. Количество поливок надлежит принимать 1-2 в сутки в зависимости от климатических условий

в) Расход воды на бытовые нужды рабочих во время их пребывания на производстве. В городе имеется два крупных промышленных предприятия:

предприятие №1, на котором работают 900 рабочих в три смены, начинающиеся в 8⁰⁰, 16⁰⁰ и 24⁰⁰ (по 300 человек в смену); по условиям производства 2/3 рабочих должны принимать душ (т. е. по 200 человек в смену); предприятие имеет только горячие цеха со значительным тепловыделением (более 80 кДж на 1 м³); работы не связаны с сильным загрязнением тела;

предприятие №2, на котором работают 3600 человек в две смены, начинающиеся в 8⁰⁰ и 16⁰⁰ (по 1800 человек в смену); душ должны принимать 150 человек в каждую смену; горячих цехов нет; работа не связана с сильным загрязнением тела.

В соответствии с нормами расход воды на бытовые нужды рабочих принимаем: для горячих цехов 45 л на человека в смену и для остальных цехов 25 л на человека в смену. Расход на души принимаем равным 50 л на одного моющегося.

Предприятие №1:

расход воды на бытовые нужды в цехах со значительным тепловыделением:

в смену:

$$q_{х/б\text{ рабI}} = 0,001 \cdot 45 \cdot 300 = 13,5 \text{ м}^3$$

в сутки:

$$Q_{х/б\text{ рабI}} = 13,5 \cdot 3 = 40,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

расход воды на приём душей:

в смену:

$$q_{душ.\text{ рабI}} = 0,001 \cdot 50 \cdot 200 = 10 \text{ м}^3$$

в сутки:

$$Q_{душ.\text{ рабI}} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Предприятие №2:

расход воды на бытовые нужды:

в смену:

$$q_{х/б\text{ рабII}} = 0,001 \cdot 25 \cdot 1800 = 45 \text{ м}^3$$

в сутки:

$$Q_{х/б\text{ рабII}} = 45 \cdot 2 = 90 \text{ м}^3/\text{сут}$$

расход воды на приём душей:

в смену:

$$q_{душ.\text{ рабII}} = 0,001 \cdot 50 \cdot 150 = 7,5 \text{ м}^3$$

в сутки:

$$Q_{душ.\text{ рабII}} = 7,5 \cdot 3 = 22,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

г) **Расход воды из сети городского водопровода на технологические нужды промышленных предприятий.** Согласно данным предприятия этот расход составит:

для предприятия №1 – 3024 м³/сут;

для предприятия №2 – 288 м³/сут.

Кроме указанных расходов, водопровод должен давать 1000 м³/сут на нужды железнодорожной станции.

По формуле 3.4 определим суммарный максимальный суточный расход в городе:

$$Q_{\max} = 44530,56 + 2110 + (40,5 + 30) + (90 + 22,5) + 3024 + 288 + 1000 = 51135,56 \text{ м}^3/\text{сут}$$

3.4 Напор в сети

Вода из водопроводной сети должна поступать к потребителю в необходимом количестве и под требуемым напором. Отбор воды потребителями происходит на некоторой высоте над поверхностью земли, поэтому в водонапорной сети должно быть обеспечено давление, необходимое для подъема воды на заданную высоту. Например, для подачи воды на последний этаж здания, рис. 3.3, необходимо, чтобы в трубах городской водопроводной сети было создано давление, большее некоторого минимального, достаточного для подъема воды до наивысшей водоразборной точки. Если будет создано такое давление p , что

$$H_r = \frac{p}{\rho \cdot g}, \quad (3.9)$$

то вода достигнет наивысшей в смысле геометрического положения точки, но дальше не потечет (не учитывается глубина заложения трубы H_z ниже уровня земли). При повышении давления p вода будет вытекать из водоразборного прибора и сразу необходимо будет выполнить 2 условия:

1. Вода должна вытекать из крана с некоторым напором;
2. Как только вода начнет перемещаться по трубам в здании, сразу появятся потери на гидравлические сопротивления, т.е. необходимо будет создавать дополнительное давление для преодоления этих сопротивлений (от точки 1 до точки 2).

Поэтому требуемая пьезометрическая высота в точке 1, измеряемая от поверхности земли должна равняться сумме геометрической высоты подъема воды над этой точкой и общих потерь напора на пути движения воды в здании (еще необходим напор, под которым вода будет вытекать из водоразборного устройства).

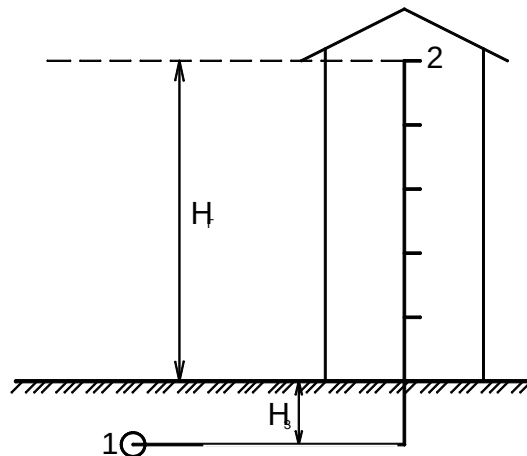


Рис. 3.3

Эта пьезометрическая высота, измеряемая обычно в метрах, необходимая для нормальной работы водопровода, обычно называется требуемым «свободным напором» в водопроводной сети $H_{св}$.

Таким образом

$$H_{св} = H_{г} + h_{у} + h_{пот}, \quad (3.10)$$

где $H_{г}$ - геометрическая высота расположения наивысшей водоразборной точки над поверхностью земли, $h_{у}$ - напор, который необходимо обеспечить у водоразборных приборов (напор излива), $h_{пот}$ - потери напора в трубах, фасонных частях и арматуре на пути от точки присоединения к линии городской сети до водоразборной точки внутри здания. СНиП 2.04.02 – 84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» дают следующие значения свободного напора $H_{св}$ в сети водопровода населенных пунктов: «Минимальный свободный напор в сети водопровода населенного пункта при максимальном хозяйственно-питьевом водопотреблении на вводе в здание над поверхностью земли должен приниматься при одноэтажной застройке не менее 10 м, при большей этажности на каждый этаж следует добавлять 4 м.

Примечания: 1. В часы минимального водопотребления напор на каждый этаж, кроме первого, допускается принимать равным 3 м, при этом должна обеспечиваться подача воды в емкости для хранения.

2. Для отдельных многоэтажных зданий или группы их, расположенных в районах с меньшей этажностью застройки или на повышенных местах, допускается предусматривать местные насосные установки для повышения напора.

3. Свободный напор в сети у водоразборных колонок должен быть не менее 10 м.

Свободный напор в наружной сети хозяйственно-питьевого водопровода у потребителей не должен превышать 60 м».

На рис. 3.4 изображен продольный разрез системы водоснабжения, на котором показано положение пьезометрических линий в момент максимального водоразбора. Наиболее неблагоприятными по подаваемому напору оказываются точки, дальше всего отстоящие от водонапорной башни и имеющие наиболее

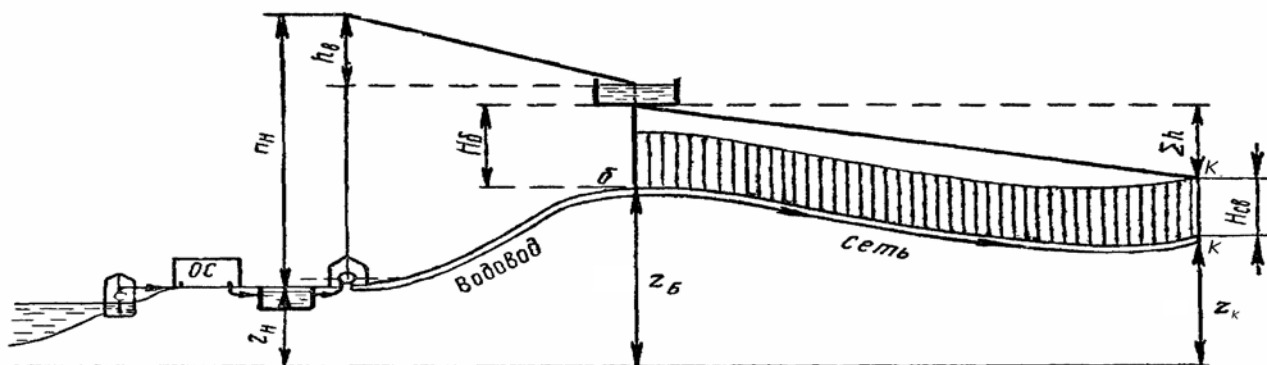


Рис. 3.4

высокие геодезические отметки. В этих точках вследствие потерь напора в сети от источника питания до этих точек будут самые низкие пьезометрические высоты и самые малые имеющиеся свободные напоры.

3.5 Определение высоты водонапорной башни

Для определения расчетного напора, который необходимо создать в начале сети (водонапорная башня или насосная станция), следует выбрать «критические» точки сети, наиболее неблагоприятные как в отношении их геодезических отметок, так и удаленности от источника питания.

На практике при выборе «критических» точек сравнивают суммы $H_{\Gamma} + h_{\text{ном}}$ для наиболее вероятных из этих точек; та точка, для которой сумма $H_{\Gamma} + h_{\text{ном}}$ максимальна и будет критической.

Допустим, что на рис. 3.4 такой критической точкой будет точка **к** с геодезической отметкой z_K . Отложив в этой точке требуемый свободный напор $H_{\text{св}}$ (он зависит от этажности и потерь внутри здания) получим необходимую пьезометрическую высоту (напор) для критической точки сети $z_K + H_{\text{св}}$. При максимальном водоразборе суммарные потери напора от водонапорной башни до критической точки будут иметь максимальную величину $\sum h_{\text{ном}}$.

В точке **б** должен быть создан такой напор $H_{\text{б}}$, чтобы при максимальном уклоне пьезометрической линии напор в точке **к** не падал ниже заданной величины $H_{\text{св}}$. Напор $H_{\text{б}}$ представляет собой высоту бака водонапорной башни от уровня земли. Из рис. 3.4 вытекает связь между напорами в критической точке **к** и точке **б**

$$z_{\text{б}} + H_{\text{б}} = z_K + H_{\text{св}} + \sum h_{\text{ном}} . \quad (3.11)$$

Из последнего равенства может быть определена расчетная высота башни, т. е. высота расположения дна бака башни над поверхностью земли

$$H_{\text{б}} = (z_K - z_{\text{б}}) + H_{\text{св}} + \sum h_{\text{ном}} . \quad (3.12)$$

Расположив башню на возможно более высокой отметке $z_{\text{б}}$, получим при имеющихся отметках снабжаемой водой территории минимальную величину $H_{\text{б}}$, т. е. наименьшую высоту (и наименьшую стоимость) башни. Поэтому водонапорную башню следует стремиться располагать на высоких отметках. В частности, если в результате расчета будет получена величина $H_{\text{б}} \leq 0$ (т.е.

высота башни отрицательная), то вместо башни устраивают напорный резервуар, расположенный на поверхности земли или частично заглубленный в землю. Такие резервуары (называемые еще резервуарами чистой воды) всегда будут иметь значительно меньшую стоимость, чем башня с той же вместительностью бака.

4. Наружная водопроводная сеть

4.1 Основные требования, предъявляемые к наружной водопроводной сети

Системы подачи и распределения являются наиболее ответственной и протяжённой частью всего комплекса сооружений, осуществляющего водоснабжение объекта.

В состав систем подачи и распределения воды входят: насосные станции, водоводы, водопроводные сети на территории объекта, напорные и безнапорные регулирующие и запасные ёмкости.

Водопроводная сеть является одним из основных элементов системы водоснабжения и связана с водоводами, насосными станциями, подающими воду в сеть, а также с регулируемыми ёмкостями.

Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Обеспечивать подачу заданных расходов воды к местам её потребления под требуемым напором;
2. Обладать достаточной степенью надёжности и без перебоев снабжать водой потребителей.

Вместе с тем водопроводная сеть должна быть запроектирована наиболее экономично, то есть обеспечивать наименьшие приведённые затраты на строительство и эксплуатацию. Выполнение всех этих требований достигается правильным выбором конфигурации сети и материала труб, а также правильным определением диаметров труб.

Главной задачей, которую решают при проектировании сети, является её трассировка, то есть придание ей определённой геометрической формы в плане.

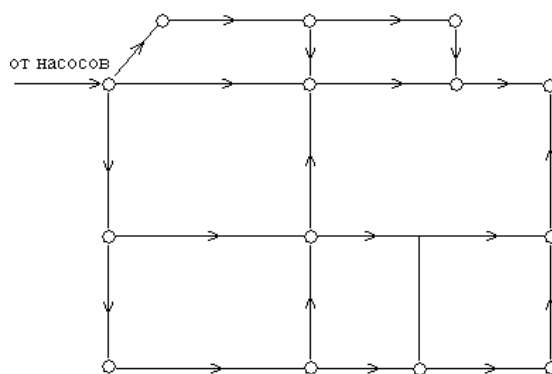
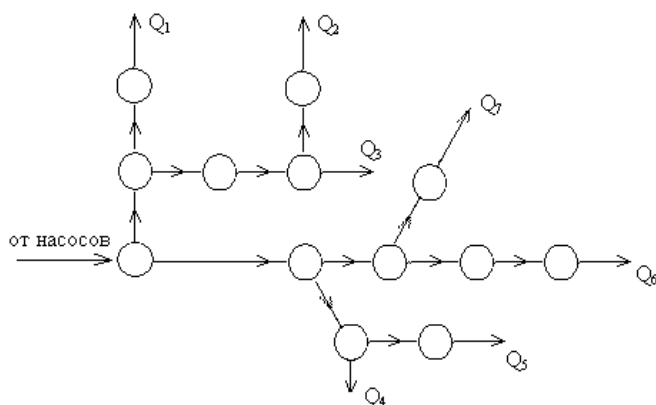
Форма расположения линий водопроводной сети зависит:

- от планировки снабжаемого водой объекта, расположения проездов, формы и размеров жилых кварталов, типа зелёных насаждений и т.д.
- от наличия естественных и искусственных препятствий для прокладки труб (рек, каналов, оврагов, железнодорожных путей).
- от рельефа местности.

4.2 Типы водопроводных сетей и их особенности

В практике водоснабжения используют два основных вида сетей: тупиковые или разветвлённые, рис. 4.1, и кольцевые, рис. 4.2.

Подача воды в заданных количествах в любую точку на территории объекта водоснабжения может быть осуществлена как по тупиковой, так и по кольцевой



сети.

Сравним эти два типа сетей в отношении надёжности: авария или выключение на ремонт любого участка тупиковой сети ведут к прекращению подачи воды всем потребителям, расположенным дальше места аварии по направлению движения воды. В кольцевой сети при аварии любого её участка вода может быть подана в обход по параллельно расположенным линиям. При этом прекращается снабжение водой только тех потребителей, которые присоединены к выключенному участку.

Рис. 4.1

Рис. 4.2

С точки зрения стоимости строительства и эксплуатации кольцевая сеть значительно дороже тупиковой- это объясняется большей протяжённостью труб кольцевой сети чем тупиковой (для того же объекта), большим числом колодцев и арматуры.

Исходя исключительно из требований надёжности в городах, крупных посёлках и на некоторых промышленных предприятиях сооружают кольцевые водопроводные сети.

Тупиковые сети могут быть выполнены для небольших объектов- в посёлковых водопроводах, водопроводах сельских местностей и для тех потребителей (в частности- производственных), которые допускают перерывы в снабжении водой. Кроме этих случаев тупиковые сети часто используют в крупных районных водопроводах, снабжающих ряд объектов, отстоящих друг от друга на значительных расстояниях. В таких системах надёжность водоснабжения обеспечивается установкой местных резервуаров достаточной вместимости, что обычно экономичнее устройства кольцевой сети.

4.3 Свойства водопроводных сетей

Водопроводная сеть решает одну из наиболее ответственных задач при обеспечении водой потребителей, при этом вода, подаваемая на территорию снабжаемого объекта, подводится по трубам сети ко всем заданным точкам её отбора потребителям.

Конфигурация сети зависит от:

- планировки снабжаемого объекта;
- размещения точек подачи в неё воды водоводами;
- характера объекта (город, посёлок, промышленные предприятия);

- расположение регулирующих ёмкостей;
- рельефа местности.

Расчёт городских водопроводных сетей представляет собой сложную задачу, так как число фактических точек отбора воды из сети городского водопровода очень велико, а режим отбора воды носит случайный характер. В связи с этим применяются упрощённые расчётные модели, как самих сетей, так и отбора воды из сети для отдельных характерных случаев её работы, поэтому водопроводные сети рассчитываются по ожидаемым (ориентировочным) схемам нагрузок для нескольких основных «расчётных» моментов их работы.

Изучение некоторых свойств тупиковых и кольцевых сетей позволяет установить необходимые для расчёта взаимосвязи между их отдельными элементами и оценить ряд важных показателей работы сетей, в частности их надёжность.

Система водопроводной сети и примыкающих к ней водоводов и ответвлений представляет собой структуру, состоящую из конечного числа вершин (узлов), связанных между собой рёбрами (линиями, участками). Рассматривая два

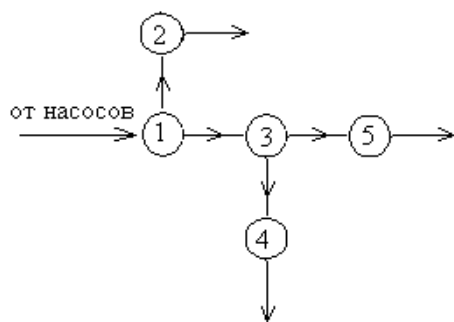


Рис. 4.3

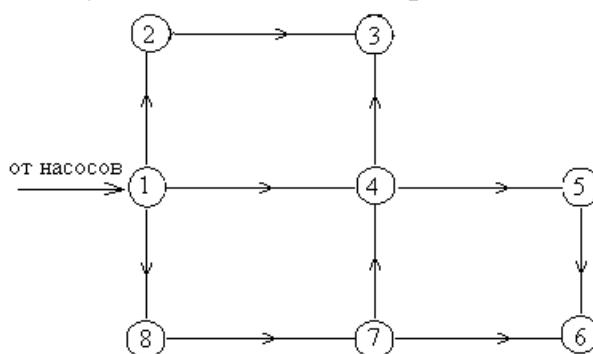


Рис. 4.4

основных типа водопроводных сетей- тупиковую и кольцевую, возможно сделать следующие выводы. В тупиковой сети любые два её узла возможно соединить только одной определённой цепочкой рёбер (участков). Все участки тупиковой сети, кроме конечных, являются точками сочленения, рис. 4.3.

В кольцевой сети любые её два узла могут быть соединены несколькими различными цепочками (не менее чем двумя). Две любые цепочки, например, на рис. 4.4 1-4-5-6 и 1-8-7-6 соединяющие узлы 1 и 6 кольцевой сети образуют замкнутый путь (цикл) или «кольцо». Тупиковая сеть колец не содержит.

Цикл, который не пересекается никакими рёбрами, носит название элементарного (минимального) цикла или элементарного кольца.

Для плоской сети любого типа может быть установлено следующее соотношение между числом её участков k , узлов m и элементарных колец n :

$$k = n + m - 1 \quad (4.1)$$

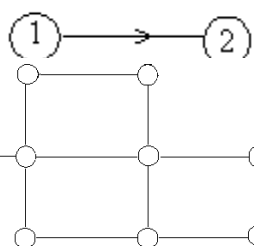
или

$$m = k - n + 1$$

Эта зависимость может быть получена как следствие теоремы Эйлера о многогранниках.

Для тупиковой сети $n=0$ и, следовательно, $k=m-1$, так как число участков всегда на единицу меньше числа узлов.

Очевидно, что для превращения кольцевой сети в тупиковую необходимо удалить n её участков – по одному из каждого кольца. Полученная таким образом сеть называется «деревом» кольцевой сети. Из любой кольцевой сети можно получить несколько вариантов дерева. Число вершин всегда остаётся равным числу вершин соответствующей кольцевой сети.



Пример 4.1 На рис. 4.5 изображена простейшая сеть, состоящая из двух узлов и одного участка, кольца отсутствуют; в этом случае $n=0$, $m=2$, $k=1$, то есть $1=2-1$ и соотношение $(4-1)$ выполняется.

Пример 4.2 Для кольцевой сети, изображённой на рис. 4.6 имеем следующие значения k , n , m : $n=3$, $m=8$, $k=10$. И из (4.1) получаем: $10=3+8-1$.

Рис. 4.6

4.4 Общая постановка задачи о расчёте водопроводных сетей

Целью расчета водопроводной сети является определение диаметров труб всех её участков и потерь напора на них. Обычно рассчитываются не просто диаметры, а экономически наивыгоднейшие диаметры; само понятие экономически наивыгоднейшего диаметра возникло из рассмотрения условий совместной работы водопроводных линий и насосной станции. При проектировании сети для приближённого определения экономически наивыгоднейших диаметров участков сети эти участки можно рассматривать как независимо работающие линии. В любом случае для нахождения диаметров участков сети необходимо знать расчётные расходы на этих участках.

Для рассчитываемой сети всегда заданы:

- её конфигурация;
- длины участков;
- расходы, отходящие из узлов – действительные или фиктивные.

Пример кольцевой сети, подготовленной к расчёту, приведён на рис. 4.7

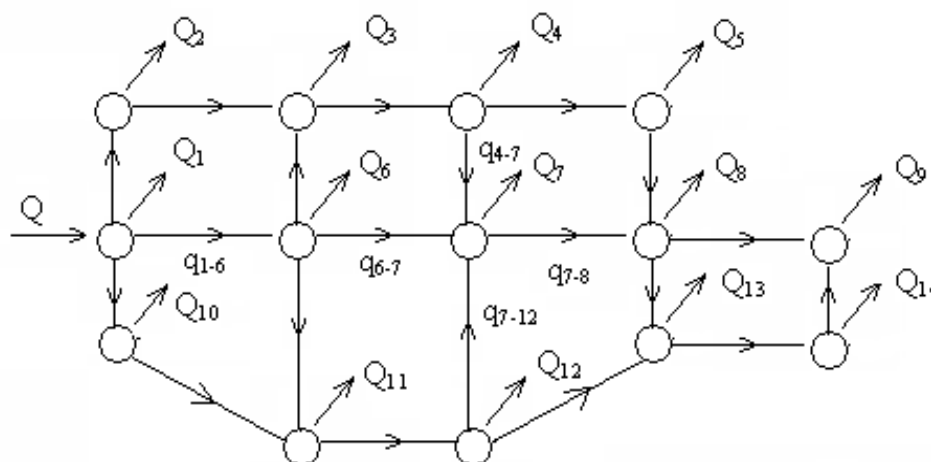


Рис. 4.7

При наличии одного источника (водонапорная башня или насосная станция) подача воды известна и равна сумме отборов (распадов) Q_i .

В данном случае

$$Q = \sum_{14} Q_i.$$

Для определения расходов q_{i-k} на участках сети может быть применено уравнение постоянства расхода

$$\sum q_{i-k} + Q_i = 0, \quad (4.1)$$

где i и k – номера узлов.

При этом расходы, приходящие к узлу, условно считают положительными, а уходящие от узла (включая отбор) – отрицательными.

Например, для узла с Q_7 имеем:

— входят в узел q_{6-7} , q_{7-12} , q_{4-7}

— выходят из узла q_{7-8} , Q_7 ,

совершенно ясно, что сколько в узел воды за единицу времени войдёт, столько же из него и выйдет, поэтому для данного узла будет выполняться

$$q_{6-7} + q_{7-12} + q_{4-7} - q_{7-8} - Q_7 = 0.$$

Если в узлах тупиковой сети с одним источником питания заданы отборы воды, то расходы на всех её участках по направлению и величине определяются единственно возможным образом. Это является следствием того свойства разветвлённой сети, что от начального её узла до любого узла существует только один возможный путь.

В кольцевых сетях значения расходов воды на участках должны удовлетворять одновременно не только уравнению неразрывности (уравнению сохранения расхода), но и некоторому дополнительному уравнению, не имеющему самостоятельного значения и являющегося следствием очевидных соотношений. Для вывода этого соотношения рассмотрим одно кольцо, рис. 4.8.

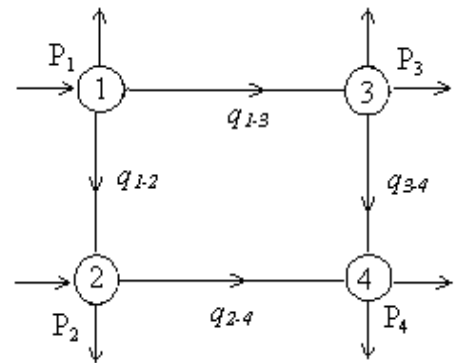


Рис. 4.8

Обратим внимание прежде всего на то, что часть расходов направлена против часовой стрелки- q_{2-4} и q_{1-2} , а часть расходов направлена по часовой стрелке- расходы q_{1-3} и q_{3-4} .

За счёт потерь на участке 1-3 давление понижается от p_1 до p_3 , а на участке 3-4 с p_3 до p_4 . Очевидно, что при движении из узла 1 в узел 2, а затем в узел 4, давление за счёт потерь также примет значение p_4 .

Потери напора на любом участке кольцевой сети (от узла до узла) могут быть определены по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h = \lambda \frac{l V^2}{d 2g}, \quad (4.2)$$

потери давления на тех же участках равны

$$\Delta p = \lambda \frac{l V^2}{d 2} \rho. \quad (4.3)$$

В любом кольце возможно выделить участки, на которых движение воды направлено по часовой стрелке- сумму потерь на этих участках обозначим как $(\sum h)_1$, в этом же кольце обязательно существуют участки, на которых движение

воды направлено против часовой стрелки; сумму потерь на них обозначим через $(\sum h)_2$. Из (4.3) и приведённых рассуждений относительно давлений следует, что

$$(\sum h)_1 - (\sum h)_2 = 0 \quad (4.4)$$

Для гидравлических сетей уравнения, выражающие равенство нулю алгебраической суммы потерь в каждом из колец, называются **контурными**.

Пример 4.3 Для кольца, изображённого на рис. 4.8 обозначим

$$p_1 - p_2 = \Delta p_{12}, p_2 - p_4 = \Delta p_{24}, p_1 - p_3 = \Delta p_{13}, p_3 - p_4 = \Delta p_{34}.$$

Очевидно, что

$$\Delta p_{12} + \Delta p_{24} = \Delta p_{13} + \Delta p_{34} \quad (4.5)$$

Деля все слагаемые в (4.5) на ρg , получим, что

$$h_{12} + h_{24} = h_{13} + h_{34}$$

или

$$h_{12} + h_{24} - h_{13} - h_{34} = 0$$

Последнее уравнение представляет собой пример контурного уравнения.

Из схемы кольцевой сети, рис. 4.7, при заданных узловых отборах, возможно найти большое число вариантов значений расходов q_{i-k} , которые удовлетворяли бы уравнению (4.1) во всех узлах. Это является следствием того, что в кольцевой сети между любыми двумя её узлами можно наметить несколько путей.

В систему контурных уравнений помимо неизвестных расходов q_{i-k} входят также неизвестные диаметры участков d_{i-k} , так как величины потерь выражаются как функции диаметров. Таким образом, отыскивая расходы q_{i-k} , чтобы определить по ним диаметры, мы убеждаемся, что значения расходов q_{i-k} на участках кольцевой сети в свою очередь, зависят от диаметров. Любые изменения диаметров любых участков кольцевой сети неизбежно вызывают перераспределение расходов во всей сети, то есть изменение расходов на всех её участках; при этом будут удовлетворяться уравнения (4.1) и контурные уравнения.

Рассматривая задачу расчёта сети без привлечения принципов экономичности (в виде уравнений), то есть не обращаясь к методам полного технико-экономического расчёта, приходим к заключению, что её решение возможно лишь при условии, если мы предварительно зададим значения неизвестных q_{i-k} и d_{i-k} .

4.5 Предварительное потокораспределение в кольцевых сетях

Выбор предварительного распределения расходов воды на участках кольцевой сети является важной задачей проектирования и последующего расчёта водопроводных сетей.

При заданной конфигурации кольцевой сети, длине её линий, местах и величинах отборов воды из сети может быть намечено очень большое число вариантов распределения расходов воды по её участкам. При каждом таком варианте необходимо обеспечить заданные величины отборов воды и удовлетворить условия баланса расходов в узлах.

Одним из критериев для выбора рационального варианта распределения расходов в сети является обеспечение требования надёжности. Может показаться, что лучше всего выбрать такой вариант распределения расходов (вариант сети), при котором вода подавалась бы к точке каждого отбора возможно более коротким путём. Это обеспечило бы наименьшие длину и стоимость сети, но одновременно превратило бы кольцевую сеть в тупиковую, и эта тупиковая сеть не удовлетворяла бы требованиям надёжности. Кольцевание является основным способом по обеспечению надёжности сети.

Чтобы снижение подачи воды потребителям в результате возможных аварий на линиях сети было наименьшим, сеть должна не только иметь кольцевую форму, но и обеспечивать необходимую взаимозаменяемость её параллельно включённых ветвей при аварии на одной из них. Важно обеспечить взаимозаменяемость соответствующих участков параллельных основных транзитных магистралей, рис. 4.9- АВ, А'С и т.д.

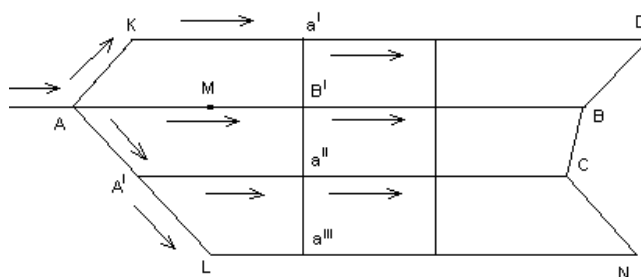


Рис. 4.9

Авария в точке М на главном участке АВ' одной из параллельных магистралей сети может вызвать значительное снижение подачи воды объекту в целом. Чтобы уменьшить влияние такого рода аварии, остальные участки должны иметь достаточную пропускную способность. С этой целью при проведении предварительного потокораспределения общий расход воды, подаваемый в сеть, должен быть по возможности равномерно распределён между параллельными магистралями; на рисунке 4.9 магистралями являются линии КД, АВ, А'С, LM.

«Перемычки», соединяющие основные транзитные магистрали при нормальной (без аварии) работе системы мало участвуют (или совсем не участвуют) в транзитной передаче воды и служат в основном для обеспечения водой потребителей, получающих воду непосредственно из этих линий (перемычки на рисунке 4.9: а'В', В'а'', а''а''' и т.д.). Но при авариях на магистралях перемычки начинают работать, перебрасывая воду с одних транзитных магистралей на другие в обход выключенного повреждённого участка.

Диаметры труб участков сети должны быть определены с учётом схем нормального и аварийного распределения потоков. Это не означает, что расчётные расходы магистралей будут сильно завышены, так как при аварии допускается по нормам снижение общего количества воды, подаваемой объекту.

Требования к надёжности систем водоснабжения должны устанавливаться в зависимости от требований потребителей к бесперебойности подачи воды. Для систем городского водоснабжения, согласно действующим нормам, в случае выключения (для ликвидации аварии) одной из линий кольцевой сети или одного из участков параллельно уложенных водоводов, подача воды на хозяйственно-питьевые нужды объекта в целом не должны снижать более чем на 30%. Для производственного водоснабжения допустимое снижение подачи

воды или допустимость перерывов подачи устанавливаются в зависимости от характера технологического процесса. Для ряда производств устанавливаются также предельно допустимая длительность и частота повторяемости перерывов или снижений подачи воды. Численные критерии надёжности отдельных сооружений и элементов системы водоснабжения могут быть получены в результате обработки статистических данных длительных наблюдений за случайными событиями (в основном за авариями), вызывающими «отказ» системы.

Пример 4.4. Покажем на примере начальную стадию предварительного потокораспределения в кольцевой сети. Нашей задачей будет являться: примерное назначение расхода на каждом участке, направление движения воды на каждом участке и определение диаметра трубы представляющий этот участок сети. Будем считать заданными: общий расход, поступающий в сеть из водонапорной башни (В.Б.) и величины узловых расходов, рис. 4.10.

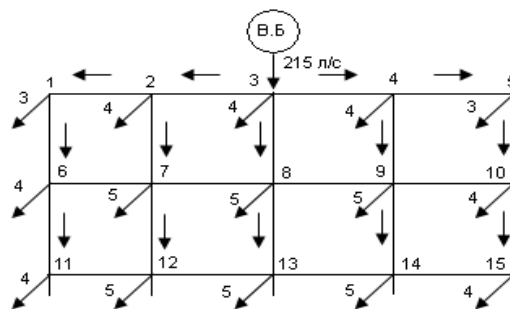


Рис. 4.10

Контур кольцевой сети был выбран специально простым и все расходы заданы своими числовыми значениями. Пронумеруем узлы сети для обозначения участков (обычно эта нумерация осуществляется произвольно). Обычно вода на всём протяжении магистральных линий движется в одном направлении (одинаковом для всех магистральных линий). В данном случае магистралями являются участки 1-6-11, 2-7-12, 3-8-13, 4-9-14, 5-10-15. По ним проходит основной расход и при данной схеме кольцевой сети одинаковый для каждой магистрали в её начале. Стрелками из узлов показаны узловые расходы и рядом даны их числовые значения (в л/с). В данном случае в начале каждой магистральной линии должен пойти расход $215/5 = 43$ л/с – так как всего магистралей пять (без учёта узловых расходов). Следует помнить при предварительном потокораспределении, что первые 2-3 ряда колец сверху обычно особенно напряжённые и в дальнейшем их увязка может быть затруднена.

По участкам 3-4 и 3-2 будет проходить один и тот же расход 86 л/с. По центральной магистрали по участку 3-8 пройдёт расход 43 л/с – 4 л/с = 39 л/с. По участку 3-4 пройдёт расход 43 л/с + 43 л/с = 86 л/с; в точке 4 он должен быть разделён на 2 равные части – по участку 4-9 пойдёт расход 43 л/с – 4 л/с = 39 л/с (узловой расход 4 л/с уйдёт к потребителю из сети навсегда), а по участку 4-5 расход 43 л/с, который после отдачи в узле 5 узлового расхода 3 л/с в дальнейшем по участку 5-10 будет иметь значение 43 л/с – 3 л/с = 40 л/с. Аналогично, в силу симметрии сети такие же расходы пройдут по аналогичным участкам и влево от осевой магистрали 3-8-13.

Как было отмечено раньше, в обычном состоянии через «перемычки», то есть через поперечные линии 6-7, 7-8, 9-9, 9-10 и т.д. проходят небольшие расходы, порядка $0,5$ - $1,5$ л/с

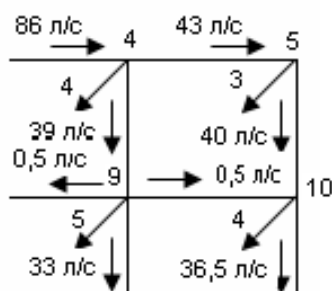


Рис. 4.11

и направлять их возможно как слева направо так и справа налево. При этом в каждом узле сети должно выполняться уравнение неразрывности, то есть необходимо следить за тем, чтобы сумма расходов, входящих в узел была точно равна сумме расходов, выходящих из узла, считая выходящим из узла узловой расход. Пример одного кольца рассматриваемой сети приведён на рисунке 4.11

Следуя дальше вдоль магистралей, расходы в них будут убывать и при правильных расчётах весь расход из водонапорной башни должен распределяться и выйти из сети через узловые расходы.

4.6 Глубина заложения и укладка водопроводных труб

Глубина укладки труб зависит от глубины промерзания грунта, от температуры воды, подаваемой по трубам, от режима её подачи и от механических нагрузок на поверхности почвы.

Глубина промерзания почвы различна не только для разных районов, но и в данном районе зависит от характера грунтов, присутствия грунтовых вод, растительного покрова, толщины снежного покрова, условий нагревания поверхности земли солнцем и т.д. Учёт всех этих факторов при назначении глубины укладки в каждом отдельном случае позволяет, с одной стороны, избежать излишнего заглубления и, с другой стороны, обеспечить бесперебойность работы линии.

Для распределительных водопроводных сетей вследствие переменного режима их работы и большого диапазона используемых диаметров, теплотехнические расчёты не проводят и глубину заложения труб определяют на основании опытных данных с учётом местных условий. Если следовать СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения, глубина заложения труб, считая до низа трубы, должна быть на 0,5м больше расчётной глубины промерзания грунта. Глубина заложения металлических труб для северных районов России обычно составляет 3-3,5м, для средней полосы 2,5-3м, и для южных районов 1,25- 1,5м.

Минимальную глубину заложения труб определяют исходя из условия предохранения труб от внешних нагрузок, в частности от транспорта, и нагревания в летнее время. По соображениям защиты труб от нагревания, глубина заложения труб хозяйственно-питьевых водопроводов не должна быть меньше 0,5м до верха трубы.

Глубина заложения труб, принятая для данного города, района приблизительно одинакова для всей сети, и водопроводные линии в основном следуют рельефу местности. Продольные профили линий труб должны быть запроектированы таким образом, чтобы обеспечивалась возможность опорожнения любых участков сети и выпуска из них воздуха. С этой целью сеть разбивают на участки с различными по знаку уклонами соответственно рельефу местности, но не следуя за всеми его мелкими деталями. В пониженных точках на водоводах и магистральных линиях для возможности их опорожнения устраивают выпуски, а в высоко расположенных точках на переломе линии устанавливают воздушные вентузы, обеспечивающие выпуск воздуха.

При значительном диаметре водопроводной сети- 500-600мм и более - домовые ответвления присоединяют обычно не непосредственно к этой линии, а к идущей параллельно ей сопровождающей трубе, которая соединяется с магистралью в узловых точках сети.

После укладки и гидравлического испытания водопроводных линий перед пуском их в эксплуатацию они должны быть промыты путём пропуска по ним воды с большой скоростью. Трубы большого диаметра, допускающие производство работ изнутри, должны быть перед промывкой очищены от возможных загрязнений вручную.

Линии водопровод хозяйственно-питьевого назначения должны быть, кроме того, подвергнуты дезинфекции. Для этого участок линии заполняют водой, содержащей 20-30 мг хлора на 1 литр воды. Хлорирование линии должно продолжаться не менее 1 суток. После дезинфекции сеть должна быть снова промыта.

5. Водоподъёмные устройства

К водоподъёмным относятся устройства, служащие как правило, для создания потока воды по трубам от водозаборного сооружения (шахтного колодца, приёмного колодца, скважины и т.д.). Эти устройства, преобразующие механическую энергию вращающегося вала в потенциальную и кинетическую энергию, называются насосами. В водоснабжении наиболее распространение получили центробежные насосы.

Центробежные насосы.

Устройство и принцип действия центробежного насоса.

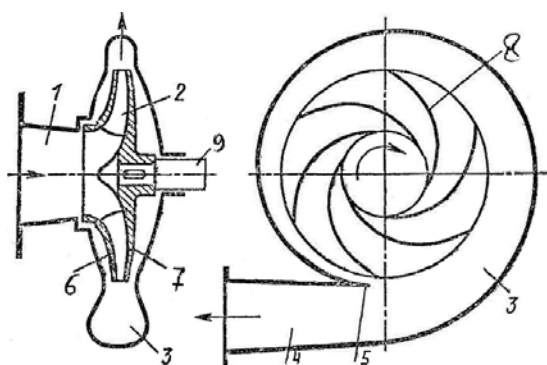


Рис. 5.1 Схема центробежного насоса консольного типа

Простейшая схема центробежного насоса приведена на рисунке (5.1). Проточная часть насоса состоит из трёх основных элементов - подвода 1, рабочего колеса 2 и отвода 3. По подводу жидкость подаётся в рабочее колесо из подводящего (всасывающего) трубопровода. Назначением рабочего колеса является передача энергии жидкости от вала двигателя.

Рабочее колесо центробежного насоса состоит из двух дисков - ведущего 7 и ведомого 6, между которыми находятся лопасти 8, изогнутые, как правило, в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Ведущий диск рабочего колеса крепится на валу 9. В процессе работы насоса жидкость движется через колесо из центральной его части к периферии. По отводу жидкость отводится от рабочего колеса к напорному патрубку или, в многоступенчатых насосах, к следующему колесу. Так называемый язык 5 служит для разделения потоков, а в диффузоре 4 давление на выходе насоса ещё больше повышается и, расширяясь, он создаёт условия для лучшего протекания жидкости.

При вращении рабочего колеса жидкость, находящаяся между лопатками, под действием центробежной силы отбрасывается к периферии, выходит в спиральную камеру и далее в нагнетательный трубопровод. В центральной части насоса перед входом в рабочее колесо, возникает разрежение, и вода под действием атмосферного давления направляется из источника по всасывающему трубопроводу в насос.

Классификация центробежных насосов. Центробежные насосы классифицируются по следующим признакам:

1. По напору- низконапорные (до 20м), средненапорные (от 20 до 60м) и высоконапорные (более 60м);\

2. По числу колёс – одноколёсные и многоколёсные (многоколёсными обычно делают высоконапорные насосы);
3. По расположению вала насосы бывают горизонтальные и вертикальные;
4. В зависимости от перекачиваемой жидкости различают насосы водопроводные (водяные), канализационные (фекальные), песковые, грязевые (землесосные).
5. По назначению различают насосы общего назначения, шахтные, артезианские (для работы в скважинах) и т.д.

Высота всасывания и напор, развиваемый насосом. Для нормальной работы центробежных насосов вакуум в их всасывающем патрубке не должен превышать определённой величины, зависящей от их конструкции, частоты

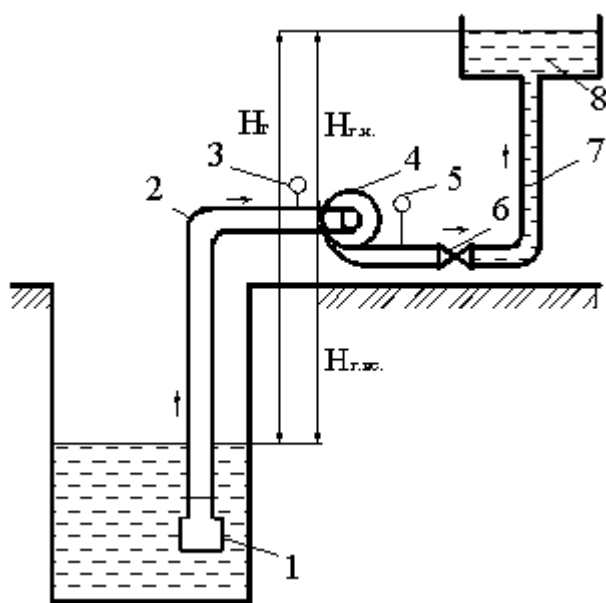


Рис. 5.2

При проектировании и эксплуатации насосных станций и установок различают геометрическую высоту всасывания $H_{г.вс.}$ и вакуумметрическую высоту всасывания $H_{вас.}$

Геометрическая высота всасывания – это разность отметок центра колеса и уровня воды в источнике.

Вакуумметрическая высота всасывания складывается из геометрической высоты всасывания, потерь напора во всасывающем трубопроводе $h_{пот.вс.}$ и скоростного напора при входе в насос $V^2/2g$.

Вакуумметрическая высота всасывания во избежание кавитации не должна превышать допустимой вакуумметрической высоты всасывания, то есть:

$$H_{вас} = H_{г.вс} + h_{пот.вс} + V^2/2g \leq H_{вас}^{доп}$$

Полный напор H , который может создавать центробежный насос, складывается из следующих величин, рис. 5.2: геометрической высоты всасывания $H_{г.вс.}$, геометрической высоты нагнетания $H_{г.н.}$, потерь напора во всасывающем трубопроводе (с арматурой) $h_{пот.вс.}$, потерь напора в напорном трубопроводе (с арматурой) $h_{пот.н.}$

Таким образом:

$$H = H_{г.вс} + H_{г.н} + h_{пот.вс} + h_{пот.н}$$

Мощность насоса и его КПД. Полезная (эффективная) мощность насоса выражается соотношением:

$$N = \rho g Q H,$$

где ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, Q - подача насоса, H - полный (рабочий) напор насоса. Если в формулу для мощности подставить плотность в кг/м^3 , g - в м/с^2 , Q - в $\text{м}^3/\text{с}$, H - в метрах, то мощность выразится в ваттах.

Мощность на валу насоса (потребляемая мощность):

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

где η - полный КПД насоса, учитывающий гидравлические, объёмные и механические потери.

Рабочие характеристики центробежного насоса. На рис.5.3 приведены рабочие характеристики насоса; они показывают, как изменяются напор H , мощность N на валу насоса и его КПД с изменением расхода.

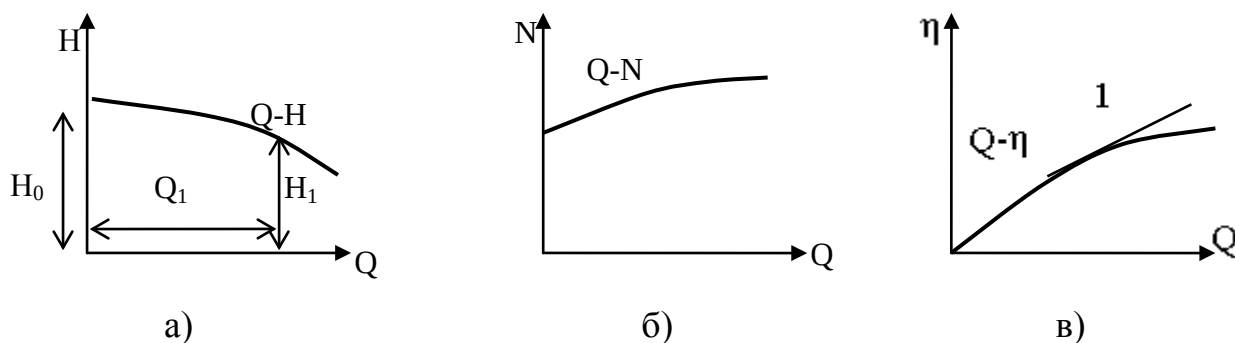


Рис. 5.3

Точка 1 характеристики $Q-\eta$ называется оптимальной точкой, то есть точкой соответствующей оптимальному режиму работы насоса.

Характеристика трубопровода. Характеристику трубопровода (или системы трубопроводов) возможно представить в виде суммы:

$$H = H_e + \sum h_{nom},$$

где H_e - геометрическая высота подачи воды, то есть разность отметок уровней воды в источнике и в напорном баке, рис.5.2; $\sum h_{nom}$ - сумма потерь напора во всасывающем и напорном трубопроводах.

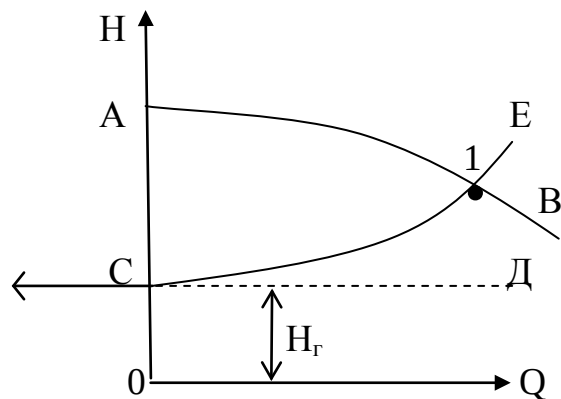


Рис. 5.4.

Графически характеристика трубопровода представляется в виде параболы с вершиной на оси ординат, расположенной на расстоянии H_e от оси абсцисс. Для определения оптимального

режима работы насоса с заданным трубопроводом строят совместные характеристики насоса и трубопровода.

На рис. 5.4 представлена характеристика насоса $Q-H$ в виде кривой AB . Проведя параллельно оси Q прямую CD на расстоянии H_g от неё и прибавив к H_g величины $\sum h_{nom}$, соответствующие различным значениям расхода Q , получим характеристику трубопровода CE . Точка 1 пересечения характеристик насоса и

трубопровода, называется рабочей точкой, характеризует подачу Q_1 , напор H_1 , КПД η_1 и мощность N_1 насоса, работающего на заданный трубопровод. Насос подбирается таким образом, чтобы рабочая точка лежала в области наиболее высоких значений КПД.

Арматура центробежных насосов. Центробежный насос обычно оборудуют следующей арматурой, рис. 5.1: приёмным клапаном с сеткой для удержания в насосе и всасывающем трубопроводе воды при заливе насоса перед пуском (при перекачке чистой воды сетку не ставят); краном в верхней части корпуса насоса для выпуска воздуха при заливе насоса; обратным клапаном для защиты насоса и всасывающей линии от гидравлического удара, а также для предотвращения обратного движения воды из одного насоса в другой при их совместной работе; задвижкой на напорном трубопроводе для пуска насоса и регулирования расхода; вакуумметром для определения вакуумметрической высоты всасывания; манометром для определения напора, развиваемого насосом.

6. Водопроводные насосные станции

В зданиях водопроводных насосных станций размещают насосы и двигатели к ним, трубопроводы, задвижки, контрольно-измерительные приборы, водомеры, электрооборудование и так далее.

Здания насосных станций бывают круглыми или прямоугольными в плане.

Агрегаты (насос и двигатель) располагают перпендикулярно или параллельно продольной оси здания в один или два ряда, а также в два ряда в шахматном порядке.

Вблизи насосных станций с большой подачей на напорных трубопроводах устраивают камеру, в которой размещают задвижки, расходомеры, предохранительные и обратные клапаны. Это позволяет уменьшить размеры зданий самих станций.

По расположению в общей схеме водоснабжения насосные станции делят на станции I подъёма, II подъёма, повысительные и циркуляционные.

Насосные станции I подъёма подают воду из источника водоснабжения на очистные сооружения или, если вода не требует очистки, непосредственно в распределительную сеть, водонапорную башню и другие сооружения.

Насосные станции II подъёма служат для подачи воды из очистных сооружений к потребителям.

Повысительные насосные станции служат для повышения напора в водонапорной сети.

Циркуляционные насосные станции используются в промышленных системах водоснабжения и служат для подачи отработанной воды на охлаждающие устройства.

По расположению оборудования насосные станции могут быть наземные, заглублённые и глубокие.

По характеру оборудования различают станции с горизонтальными центробежными насосами, с вертикальными центробежными насосами, с поршневыми насосами.

По характеру управления насосные станции могут быть с ручным, автоматическим и дистанционным управлением.

Насосные станции I подъёма, подающие воду на очистные сооружения, рассчитывают на средний часовой распад в дни наибольшего водопотребления.

При заборе воды из артезианских скважин обычно насосы станции I подъёма подают воду в резервуары, откуда её забирают и подают потребителям насосы станции II подъёма. Режим работы насосов станции II подъёма зависит от графика водопотребления. Подача воды в течение суток может быть равномерной и ступенчатой. При ступенчатой подаче уменьшаются необходимый объём бака водонапорной башни и полный рабочий напор насосов. На насосной станции обычно устанавливают однотипные насосы с одинаковой подачей. Режим работы насосной станции выбирают на основе анализа графиков водопотребления и совместной работы насосов, водоводов и водопроводной сети.

Насосные станции I подъёма, принимающие воду из открытого источника, обычно заглубляют для уменьшения высоты всасывания насосов. При заглублении насосных станций более чем на 4-5 метров на них чаще всего устанавливают вертикальные центробежные насосы. На станциях I подъёма должно быть предусмотрено не менее двух рабочих насосов и один или два резервных. Каждый насос, как правило, имеет отдельный всасывающий трубопровод.

Пример 6.1 В систему водоснабжения города Красноармейск вода подаётся из реки Волги в город, расположенный на расстоянии 18 км и на высоте 224 м от водоисточника.

Насосная станция I подъёма оборудована тремя насосами ЦН 1000/180 (где 1000 – подача, м³/ч, 180 – высота подъёма, м), один из которых рабочий, а два резервных. На расстоянии 8 км от насосной станции I подъёма и высоте 97 м над уровнем Волги расположена подкачивающая станция, которая также оборудована тремя насосами ЦН 1000/180, один из которых рабочий, а два резервных. Расстояние от подкачивающей станции до конечной точки 10 км, а высота над уровнем Волги – 127 м.

7. Источники водоснабжения и водозаборные сооружения

7.1 Источники водоснабжения

Источники водоснабжения подразделяют на подземные и поверхностные.

Подземные воды, расположенные достаточно глубоко (более 6 м) и прикрытые сверху водоупорными породами, не загрязняются с поверхности и бактериально чисты. Поэтому их можно использовать для хозяйственно-питьевого водоснабжения без очистки. Такие подземные воды являются наиболее предпочтительными в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Воды поверхностных источников при использовании их для хозяйственно-питьевого водоснабжения, как правило, подвергают очистке и обеззараживанию.

Источники водоснабжения выбирают с учетом не только гигиенических, но также технических и экономических факторов. При наличии нескольких источников, равноценных по качеству воды, выбор между ними производят посредством сравнения стоимости строительства и эксплуатации водопровода по различным вариантам. Особо учитывают расстояние до источника, мощность и надежность его, высоту подъема воды.

Для промышленного водоснабжения бактериальная чистота воды не имеет такого значения, как для хозяйственно-питьевого (за исключением производств, для которых требуется вода питьевого качества). Однако большое значение имеет химический состав воды, жесткость ее, цветность, содержание железа, марганца, так как в некоторых производствах нельзя пользоваться водой, содержащей такие соединения, или можно допустить их в очень небольших количествах.

Промышленные предприятия являются, крупными водопотребителями, поэтому источниками водоснабжения для производственных нужд служат преимущественно поверхностные источники водоснабжения (реки, озера, водохранилища и даже моря).

7.2 Подземные источники водоснабжения

К подземным источникам водоснабжения относятся подземные воды, образующиеся вследствие просачивания в землю атмосферных и поверхностных вод. Подземные воды могут быть безнапорными и напорными (артезианскими).

Безнапорные воды заполняют водоносные горизонты не полностью и имеют свободную поверхность. Примером безнапорных вод может служить вода в водоносных горизонтах, вскрытых колодцами K_1 и K_2 рис 7.1. Вода устанавливается в этих колодцах на уровнях, совпадающих с уровнями подземных вод. Безнапорные подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта (слой, вскрытый колодцем K_1 на рис 7.1 называются *грунтовыми*. Грунтовые воды характеризуются повышенной загрязненностью, поэтому при использовании для целей водоснабжения их в большинстве случаев подвергают очистке.

Напорные (артезианские) воды заполняют водоносные горизонты полностью. Примером напорных вод может служить вода в водоносном горизонте, вскрытом колодцами K_3 и K_4 см. рис 7.1. Артезианские воды, как правило, характеризуются высоким качеством и в большинстве случаев могут использоваться для хозяйственно – питьевых целей без очистки.

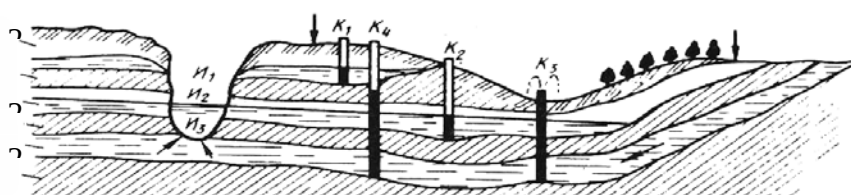


Рис. 7.1 Схема образования и залегания подземных вод:
1 – водоупорные породы; 2 – водоносные породы; K_1 - K_4 – колодцы;
 I_1 - I_3 – источники (родники)

В колодце, вскрывающем напорный водоносный горизонт, вода поднимается до пьезометрической линии. Если пьезометрическая линия проходит выше поверхности земли, наблюдается излив воды из колодца (колодец K_3 на рис 7.1). Такие колодцы называют *самоизливающимися*.

Уровень воды, устанавливающийся в колодце, при отсутствии водозабора, называют статическим. Статический уровень безнапорных вод совпадает с уровнем подземных вод, а напорных вод – с пьезометрической линией рис 7.2.

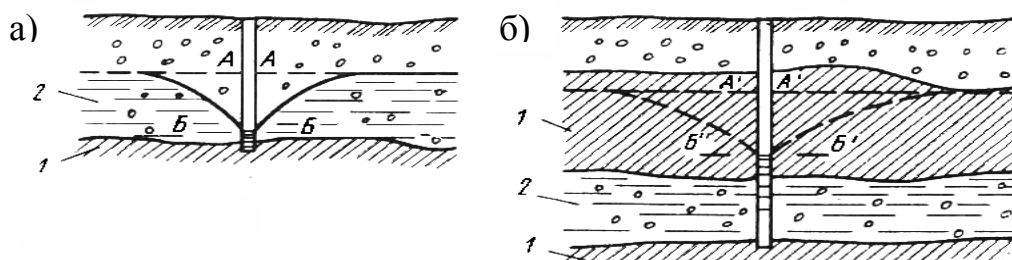


Рис. 7.2 Депрессионные воронки:

а – безнапорных вод; б – напорных вод; 1 – водоупорные породы; 2 – водоносные породы; АА – статический уровень; А'А' – пьезометрическая линия при отсутствии откачки; ББ и Б'Б' – динамические уровни.

При откачке воды из колодца уровень ее снижается, причем тем больше, чем интенсивнее откачка. Такой уровень называют *динамическим*.

Уровни воды и пьезометрические линии, устанавливающиеся вокруг колодцев при откачке из них воды (в поперечном разрезе они имеют выпуклую кверху форму), называют *кривыми депрессии*. Область, ограниченную кривыми депрессии, называют *депрессионной воронкой*.

Безнапорные и напорные воды могут выходить на дневную поверхность (родники). Выход безнапорных вод называют *нисходящим ключом*, а выход напорных вод – *восходящим ключом*. Ключевая вода отличается высоким качеством и также может использоваться для целей водоснабжения без очистки.

При выборе места расположения водозаборов для захвата подземных вод необходимо учитывать глубину залегания водоносного горизонта, направление течения подземного потока, санитарные условия, мощность пласта, напор, рельеф местности.

Для определения наличия подземных вод, глубины их залегания, направления движения и дебита потока подземных вод производится разведочное бурение скважин, которые часто используют как опытно-эксплуатационные, с откачкой воды.

Вопрос взаимодействия скважин, т. е. понижение дебита их при совместной эксплуатации, зависит от ряда факторов: расстояния между скважинами, крупности частиц водоносного пласта, напора межпластовой воды.

Характер взаимодействия скважин можно определить на основании данных пробных откачек из скважины.

Увеличивая расстояние между скважинами, уменьшают взаимное влияние их, но вместе с тем удлиняют коммуникации.

Для ориентировочных подсчетов расстояния между скважинами можно принимать по таблице 7.1:

Таблица 7.1

Дебит скважин, м ³ /ч		500—100	100—15	до 15
Наименьшее допустимое расстояние между скважинами, м	В трещиноватых породах	300—200	150—100	50
	В песчаных породах	250—150	100—50	50

Количество воды, полученное из колодца или скважины, отнесенное к 1м понижения уровня воды из них, называют *удельным дебитом*

$$q_{y\partial} = \frac{q}{L}, \quad (7.1)$$

где $q_{y\partial}$ - количество воды, даваемое скважиной, или ее дебит при глубине откачки L .

Зная удельный дебит скважины, можно определить количество воды, получаемой из какого-либо горизонта.

По установившемуся удельному дебиту подача воды из скважины q_1 при заданном понижении L_1 равна:

$$q_1 = q_{y\partial} \cdot L_1. \quad (7.2)$$

И, наоборот, заданному расходу q_1 соответствует понижение:

$$L_1 = \frac{q_1}{q_{y\partial}}. \quad (7.3)$$

Скорость грунтового потока определяют из выражения

$$V = K \cdot J, \quad (7.4)$$

где K — коэффициент фильтрации, определяемый по таблице справочника; J — гидравлический уклон.

Для получения подземной воды применяют следующие сооружения:

- а) трубчатые колодцы (буровые скважины);
- б) горизонтальные водосборы;
- в) шахтные колодцы;
- г) сооружения для каптажа родников;
- д) лучевые водозаборы.

Трубчатые скважины. Устройство трубчатых колодцев при глубоком (более 10 м) залегании подземных вод является единственно возможным решением.

Скважины на воду бурят ударным или (при большой глубине) роторным способом, по типу бурения скважин на нефть. Стенки буровых скважин закрепляют обсадными трубами (стальными трубами на муфтах с резьбой).

При большой глубине залегания водоносных пластов по мере опускания труб поверхность соприкосновения трубы с грунтом увеличивается, и сила трения возрастает. Поэтому бурение сначала ведут на глубину h_1 рис. 7.4 и стенки, скважины закрепляют трубами диаметром D_1 (первая колонна); затем диаметр скважины уменьшают до D_2 . Таким диаметром скважину бурят на глубину h_2-h_1 (вторая колонна). Далее после закрепления стенок скважины трубами диаметром D_2 могут понадобиться трубы диаметром D_3 и т. д., пока не будет встречен водоносный пласт, из которого намечается получение воды.

В зернистых породах водоносного пласта вода поступает в трубчатый колодец через отверстия в стенках фильтра, вставленного в нижнюю часть обсадной трубы; в трещиноватых устойчивых водоносных породах устанавливать фильтр не нужно.

После установки фильтра кольцевые пространства между трубами смежных колонн на высоту 2—3 м заделывают цементным раствором (тампонируют), а колонны труб перерезают труборезом или вывинчивают из муфт и извлекают верхние части колонн вверх; колодец приобретает

телескопический вид. Для

предупреждения попадания в колодец воды из верхних горизонтов необходимо применять тампоны. Верхнюю часть второй колонны труб не вырезают, а пространство между трубами полностью заливают цементным раствором.

В отдельных случаях при малой глубине скважины можно бурить ее при помощи только одной колонны обсадных труб.

Над скважиной обычно сооружают небольшую насосную станцию, в которой устанавливают насосы. Иногда над трубчатым колодцем устраивают

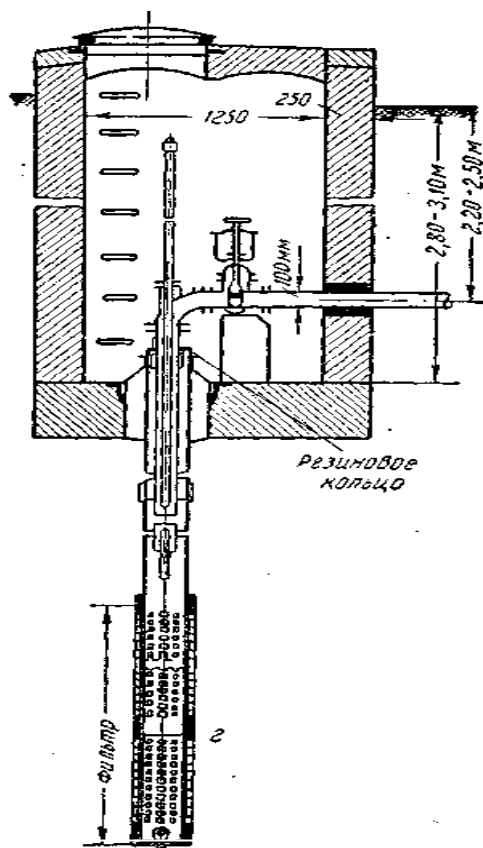


Рис. 7.5 Шахта над трубчатым буровым колодцем

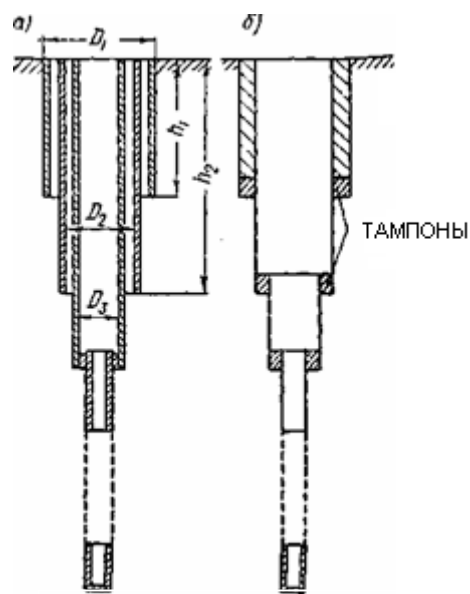


Рис. 7.4 Схема трубчатого колодца:

а — во время бурения;
б — после бурения

кирпичную, бетонную или железобетонную шахту, а вокруг нее делают глиняный замок для предохранения от загрязнений. Входят в шахту через люк рис. 7.5.

Фильтры применяют различных типов: дырчатые, проволочные сетчатые, каркасно-стержневые, щелевые и гравийные. Фильтр рис. 7.6, а состоит из трех основных частей: верхней с замком 1, надфильтровой части трубы 2, рабочей части 3 и отстойника 4, закрываемого снизу пробкой 5. Длину верхней части фильтра в среднем принимают не менее 3 м.

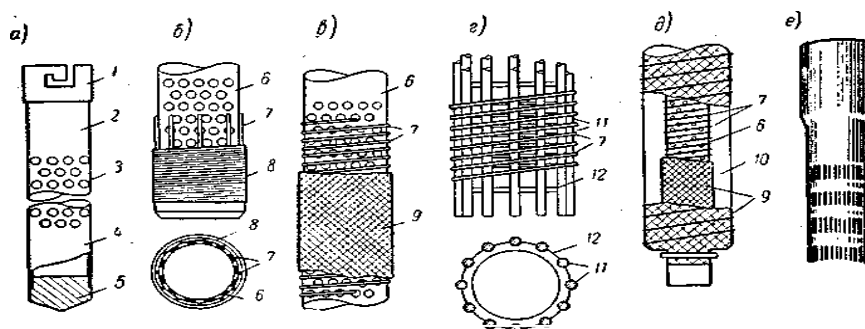


Рис. 7.6. Типы фильтров:

а – дырчатый; б – проволочный; в – сетчатый; г – каркасно-стержневой; д – гравийный; е – щелевой; 1 – замок; 2 – надфильтровая часть; 3 – рабочая часть; 4 – отстойник; 5 – пробка; 6 – дырчатый каркас; 7 – оппорная проволока; 8 – проволочная обмотка; 9 – сетка; 10 – песчано-гравийная обсыпка; 11 – металлические стержни; 12 – оппорные фланцы

Эта часть должна входить в обсадную трубу не менее чем на 1 – 2 м. Полезная высота или рабочая длина фильтра должна быть на 0,5 – 1,0 м меньше высоты водоносного пласта. Для изготовления фильтров можно применять нержавеющую сталь, пластмассы и другие материалы.

Дырчатый фильтр рис. 7.6, а состоит из труб с круглыми отверстиями диаметром 5 – 25 мм, просверленными в шахматном порядке на расстоянии 10 – 50 мм друг от друга, или с вертикальными прорезями. Отношение общей площади отверстий к боковой поверхности фильтра называют скважностью каркаса, которая для дырчатых фильтров должна составлять 20 – 25%.

Проволочный фильтр рис. 7.6, б устраивают на каркасе из дырчатой трубы 6, при этом на трубу и оппорную проволоку 7 навивают спирально обмотку 8 из нержавеющей проволоки толщиной 2 – 3 мм с прорезями между витками от 0,5 до 5 мм в зависимости от крупности зерен водоносного пласта.

Сетчатый фильтр рис. 7.6, в устраивают также на каркасе из дырчатой трубы 6. На каркас наплавляют спиральную проволоку 7 из нержавеющей

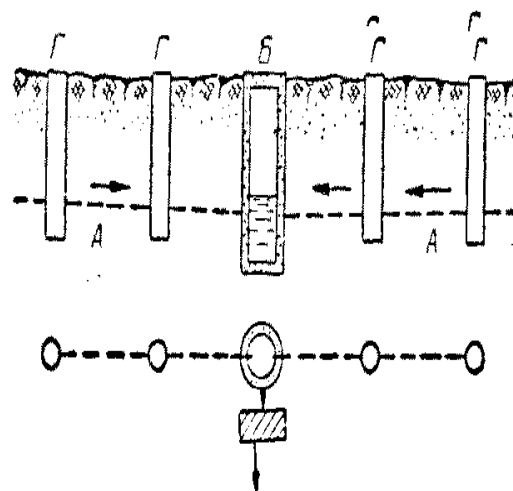


Рис 7.7 Схема горизонтальных водосборов:

А - сборные трубы; Б – водосборный колодец; Г - смотровые колодцы

стали, а к проволоке прикрепляют сетку 9 из тонкой проволоки латунной или из нержавеющей стали.

Проволочные и сетчатые фильтры быстро подвергаются коррозии, и их приходится заменять новыми. Однако такие фильтры еще широко применяются ввиду простоты изготовления.

Каркасно-стержневой фильтр рис. 7.6, г устраивают не из труб, а из стальных стержней 11, закрепленных в опорных поясах 12. На каркас наматывают по спирали проволоку (1,5 – 2 мм) из нержавеющей стали 7 с расстоянием между витками от 0,5 до 5 мм. Каркас изготавливают в виде звеньев длиной до 3 м, соединяемых между собой патрубками. С применением такого рода каркасов расход металла уменьшается на 30 – 40%, а скважность каркаса увеличивается до 60%.

Гравийный фильтр рис. 7.6, д устраивают на каркасе из дырчатой трубы 6. На каркас напаяют проволоку 7, а к проволоке прикрепляют сетку 9. Пространство между сетками заполняют песчано-гравийной обсыпкой. Применяют его при мелких песках водоносного горизонта с крупностью частиц 0,1 - 0,25 мм. Гравийные фильтры могут быть клееными и керамиковыми.

Щелевые фильтры могут быть сделаны из пластмассы рис.7.6, е, нержавеющей стали. Скважность фильтров из пластмассы достигает 25 – 30%; они устойчивы против коррозии. Щелевые фильтры применяют в крупнозернистых песках. Фильтры с очень узкими щелями можно применять в мелкозернистых песках.

Лучевые водозаборы. Активно развивающееся строительство привело к необходимости устройства дополнительных водозаборных сооружений. Но стесненные городские условия не позволяли занимать большие площади под водозаборы. Кроме того, зоны санитарной охраны водоисточника так же нуждались в обширных территориях. Данная ситуация требовала немедленного поиска новых решений в получении воды из подземных источников.

Таким решением явились лучевые водозаборы. Устройство лучевого подземного водозабора позволяет вести откачку подземных вод с очень маленьких площадок, однако, при этом по производительности ничуть не уступает множеству мелких скважин.

Лучевой водозабор является сооружением инфильтрационного типа, используемым для забора подрусловых и подземных вод из водоносных пластов небольшой мощности. Он представляет собой шахтный колодец с веерообразно расположенными горизонтальными скважинами. Приём воды осуществляется за счёт горизонтальных стальных перфорированных дрен (лучей), которые выходят радиально из нижней части шахтного колодца в водоносный пласт.

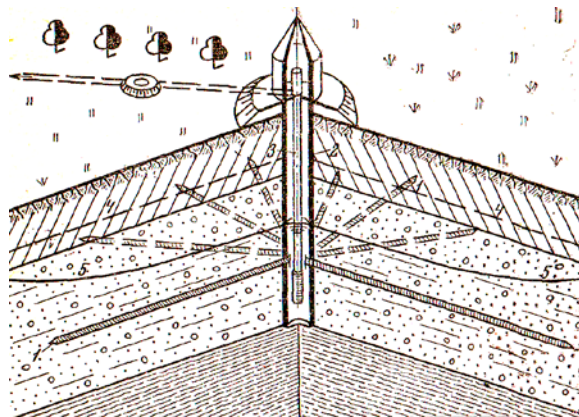


Рис. 7.8. Лучевой водозабор

1 – горизонтальные радиальные скважины (дрены); 2 – водосборный шахтный колодец;
3 – насос; 4 – естественный уровень грунтовых вод; 5 – сниженный уровень грунтовых вод

Вода из водоносного пласта поступает в дрены через щелевые или круглые отверстия лучевых фильтровых труб, стекает по ним в водосборный колодец и откачивается насосом, подающим её в водовод на поверхность земли. Дрены устраивают диаметром 80...250 мм, длиной до 80 м. Лучи длиной 60 м и более выполняют телескопической конструкции (с уменьшением диаметра труб). Угол между лучами длиной до 30 м должен быть не менее 30° .

Шахта лучевого водосбора представляет собой бетонный или железобетонный круглый в плане водосборный колодец диаметром 1...6 м. Она служит для создания надлежащих условий бурения горизонтальных скважин, для размещения водоподъёмного, для аккумуляирования некоторого запаса воды и в качестве фундамента для наземного служебного павильона.

В стенках шахты при её сооружении оставляют лучевые гнёзда, количество которых должно быть в два раза больше числа горизонтальных скважин, на случай замены их или дополнительной прокладки для увеличения производительности лучевого водосбора.

Водосборный колодец при производительности водозабора до 200 л/с устраивают односекционным, а при большей производительности он должен быть разделён на две секции.

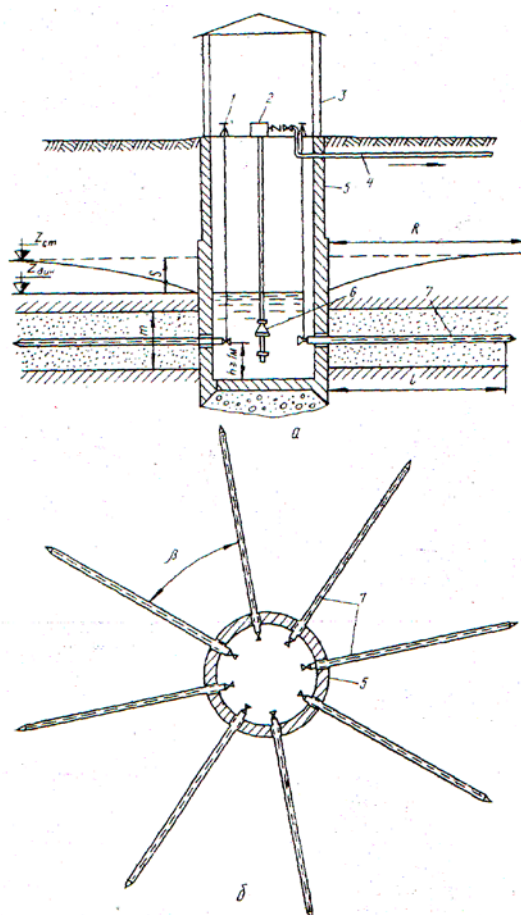


Рис. 7.9. Общая схема лучевого водозабора

а – разрез, б – план

1 – механизм управления задвижками; 2 – электродвигатель; 3 – наземный (служебный) павильон; 4 – напорный трубопровод к объекту водоснабжения; 5 – шахта; 6 – насосы; 7 – горизонтальные скважины (дрены)

На рисунке 7.9 показана общая схема водозабора, из которой видно, что вода, поступающая по горизонтальным скважинам (дренам) 7 в шахту 5, заполняет её водой. При этом расстояние от дна шахты до горизонтальной скважины должно быть не менее 1 м. Дрены оснащены задвижками 1, которые управляются при помощи механизма, находящегося в наземном павильоне 3. Далее при помощи насоса 6, электродвигатель 2 которого также расположен в наземном павильоне, вода поднимается на поверхность и по напорному трубопроводу 4 направляется к объекту водоснабжения.

Первым, кому удалось спроектировать и внедрить лучевой водозабор, был американский инженер-нефтяник Лео Ренней. На основе его проекта по заказу Лондонского водопровода в 1934 году был построен лучевой водозабор на берегу реки Темзы вблизи Санберри-Кросс. Его строительство заняло всего несколько недель. Лучевой водозабор получил всеобщее одобрение не только потому, что давал более 100 л воды в секунду, но также, потому что был недоступным для немецких бомб, снарядов и фауст-патронов, которые обрушивались на Британские острова в годы второй мировой войны и продолжал успешно снабжать население питьевой водой.

В зависимости от места расположения водоёма лучевые водосборы подразделяются на следующие основные типы (рис. 7.10): **русловые** – при расположении лучей под дном реки (со сборным колодцем на берегу реки или в русле); **береговые** – при расположении лучей на берегу реки; **комбинированные** – при расположении горизонтальных скважин в береговой зоне и под дном реки; **водораздельные** – при расположении самого водосбора на значительном удалении от открытых водотоков и водоёмов.

В зависимости от числа горизонтов водоприёмных лучей различают одно- и многоярусные лучевые водосборы. В некоторых случаях применяются водосборы с наклонными лучами – восходящими и нисходящими.

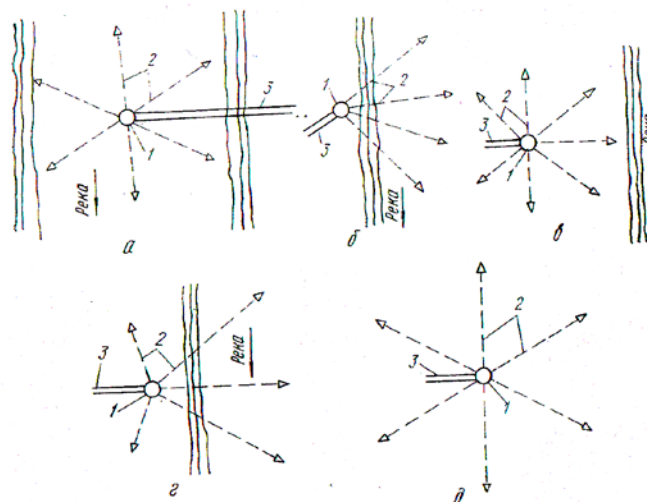


Рис. 7.10 Основные типы лучевых водосборов:

а, б – русловые; в – береговой; г – комбинированный; д – водораздельный;
1 – шахта; 2 – горизонтальные скважины; 3 – напорный трубопровод

При проектировании лучевых водосборов необходимо учитывать мощность водоносного пласта m . Горизонтальные скважины следует располагать на глубине $0,5m$ для напорного пласта и $(0,3...0,4)m$ – для безнапорного. Оптимальное число находится в пределах $2...6$.

Устройство горизонтальных дрен осуществляется методом задавливания труб в грунт. Сущность метода заключается в проталкивании в грунт из шахтного колодца горизонтальных труб с помощью двух спаренных гидравлических домкратов, развивающих усилие около 100 т. Горизонтальный луч набирается из коротких фильтровых патрубков (рис. 7.11). Для продавливания грунта используют заострённую буровую головку, которая ползёт вперёд, захватывая специальными шламосборными отверстиями разжиженный грунт (шлам) из водоносного пласта.

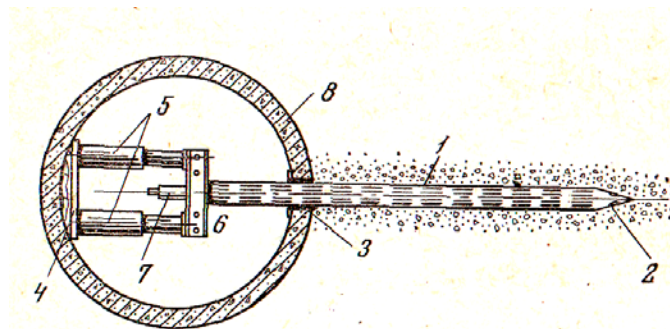


Рис. 7.11. Проходка горизонтальных скважин задавливанием труб в грунт из шахтного колодца (вид сверху)

1 – фильтровая труба; 2 – буровая головка; 3 – направляющий патрубок с уплотняющим сальником; 4 – упорная балка с брусом; 5 – гидравлические домкраты; 6 – нажимное устройство; 7 – шламовая труба; 8 – шахтный колодец

Применяются два типа буровых головок: открытая (рис. 7.12) и ударно-рыхлительная буровые головки. Отличительной особенностью открытой буровой головки является большая шламосахватная способность. Острые кромки шламосаборного отверстия врезаются в грунт, который вместе с водой по специальной (шламовой) трубе стекает в шахтный колодец. Благодаря конструкции этой буровой головки почти полностью снимается лобовое сопротивление грунта продавливанию лучевых труб. Ударно-рыхлительная буровая головка использует свойство грунта терять устойчивость и течь под воздействием вибраций. Благодаря вибрациям заострённого подпружиненного наконечника буровой головки происходит разрушение грунта. В результате чего он приходит в подвижное состояние и начинает течь вдоль поверхности головки. Боковые приёмные отверстия захватывают часть этого грунта, освобождая в земле место, куда проталкивается буровой снаряд.

Горизонтальные трубы продвигаются в грунт посредством гидравлических домкратов, установленных в шахтном колодце.

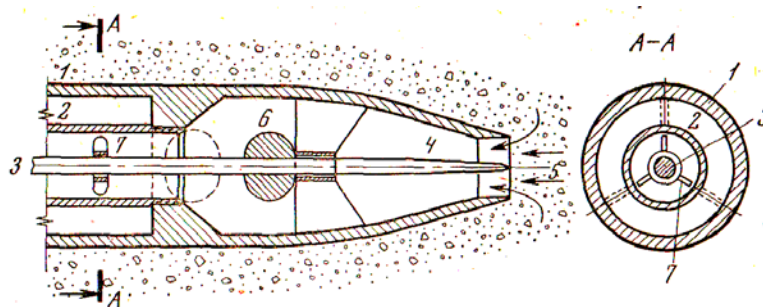


Рис. 7.12. Открытая буровая головка

1 – задавливаемая в грунт фильтровая труба; 2 – шламовая труба; 3 – буровая штанга; 4 – ударный наконечник буровой штанги; 5 – шламосаборное отверстие; 6 – запорный клапан; 7 – фиксирующая шламовые трубы крыльчатка

Кроме буровых головок пассивного действия описанных выше существуют также «активные» головки – самоходы. Движение их происходит за счёт потока воды, подаваемой насосом по шлангу или трубе. Выходя через щели в головке,

вода размывает грунт и в образовавшуюся свободную полость входит буровой снаряд. Другая часть подаваемой воды заворачивает по специальным отверстиям назад и с силой выбрасывается наружу (рис. 7.13).

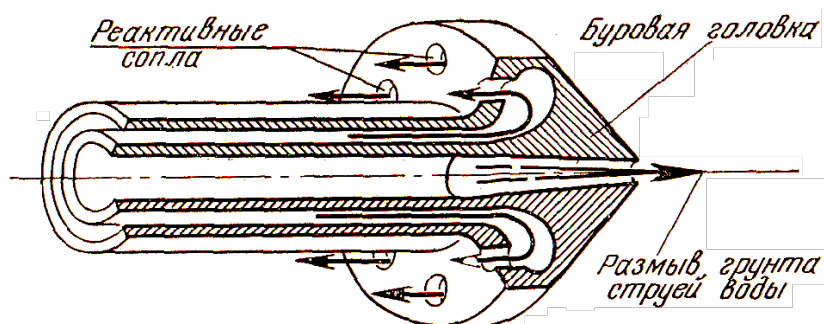


Рис. 7.13. Реактивно-гидравлическая буровая головка для проходки горизонтальных скважин

Практика показала, что лучевые водозаборы классического типа строить непросто, так как колодец необходимо сооружать в сильно обводнённых крупнозернистых местах, где нередко встречаются валуны.

В связи с этим предлагались различные конструкции и способы устройств лучевых водозаборов, основанных на отказе от строительства шахтных колодцев. Гидравлический способ заключается в следующем, в вертикальную скважину опускаются вложенные друг в друга патрубки разного диаметра. Для облегчения вдавливания патрубков, по внутреннему, самому малому, в грунт подаётся под напором вода, производящая гидромониторное действие.

Кроме этого, была предложена конструкция бесшахтного лучевого водозабора, устраиваемого из скважины путём вдавливания в грунт дренажных трубок. Дренажные трубки сложены в специальной кассете, которые посредством пружинного домкрата выстреливаются в грунт одна за другой. Предлагалось также опускать в заранее пробурённую скважину веерообразный пучок дренажных труб, а потом раскрывать их в грунте подобно зонту.

Все эти изобретения возможно использовать в рыхлых грунтах, т. е. песчаных, песчано-галечных, гравелистых. Но они не могут быть применены при строительстве в скальных породах. В таких условиях необходимо применять механическое, например, вращательное бурение. В землю вгрызаются стальные долота, которые измельчают породу, превращая её в песок. Только после этого она может быть вымыта струёй воды из скважины.

Наклонно-горизонтальные лучевые скважины направленного бурения в диаметре составляют всего 0,1...0,3 м (рис. 7.14). Работы по бурению наклонно-горизонтальных скважин ведутся навстречу друг другу и пересекаются в одной точке. Затем в месте их пересечения бурится вертикальная скважина, которая соединяет все трассы в один узел, куда устанавливается насос для откачки воды.

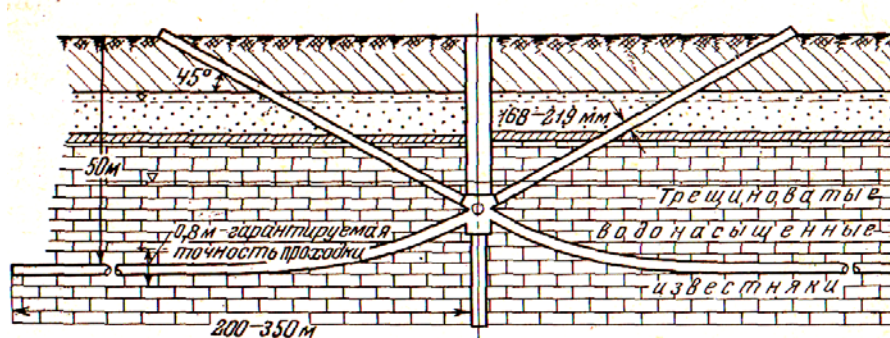


Рис. 7.14. Наклонно-горизонтальные лучевые скважины направленного бурения

Одна из последних установок позволяет осуществлять всё управление проходкой горизонтальных скважин с поверхности земли, погружной гидроагрегат для бурения опускается в скважину, прямо в воду. Фильтровые трубы ввинчиваются в грунт, вертикальные скважины при этом имеют диаметр 0,8 м и длину лучей 30 м.

При проектировании лучевых водозаборов необходимо учитывать, что количество отбираемой дренами воды уменьшается на 15...30% из-за их взаимного влияния и на 20...30% в результате кольтматации грунта.

Для расчёта лучевых дрен используют приближённые методы, применяя расчётные зависимости для обычных дрен и горизонтальных водосборов с введением в них различных поправочных коэффициентов.

Горизонтальные водосборы см. рис. 7.15 состоят из водосборных труб А, водосборного колодца Б и смотровых колодцев Г, которые служат также вентиляционными. Вода по трубам А поступает в водосборный колодец Б самотеком, но может поступать и под воздействием создаваемого вакуума. Из водосборного колодца вода забирается насосами.

Горизонтальные водосборы применяют при неглубоком (до 5 – 8 м) залегании водоносного горизонта и небольшой его мощности (до 2 – 3 м), а

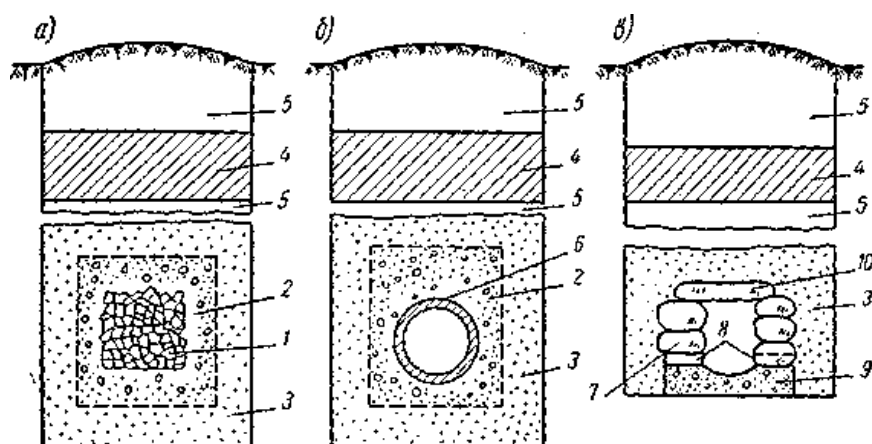


Рис. 7.15 Горизонтальные водосборы:

- 1 – кладка из рваного камня или щебня; 2 – гравий; 3 – крупнозернистый песок; 4 – экран из мягкой глины; 5 – засыпка местным грунтом; 6 – трубка керамическая, железобетонная или асбестоцементная с отверстиями; 7 – камни; 8 – отверстия для притоков воды; 9 – бетонная плита с лотком; 10 – каменная плита

также в тех случаях, когда требуется захватить подземный поток на возможно большей ширине.

Трубы следует укладывать перпендикулярно направлению движения подземного потока с уклоном не менее 0,001 к сборному колодцу.

Можно устраивать водосборы из труб небольшого диаметра или галерей простейшего типа рис. 7.15 в виде сложенных насухо камней, обсыпанных гравием.

Для приема воды в стенках труб устраивают круглые отверстия диаметром 8 мм или щели размером 10 x 100 мм. Керамические и бетонные трубы малого диаметра применяют без отверстий в стенках, но укладывают их без заделки стыков, через которые поступает вода.

Крупные горизонтальные водосборы выполняют из железобетонных труб яйцевидного сечения с круглыми или щелевыми отверстиями с обеих сторон. Иногда устраивают проходные водосборные галереи. Горизонтальный водосбор должен быть обсыпан сверху и с боков слоями гравия с увеличивающейся к водосбору крупностью.

Шахтные колодцы могут выполняться из бетона, железобетона, кирпича, бутового камня и дерева. Чаще всего шахтные колодцы строят опускным способом, поэтому они имеют круглую форму в плане деревянные колодцы, выполняемые в виде сруба из бревен, имеют квадратную форму в плане.

Для приема воды дно шахтных колодцев устраивают в виде так называемых обратных фильтров путем послойной засыпки крупнозернистых материалов с постепенным увеличением крупности зерен снизу вверх рис. 7.16.

В боковых стенках бетонных и железобетонных колодцев создают водоприемные отверстия путем закладки в них труб при бетонировании.

В кирпичных и бутовых колодцах водоприемными отверстиями служат не заполненные раствором сквозные швы. При мелкозернистых грунтах водоприемные отверстия в стенках шахтных колодцев целесообразно выполнять V – образной формы (гравитационные фильтры), заполняя их песком или гравием по типу обратных фильтров. Такая загрузка не вымывается в колодец.

Для повышения дебита шахтных колодцев увеличивают площадь донного фильтра путем уширения их основания. Значительного увеличения дебита можно достигнуть, устроив радиально расположенные горизонтальные трубчатые фильтры. Такие водоразборы называют лучевыми.

Вокруг колодцев рекомендуется делать глиняный замок и отмотку из булыжника на песчаном основании. Стенки колодца следует возводить выше поверхности земли не менее чем на 0,8 м. это исключает засорение колодца и поступление в него поверхностных стоков.

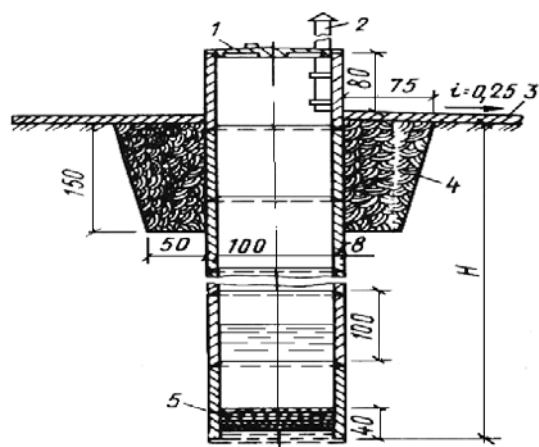


Рис. 7.16 Шахтный колодец из железобетонных колец

1 – железобетонная крышка; 2 – вентиляционная асбестоцементная труба диаметром 150 мм; 3 – отмотка щебнем, втрамбованным в грунт, слоем 10 см; 4 – глиняный замок; 5 – обратный фильтр

Для получения значительных расходов воды устраивают несколько шахтных колодцев, которые располагают перпендикулярно направлению потока грунтовых вод. Воду из каждого колодца отводят по сифонным, а иногда и по самотечным линиям в сборный колодец, из которого ее перекачивают насосами на очистную станцию или к потребителям рис. 7.17.

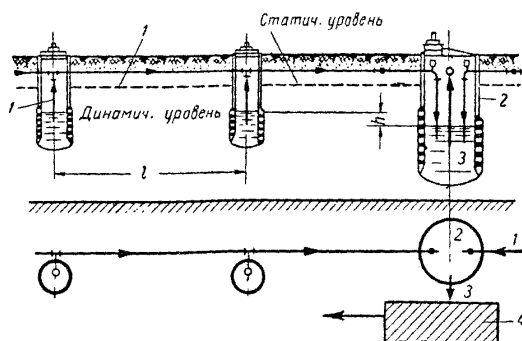


Рис. 7.17 Схема шахтного водосбора:
1 – сифонный водосбор; 2 – сборный колодец;
3 – всасывающая труба; 4 – насосная станция

Каптаж

Подземную родниковую воду, выходящую на поверхность, забирают посредством так называемых каптажей. Под каптажем ключа понимается обделка выхода воды с целью использования ее. Выход напорной воды называют восходящим ключом, безнапорной – нисходящим.

Вода восходящих ключей принимается через дно каптажного сооружения, как показано на рис. 7.18.

Здесь ключ выходит из песков и поэтому на дне его сделана засыпка только из гравия и гальки.

ключей.

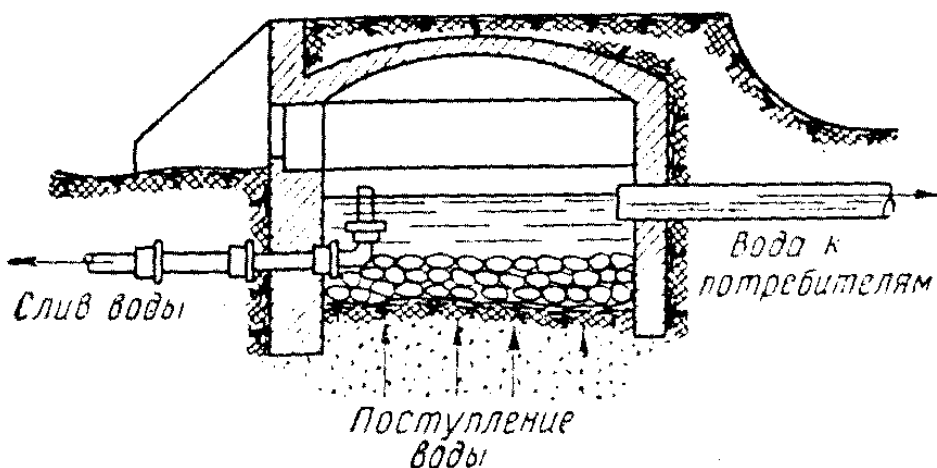


Рис. 7.18 Сооружение для приема восходящего ключа

Для поддержания постоянного рабочего уровня предусмотрена переливная труба, сбрасывающая воду, как только уровень поднимается выше установленного

На рис. 7.19 показано каптажное сооружение нисходящего ключа; в стене имеются отверстия, куда поступает вода из водоносного пласта.

Каптажи выполняют из кирпича, бетона, железобетона и местного камня. При устройстве каптажей необходимо предусмотреть мероприятия препятствующие проникновению в них загрязненной поверхностной воды.

Водосборы инфильтрационного типа. Воды, содержащиеся в порах между зернами грунта в результате их инфильтрации (просачивания) из поверхностных водоемов, занимают промежуточное место между поверхностными и подземными водами. По своему происхождению они в основном речные, а после инфильтрации в грунт смешиваются с грунтовыми водами, приобретая некоторые их свойства.

Если берег реки (или ее русло) сложен водопроницаемыми породами, речная вода насыщает их, образуя своеобразный грунтовый поток, движущийся (но с гораздо меньшей скоростью) в том же, что и река, направлении. Этот грунтовый поток называют обычно подрусловым потоком. Границы его (нижняя и боковые) определяются в основном характером залегания водонепроницаемых пород.

Для отбора воды из подруслового потока используются водозаборные сооружения инфильтрационного типа. Эти сооружения по принципу своей работы близки к рассмотренным выше сооружениям для приема подземных вод, а по устройству точно такие же. Для забора подрусловых вод могут применяться трубчатые скважины и шахтные колодцы, горизонтальные водосборы. Водосборы инфильтрационного типа могут располагаться вдоль русла реки, а горизонтальные водосборы и под руслом реки. На рис. 7.20 показана схема работы водосбора, расположенного вдоль русла реки. В данном случае в качестве водозаборного сооружения использован ряд трубчатых колодцев **К**.

Поступающий из реки в грунт инфильтрат может вызвать усиление процесса заиления (кольматации) поверхности ложа реки взвесью, содержащейся в речной воде. Поэтому скорости фильтрации воды из реки в грунт не должны быть значительными.

Использование водосборов инфильтрационного типа имеет следующие преимущества:

1. Получаемая вода почти полностью освобождается от взвеси содержащейся в речной воде, и цветность ее понижается;
2. Фильтрация воды через грунт значительно повышает ее качество;

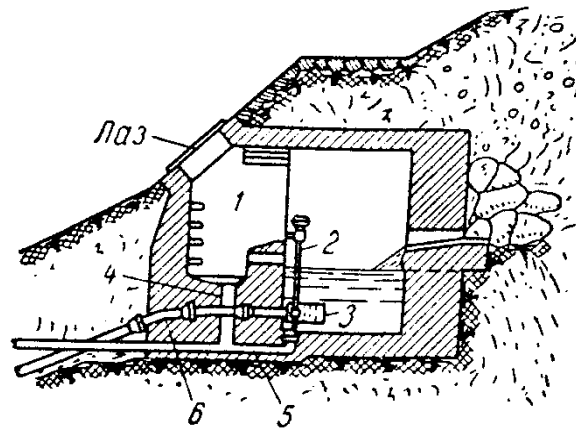


Рис. 7.19 Сооружение для приема нисходящего ключа

1 – смотровая камера; 2 – штук для регулирования спуска воды; 3 – приемный клапан; 4 – переливная труба; 5 – грязевая труба; 6 – всасывающая труба

3. Исключаются затруднения, связанные с приемом воды из шугоносных рек.

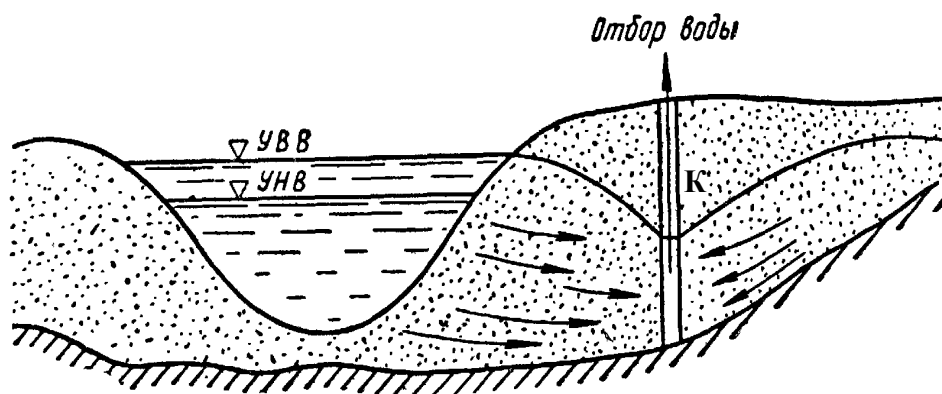


Рис . 7.20

Кроме того, инфильтрационные водоприемники позволяют успешно забирать воду из рек с малой глубиной, а также из рек с неустойчивым руслом.

Конструкции трубчатых колодцев, применяемых для инфильтрационных водоприемников, типы применяемых фильтров, сифонов, насосов те же, что и при приеме подземных вод.

Обычно трубчатые колодцы, располагаемые вдоль русла реки, соединяются сифонными линиями, подводящими воду к насосной станции.

7.3 Поверхностные воды и водоприемные сооружения для забора поверхностных вод

К поверхностным водам относят реки, озера, водохранилища и моря.

Основным фактором, влияющим на выбор места водозаборного сооружения для хозяйственно-питьевых целей, является санитарное состояние местности, в частности возможность организации зоны санитарной охраны. Поэтому при выборе источником водоснабжения реки водозаборные сооружения следует располагать по течению реки обязательно выше населенных пунктов и промышленных объектов, которые могут загрязнять их. Учитывая это, иногда приходится водозаборные сооружения относить на значительные расстояния от населенного пункта.

Местоположение водозаборных сооружений выбирают на основе детальных исследований, которыми устанавливают устойчивость русла на выбранном участке и выше его, гидрологические и гидрометрические показатели водоема, режим расходов и горизонтов, ледовые режимы и геологическую характеристику участка.

Водоприемные сооружения следует располагать на участке реки с устойчивым руслом и с достаточными для забора воды постоянными глубинами.

Благоприятный гидравлический режим речного потока чаще всего бывает у вогнутых берегов. Такие берега значительно меньше заносятся песком, который оказывает отрицательное влияние на работу водозаборных сооружений.

Неблагоприятные условия эксплуатации водозаборных сооружений создаются на выгнутых участках берега, перекатах, на реках с изменяющимся руслом, с перемещающимися песчаными островами. Если же необходимо располагать сооружения в таких местах, то должны быть приняты меры к закреплению островов.

Нельзя располагать водозаборные сооружения на берегах, где могут возникнуть оползни.

Существенным фактором в выборе местоположения водозабора является также образование в реке подводного льда и шуги, которые могут закупорить решетки приемных окон водоприемных сооружений. Во избежание этого следует предусматривать мероприятия, предохраняющие водоприемные сооружения от вредного воздействия шуги и подводного льда.

В зависимости от глубины реки, величины колебания уровней воды и строения грунтов берега выбирают различные конструктивные формы водозаборных сооружений.

По месту расположения водоприемные сооружения подразделяют на береговые, русловые, комбинированные и ковшовые. Первые три типа сооружений могут быть раздельного и совмещенного типа с насосной станцией. Временные водоприемники применяют трех типов: эстакадные, передвижные (на колесах) и плавучие.

Береговые водоприемники устраивают двух основных типов: раздельные или совмещенные с насосными станциями. Их сооружают на реках с достаточной глубиной воды у берега.

При прочных скальных или плотных глинистых грунтах, когда исключена возможность неодинаковой осадки отдельных частей всего сооружения, водоприемник сооружают вместе с насосной станцией (совмещенные).

Береговой водоприемник раздельного типа рис. 7.21 представляет собой колодец, разделенный на секции для обеспечения бесперебойного приема воды в случае ремонта. Колодец сооружают непосредственно у берега. Вода из источника поступает в колодец через приемные окна, которые перекрываются решетками с вертикально расположенными металлическими стержнями диаметром 6 – 10 мм с расстоянием в свету 30 – 100 мм. Приемные окна располагают на разных уровнях, с тем, чтобы забирать более чистую воду в разные периоды года.

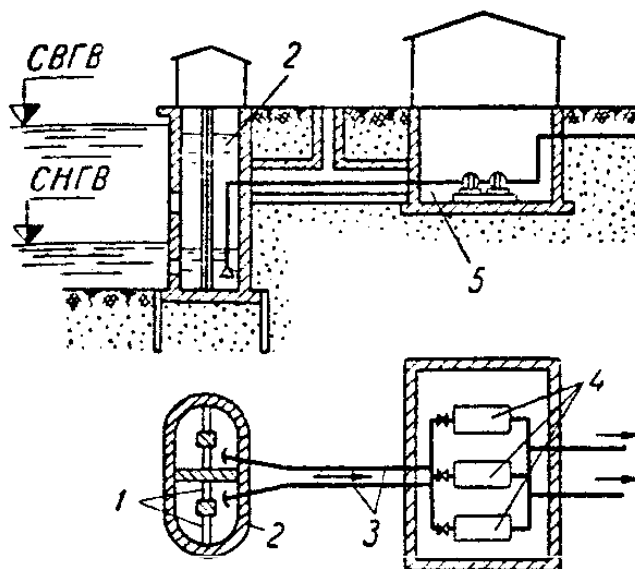


Рис . 7.21 Тип раздельного водоприемника:
1 – плоские сетки; 2 – водоприемник; 3 – всасывающие трубы; 4 – электронасосы; 5 – насосная станция первого подъема

Во время половодья, когда в нижних слоях потока проносится большое количество взвешенных веществ, нижние приемные окна закрывают, и вода поступает через верхние окна, а при низких горизонтах она поступает через нижние.

Размеры приемных окон и их число определяют по расчетному количеству забираемой воды и расчетной входной скорости. Скорости движения воды через окна в водоприемниках берегового типа принимают 0,4 - 1,0 м/сек, а в окнах затопленных оголовков, удаленных от берега, - 0,2 - 0,6 м/сек; при заборе из шугоносных рек и каналов - 0,2 - 0,6 м/сек.

Чтобы очищать решетки, их делают съемными и устанавливают в направляющих из швеллеров. Внутри колодца монтируют сетки (с отверстиями в 4 – 5 мм) для задержания из воды крупных взвешенных частиц.

Высота водоприемника должна быть такой, чтобы площадка управления затворами была не менее чем на 0,5 м выше самого высокого горизонта воды. Осадок удаляют из водоприемника при помощи эжектора, устанавливаемого в нижней части водоприемника.

Из колодца вода по всасывающим трубам забирается насосами и подается по назначению.

Береговой водоприемник, совмещенный с насосной станцией, отличается компактностью.

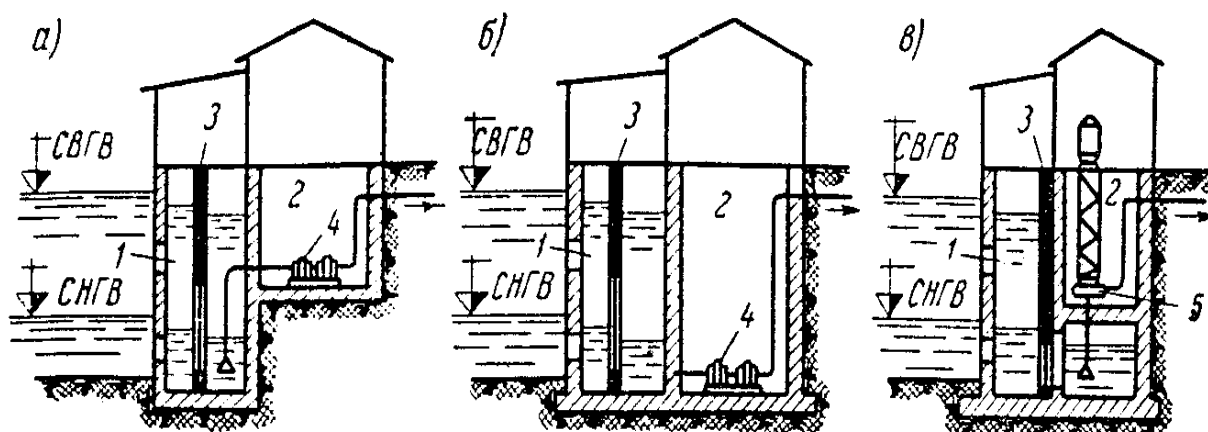


Рис. 7.22. Тип водоприёмника, совмещённого с насосной станцией:

1 – водоприёмное отделение; 2 – насосное помещение; 3 – плоские сетки;
4 – горизонтальный центробежный насос; 5 – вертикальный центробежный насос

На рис. 7.22, а и б показаны типы водоприемников, оборудованных горизонтальными насосами, а на рис. 7.15, в – вертикальными насосами. В последнем случае вода поступает в подвальную часть насосного отделения, имеющую перекрытие, на котором размещают насосы.

Это перекрытие должно быть водонепроницаемо и рассчитано на давление воды снизу при самом высоком горизонте воды в реке. В приемнике рис. 7.22, б насосы устанавливают ниже уровня воды в реке, т. е. они всегда залиты водой, и в этом случае нет надобности в вакуум-насосе для пуска насосов.

Водоприемники русловые (трубчатые) с самотечными трубами применяют для забора воды из рек с пологими берегами, когда требуемые для забора воды глубины реки находятся на некотором расстоянии от берега.

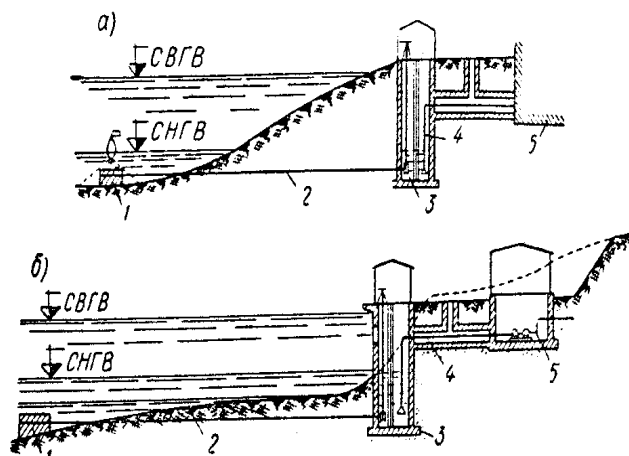


Рис. 7.23 Тип водоприемника с самотечными линиями:
а — без окон в береговом колодце; б — с окнами

На рис. 7.23 изображена схема руслового водоприемника. Вода из реки поступает в оголовок 1, из которого по трубам 2 самотеком направляется в береговой колодец 3, а из него посредством всасывающих труб 4 забирается насосами 5.

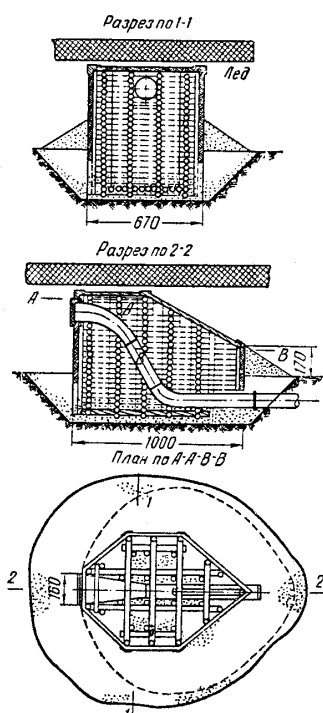


Рис. 7.24 Ряжевый оголовок

Дно колодца заглубляют не меньше чем на 0,5 м ниже самотечной трубы. Число самотечных труб принимают не менее двух в расчете на аварийный случай и для промывки.

Скорость движения воды в трубах принимают не менее 0,7 м/сек. Для уменьшения количества взвешенных веществ, захватываемых потоком воды, самотечные трубы заканчиваются воронками с раструбами, повернутыми вниз по течению, а иногда направленными вверх.

Минимальный слой воды над оголовком при ледоставе принимают не менее 0,2 м, а при самом низком горизонте воды безо льда — 0,3 м. Низ самотечных или всасывающих труб в подводной части устанавливают на уровне не менее 0,5 м от дна реки.

На рис. 7.24 показан ряжевый оголовок, а на рис. 7.18 — оголовок в виде бетонного массива обтекаемой формы, заключенный в металлический кожух. При наличии легко размываемых грунтов в основании оголовка необходимо предусмотреть крепление дна реки вокруг последнего тяжелыми фашинами,

фашинными тюфяками или каменной наброской.

Ковшовые водоприемники для забора - больших количеств воды применяют для борьбы с шугой, подводным льдом и с целью уменьшения количества захватываемых из реки наносов. Ковши представляют собой каналы, отделяемые от основного русла дамбами. Вода в ковшах движется со значительно меньшими скоростями порядка 0,05 – 0,10 м/сек, что и является причиной попадания в ковш лишь незначительного количества шуги и меньшего захвата из воды наносов. Периодически ковши необходимо очищать от осадка.

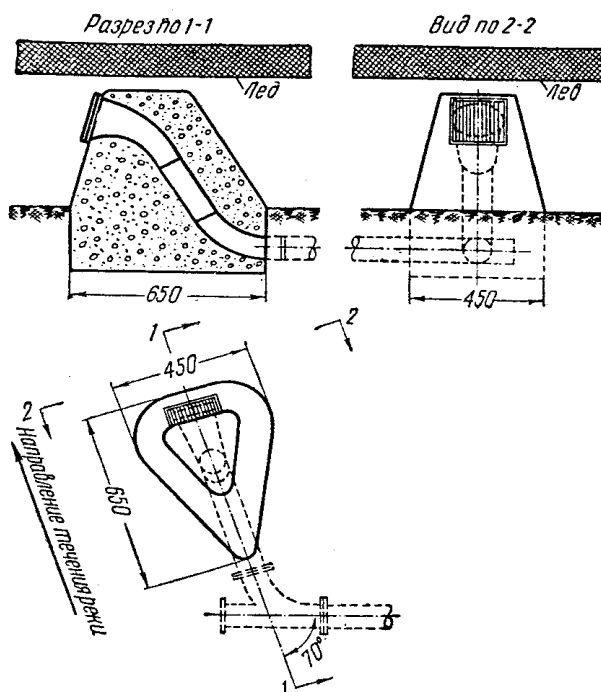


Рис. 7.25 Бетонный оголовок с металлическим кожухом

Применяют также ковши с двумя входами, т. е. двойного питания рис. 7.19, в.

Схема устройства ковшовых водозаборов в плане показана с входом воды в него против течения рис. 7.26, а. Ковши с входом по течению рис. 7.26, б питаются в основном поверхностными струями. Такие ковши применяют в реках, имеющих большое количество взвешенных веществ, но мало шугоносных.

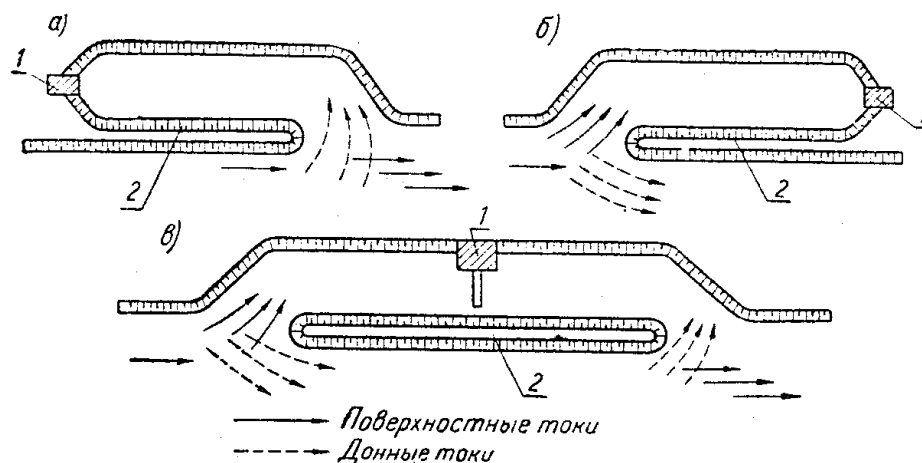


Рис. 7.26 Схемы ковшовых водоприемников:
1 – водозаборное сооружение; 2 – дамба

Водоприемники из водохранилищ и озер сооружают, учитывая ряд специфических факторов, из которых главные – цветение, зарастание водной растительностью и заиливание.

В большинстве случаев для забора воды применяют береговой тип совмещенных или отдельных водозаборов. Однако не исключается возможность устройства сооружений и руслового (трубчатого) типа. Необходимо предусмотреть прием воды с нескольких уровней, чтобы иметь возможность забирать воду наиболее чистую. Для этого концы приемных труб делают подъемными рис. 7.27, а или с поплавками рис. 7.27, б.

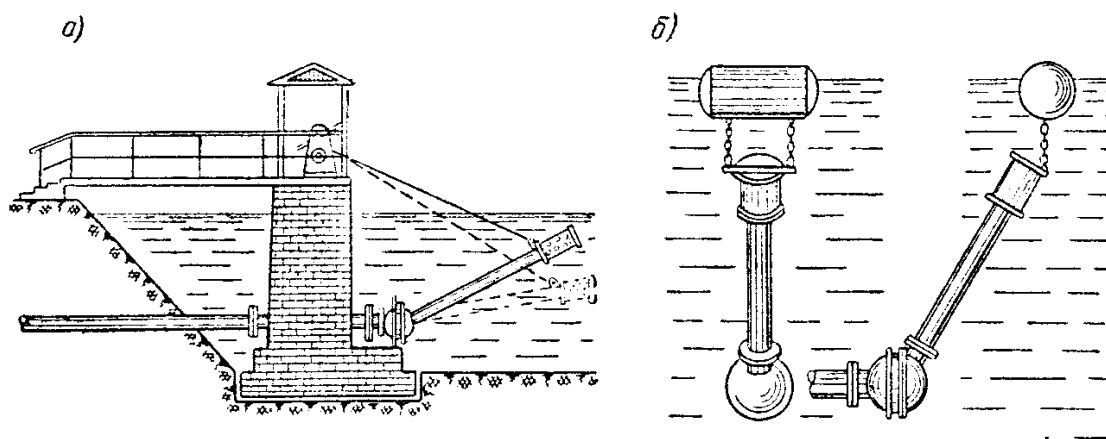


Рис. 7.27 Водоприемники с поплавками на приемных трубах

В водозаборных сооружениях автоматически контролируется и сигнализируется на диспетчерский пункт образование шуги, необходимость электрообогрева или подачи теплой воды, предельно допустимый перепад уровней на водоочистных сетках и решетках, характеризующий степень их засорения.

8.Надежность систем водоснабжения

8.1 Общие понятия

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

Обеспечение надежности систем водоснабжения является одной из основных задач при их проектировании. Система водоснабжения должна быть запроектирована и построена так, чтобы она не только была способна выполнять свои функции, но и фактически в процессе эксплуатации обеспечивала в заданной степени их бесперебойное выполнение.

Пример 8.1 У системы водоснабжения может наступить механическое или электрическое повреждение – при этом она перестает выполнять свои функции. Эта система также считается неработоспособной, если, например, вышли за допустимые пределы количество подаваемой воды, снизилось давление в критических точках, качество воды ухудшилось.

Если по каким-то причинам нормальное функционирование системы нарушается и снижение качества обслуживания объекта превышает допустимые (предусмотренные нормами) пределы, то имеет место «отказ» системы.

Причинами отказов могут быть различные события: повреждение линий транспортирования воды (водопроводов, трубопроводов распределительной сети), повреждение насосов, прекращение подачи электроэнергии на насосные станции, недопустимое снижение уровня воды в источнике водоснабжения, загрязнения воды в водоеме и т.д. Некоторые из этих событий могут повлечь за собой даже полное (или временное) прекращение подачи воды снабжаемому объекту.

Так как большинство отказов водообеспечения вызывается различными случайными факторами, которые обычно заранее предвидеть невозможно, численная оценка надежности системы водоснабжения носит вероятностный характер и может быть получена в результате анализа и обработки статистических данных, накопленных в результате регистрации подобных событий. Математической основой надежности являются теория вероятностей и математическая статистика, позволяющие учесть случайные факторы.

Пример 8.2 Если представить участок водопроводной сети, состоящий из стальных труб, то на безотказную работу этих труб влияют следующие факторы: брак при их заводском изготовлении, качество их стыковки и прокладки, отсутствие блуждающих токов в этой зоне, свойства грунта, присутствие или отсутствие подземных вод, изменяющих свойства грунта, величины статических и динамических нагрузок на поверхности земли и многие другие факторы. Все они являются случайными и их совместное действие прогнозировать практически невозможно.

8.2 Основные показатели надежности.

Основным показателем надежности сооружений и установок в системе водоснабжения является вероятность их безотказной работы, то есть вероятность того, что в пределах заданного времени (или наработки) отказ рассматриваемого объекта не наступит.

Обозначим через $P(t)$ вероятность безотказной работы (вероятность того, что система будет сохранять свои рабочие параметры в заданных пределах в течение определенного промежутка времени t при определенных условиях эксплуатации). Если обозначить за $Q(t)$ вероятность отказа, то в любой момент времени t система будет находиться в одном из состояний – рабочем или в состоянии отказа, поэтому

$$P(t) + Q(t) = 1 \quad (8.1)$$

в любой момент времени. Напомним, что величины $P(t)$ и $Q(t)$ всегда меньше единицы и положительны.

Все системы водоснабжения в целом и их основные подсистемы являются восстанавливаемыми объектами. Показатели их надежности различаются по безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

Безотказность – это свойство водопроводных сооружений и систем сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. Безотказность является основной характеристикой для большинства видов оборудования.

Пример 8.3 Центробежный насос, задвижка, пожарный гидрант проработают безотказно в течение проектной наработки без ремонтов.

Долговечность – свойство водопроводных сооружений и систем сохранять работоспособность до наступления предельного состояния после которого применение по назначению недопустимо или нецелесообразно при установленном порядке технического обслуживания и ремонтов.

Пример 8.4 Трубы, колодцы или другое оборудование имеют определённый срок службы, после которого наступает предельное состояние и необходим капитальный ремонт.

Ремонтпригодность – приспособленность сооружений и систем водоснабжения к обнаружению и устранению отказов или повреждений путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Пример 8.5 Водопроводные трубы после наступления предельного состояния не ремонтируются, а заменяются новыми, а насосное оборудование в основном подлежит ремонту, после которого оно вновь может работать безотказно в течение некоторого времени.

В число основных показателей надежности входят

$\lambda(t)$ – интенсивность отказов, характеризует плотность вероятности возникновения отказа в рассматриваемый момент времени;

T – наработка на отказ (среднее время работы оборудования или участка трубопровода между отказами);

t_b – среднее время восстановления (ликвидация аварии).

Для численного определения значений показателей надежности различных элементов систем водоснабжения, а также внешних систем необходимо найти статистические закономерности распределения рассматриваемых случайных величин (или событий) и установить, какому из теоретических законов распределения они ближе всего соответствуют.

Для трубопроводов в качестве математической модели, описывающей закон распределения потока отказов их участков и позволяющей на практике прогнозировать число отказов и вероятность их возникновения, принимается простейший поток случайных событий, описываемый законом Пуассона.

Вероятность того, что в течение интервала времени t произойдет n отказов участков трубопровода оценивается выражением:

$$Q_n(t) = \frac{\lambda t}{n!} \cdot e^{-\lambda t}$$

Вероятность того, что в интервале времени t не будет ни одного отказа участка трубопровода длиной L , определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Продолжительность восстановления (ремонта) участков трубопроводов сети описывается выражением:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{t_s}}$$

Если функция распределения времени между отказами какого-либо объекта, полученная в результате обработки статистических данных о работе аналогичных объектов, соответствует экспоненциальному закону, то вероятность отказа этого объекта будет:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (8.2)$$

а вероятность его безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (8.3)$$

Пример 8.6 Определить $P(t)$ работы системы через 100 часов и через 1 год. Интенсивность отказов $\lambda_c = 5 \cdot 10^{-4}$, ч⁻¹

Решение

а) $t = 100$ ч, $\lambda t = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 100 = 5 \cdot 10^{-2} \leq 1$;

Применяем упрощённую формулу: $P(100) = 1 - \lambda t = 1 - 5/100 = 0,95$ или 95%

б) $t = 1$ год ($\sim 8\,000$ ч), $\lambda t = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 8000 > 1$;

упрощённая формула не может быть применена:

$P(8000) = e^{-\lambda t} = e^{-(5 \cdot 10^{-4} \cdot 8000)} = 1/54 = 0,018$ или 1,8 %

Методы обеспечения требуемого уровня надежности подачи воды

Методы повышения надежности водопроводных сооружений классифицируются по области их применения. Выделяют три группы методов:

1. Методы, применяемые при проектировании систем водоснабжения;
2. Методы, применяемые при строительстве водопроводных сооружений;
3. Методы, применяемые для поддержания надежности систем водоснабжения в процессе их эксплуатации.

Наиболее эффективными должны быть методы, применяемые на этапе проектирования систем водоснабжения или отдельных водопроводных сооружений. Здесь закладываются основные показатели надежности с учетом требований нормативных документов. На практике применяют резервирование, повышение надежности путем разработки новых, более совершенных видов оборудования и технологических схем; облегчение режимов работы оборудования; сокращение времени непрерывной его работы. При проектировании систем водоснабжения должно быть выработано наиболее надёжно работающее оборудование, в полной мере использована унификация и стандартизация устройств.

Структурное резервирование. Основным универсальным методом обеспечения требуемой надёжности систем водоснабжения, как и большинства других инженерных систем, является их резервирование, то есть введение в систему избыточности. Наиболее распространённым является метод структурного резервирования - использование в системе избыточных элементов.

Чтобы продемонстрировать приём структурного резервирования, рассмотрим простейший пример нерезервированной системы подачи воды - водопровод, состоящий из несколько последовательно соединённых элементов, рис. 8.1. Такая система может находиться в работоспособном состоянии (то есть вода будет поступать из пункта А в пункт Д) только при одновременной исправности всех элементов 1, 2 и 3; отказ любого из элементов вызывает отказ всей системы. На этом примере можно убедиться, что вероятности работоспособности всех элементов независимы.

Если P_1, P_2, P_3 - вероятности безотказной работы участков системы, изображённой на рис. 8.1, то вероятность безотказной работы всей системы равна произведению вероятностей P_1, P_2, P_3 , то есть

$$P_{сист} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (8.4)$$

Если в системе n -элементов и все они включены последовательно, то

$$P_{сист} = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n \quad (8.5)$$

Вероятность отказа такой системы

$$D = 1 - P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n \quad (8.6)$$

Так как любая функция P_i не может быть больше единицы, то надёжность рассматриваемых систем уменьшается с увеличением числа элементов и всегда меньше надёжности любого из её элементов.

Резервированные системы представляют собой такие, в которые введены избыточные элементы - например, комплекс m элементов из которых n элементов обеспечивают нормальное функционирование системы. Надёжность системы возрастает с увеличением «кратности резервирования» $K = m/n$, где m - число резервных элементов, n - число основных элементов.

Повысить надёжность линии водоводов, изображённой на рис. 8.1 возможно, введя «избыточный» элемент – параллельную ей линию и установив поперечные трубопроводы, рис. 8.2

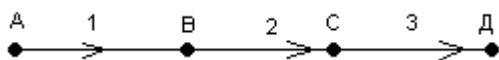


Рис. 8.1

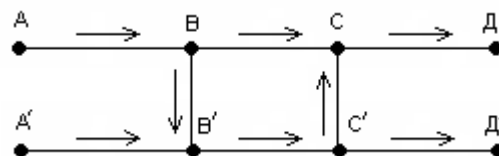


Рис. 8.2

Примером резервированной системы может служить система транспортирования воды от источника до объекта по двум или нескольким параллельно уложенным линиям водоводов; такие системы могут быть с перемычками или без перемычек.

Кольцевая водопроводная сеть представляет собой систему подачи воды с высокой степенью резервирования. Большинство точек отбора воды соединено с точками питания сети многими возможными путями, поэтому аварии

отдельных участков сети не вызывают существенного нарушения водообеспечения.

Временное резервирование является вторым принципом обеспечения надёжности систем водоснабжения и состоит в использовании резервных и аккумулирующих емкостей для хранения запасов воды, необходимых на период восстановления (ремонта) отказавших элементов системы.

Одним из наиболее частых случаев использования методов временного резервирования является устройство запасного резервуара в конечной точке водовода, транспортирующего воду на территорию объекта. Водовод может состоять из одной линии труб, а объём резервуара должен обеспечивать содержание в нём количества воды, достаточного для снабжения объекта на время (по этой причине и резервирование называется временным) ликвидации аварии на водоводе. Иногда при резервуаре необходимо устраивать насосную станцию.

Период строительства и монтажа оборудования характерен тем, что выполняемые работы должны соответствовать проектным решениям, обеспечивающим доступ ко всем устройствам, КИП и оборудованию. В этот период создаются наиболее благоприятные условия для обслуживания.

В период эксплуатации должны своевременно проводиться профилактические мероприятия по обслуживанию, а при необходимости – замена отслуживших элементов. Особое значение имеют условия хранения расходных материалов, запасных элементов и т.п.

В период эксплуатации значительную роль в повышении эффективности и обеспечении надёжности её играет фактор инженерной психологии, так как 20-50 % всех отказов происходит по вине человека вследствие плохой организации производства.

Приложение 1

Колодцы¹

Грунтовые воды потоками движутся (фильтруются) на глубине от 2 до 20 метров в водопроницаемом слое грунта, который в свою очередь, покоится на водонепроницаемом или слабопроницаемом грунте-водоупоре. Грунтовые воды встречаются повсеместно и, как правило, доступны для использования; однако не надо забывать, что их уровень очень чувствителен к количеству выпадающих осадков и это необходимо учитывать выбирая глубину колодцев. Количество и качество грунтовой воды зависит от многих условий, но, как правило, чем глубже располагаются пласты с такой водой тем чище и в большем объёме она оказывается. Грунтовые воды движутся в пластах по уклону водоупора, чаще всего в сторону понижения поверхности земли, а в наиболее низких местах – в оврагах, лощинах, на берегах рек – выходят на поверхность в виде родников, по которым колодезники достаточно точно указывают расположение и глубину будущего колодца даже на незначительном расстоянии от родниковых выходов.

¹ Журнал «Наука и жизнь», 1993, №2. В. Малаханов «Колодец, колодец, дай воды напиться».

Глубже всего под землёй располагаются напорные воды, которые перемещаются в водоносных породах, заключённых, по сути дела в природную трубу, то есть между водоупорами. Давление в залегающих таким образом породах может оказаться настолько большим, что вода по пробуренной скважине сама поднимается до уровня земли и начинает фонтанировать. Благодаря таким условиям залегания напорные воды хорошо защищены от загрязнения и это делает их наиболее подходящими для повседневного использования.

Трубчатый колодец

Чтобы определить будущую глубину колодца, иначе говоря, выяснить возможный уровень грунтовых вод, прежде всего обследуют соседние действующие колодцы. Если же в ближайшей округе их нет, то стоит изучить с помощью геологов окрестные балки, овраги, карьеры и постараться выяснить геодезические отметки выхода родников или ключей. Эти же примерно сведения при глубинном залегании вод можно получить, пробуравив предварительно разведочные скважины.

В настоящее время благодаря распространению и доступности бурового оборудования чаще всего устраивают трубчатые колодцы, которые удобны, экономны, а главное, позволяют получить чистую питьевую воду с разной глубины: от 3-5 до 80-100м от поверхности земли. Если грунтовые воды залегают неглубоко, до 5-8м, лучше всего оборудовать мелкий трубчатый колодец. Для оборудования необходимы стальные (желательно оцинкованные) трубы внутренним диаметром от 32 до 75мм а также фильтр, представляющий собой отрезок трубы длиной 1-2м со множеством отверстий диаметром 3-8мм, которые высверливают по окружности вдоль трубы на протяжении 0,8-1,2м. На этот участок с отверстиями закрепляют мелкоячеистую сетку из нержавеющей стали или латуни; на сетку навивают проволоку также из нержавеющей стали с шагами витков 15-20мм. Затем на нижний конец фильтра навинчивают острый наконечник длиной 250-300мм с несколько большим диаметром чем сам фильтр, чтобы не повредить его при забивании.

Устройство колодца начинают с того, что сверху на фильтр с наконечников навинчивают хомут, затем эту конструкцию устанавливают строго вертикально и ударяют деревянным молотом по хомуту, вколачивают трубу в грунт. Фильтр под ударом опускается в землю до хомута, который снимают, чтобы с помощью соединительной муфты нарастить фильтр очередным звеном трубы. На её верхнем конце снова закрепляют хомут, затем ударами по нему погружают трубу в землю и так до тех пор, пока не будет достигнута требуемая глубина.

В начале забивки могут встречаться суглинистые или глинистые, так называемые покровные породы, тогда стоит сначала пробуривать скважину (хотя бы обычным ручным буром) несколько большего диаметра, чем наконечник фильтра, затем в эту скважину опустить трубу с фильтром и забивать её до тех пор пока труба не дойдёт до водоносного слоя, причём надо добиться, чтобы уровень грунтовых вод оказался несколько выше верхнего края фильтра. Ещё проще не бурить пионерную скважину, а вручную выкопать шахту размером 0,8 на 0,8 на 1,0м и с её дна забивать трубу.

Воду из трубчатого колодца обычно поднимают с помощью поршневых насосов, которые создают вакуум на входе; система клапанов при этом обеспечивает подачу воды наверх порциями. Качество воды, поступающей из местного трубчатого колодца, зависит от водоносности породы, диаметра трубы и конструкции фильтра, а также мощности насоса и достигает 10-15 и более литров в минуту. Трубчатый колодец можно установить собственными силами практически в любом подходящем месте, в том числе и под домом, защищая тем самым колодец от промерзания

Шахтный колодец.

К традиционным шахтным колодцам прибегают тогда, когда водоносный горизонт расположен, как правило, на глубине 20-30м. Сооружают такие колодцы, используя деревянные срубы или железобетонные кольца, иногда для облицовки стен применяют кирпич, а также камень. Размеры поперечного сечения сруба обычно принимают такими: 1,0 на 1,0, или 1,25 на 1,25 или 1,5 на 1,5м. Для венцов надводной части используют еловые или сосновые брёвна, а также брусья толщиной 12-20см. В том месте, где глубина доходит до водоносного слоя, венцы рубят из стволов дуба, вяза или ольхи, которые хорошо переносят влагу, не меняя вкуса и запаха воды.

Не будем подробно описывать устройство деревянного срубового колодца, поскольку их строят сейчас редко; подробности можно найти в указанной в начале приложения статье.

В настоящее время сооружают практичные долговечные шахтные колодцы из бетонных или железобетонных колец диаметром 1,0; 1,25 или 1,5м и высотой от 0,4 до 0,9м. Для неглубоких (6-8м) колодцев используют также бетонные трубы диаметром 0,6-0,8м и длиной 3-4м.

Неглубокие- до 8-10м- шахтные колодцы из бетонных колец выполняют опускным способом. Под первым кольцом равномерно по периметру подрывают грунт и оно постепенно опускается на всю высоту, сверху на него ставят следующее кольцо и продолжают выработку грунта. Особо следует соблюдать вертикальность шахты и не допускать сдвига верхнего кольца относительно нижнего- для этого иногда на нижнее кольцо (по периметру по нескольку штук) ставят стальные Н-образные ограничители.

Сложности возникают при достижении водоносного слоя, когда нередко появляется обильный приток воды, который не даёт опустить кольцо на необходимую глубину для образования в колодце стабильного слоя воды в 1,5-2м. Тогда на дно шахты опускают короб из толстых досок или щиты, заглубляя их последовательно по периметру шахты.

Чтобы предупредить выпирание грунта со дна колодца выходящими потоками грунтовой воды, а также появление мути, на дне отсыпают так называемый обратный фильтр: внизу- слой средне- и крупнозернистого песка толщиной 20-30см, выше- слой гравия, а сверху- слой щебня или гальки. Если приток воды сквозь дно колодца настолько велик, что не удаётся отсыпать обратный фильтр, на дно опускают деревянный или железобетонный щит с отверстиями, а поверх его отсыпают обратный фильтр.

Вверху на земле по периметру оголовка колодца для санитарной защиты воды устраивают замок из тщательно уплотнённой глины, защищающий колодец от дождевых, талых и сточных вод. Сверху глиняный замок покрывают слоем песка, а вокруг устраивают отмостку из камня или бетона с уклоном от колодца. Оголовок с крышкой должен возвышаться над отмосткой на 0,5-0,8м. Сверху его прикрывают навесом или помещают в будку.

Воду из шахтного колодца поднимают вручную: бадьёй, ведром, поршневым насосом, или же с помощью различных электронасосов. Всем известный «журавль» используется тогда, когда вода в колодце находится на глубине 4-5м от поверхности земли. Если глубина колодца достигает 25-30м, воду поднимают воротом с одной или несколькими ручками (В музее деревянного зодчества Суздаля есть «ступательный» колодец. Вода из такого колодца поднималась с помощью приспособления, напоминающего беличье колесо, с той разницей, что для подъёма воды внутри колеса шагал человек).

Веками обрабатывались простые, удобные и надёжные водоподъёмные устройства для колодцев, и, казалось бы, в этом отношении всё найдено и опробовано, тем не менее и в этих устройствах находят возможности для совершенствования. Предложено, например, использовать губчатую ленту, которая пропитывается водой в колодце, а наверху отжимается. В движение систему приводит подвижный ветряк. Другое предложение заключается в том, чтобы поднимать воду с помощью цепи, оснащённой круглыми резиновыми шайбами, совпадающей по диаметру с водоподъёмной трубой, по которой непрерывно поднимается цепь, захватывая порции воды и опускаясь с другой стороны вновь за ними.

Шахтный, да и любой другой колодец обычно располагается не ближе 20 метров от возможных источников загрязнения: свалок, туалетов, компостных и навозных куч, хранилищ удобрений и гаражей. Не стоит устраивать колодцы на берегах рек и там, где резко меняется рельеф местности, потому что здесь возможны значительные колебания уровня грунтовых вод, а следовательно, и их загрязнение при подпитке. Лучше всего сооружать колодец в пору наиболее низкого стояния грунтовых вод- в конце лета или начале осени.

Глубокие шахтные колодцы оборудуют с помощью буровых инструментов. Шахту по возможности проходят за один раз до водоносного слоя, затем в неё опускают кольца, посадку же железобетонного ствола в водоносный слой выполняют опускным способом.

Когда же нужно добраться до подземных напорных вод, расположенных в пластах между водоупорными слоями на значительной глубине- нескольких десятков, а то и сотен метров от поверхности земли- приходится оборудовать глубокие буровые трубчатые колодцы, иногда называемые артезианскими скважинами- (от латинского названия французской провинции Артуа), где подземные воды благодаря большому давлению фонтанировала над землёй.

Для устройства артезианского колодца привлекают специалистов-буровиков, используя специальное оборудование. Скважину бурят, применяя, как правило, обсадные трубы, которые не дают обвалиться стенкам скважины. Диаметр труб подбирают с учетом способа подъема воды. Когда, например,

предполагают использовать погружной вибрационный насос «Малыш», необходимо, чтобы внутренний диаметр труб был несколько большим, чем размеры насоса. При достижении водоносного слоя, обязательно заглубляются в нем на 2—4 м для размещения в этом слое фильтра.

Если гидростатический напор превысит высоту артезианского колодца, он окажется самоизливающейся скважиной, и тогда для регулировки подачи воды достаточно будет установить на верхнем конце трубы (устье) подходящий водопроводный кран. Когда же уровень воды в колодце не достигнет поверхности земли и установится от нее на глубине не более 7—8 м, то в этом случае артезианскую скважину можно считать мелким трубчатым колодцем, из которого воду поднимают, как уже говорилось, поршневыми либо электрическими насосами. И наконец, в том случае, когда воду придется извлекать с глубины 20—25 м, скважина представит собой глубоководный колодец с различными — в зависимости от его высоты и расхода воды — поршневыми, центробежными, вибрационными насосами с механическим или электрическим приводом.

При всем при том трудно, даже невозможно дать заочно однозначный совет, где и какой именно колодец нужно сооружать, так как для этого необходимо знать глубину расположения водоносных слоев, учитывать местные традиции строительства колодезей, равно как и возможности тех, кто будет пользоваться сооружением.

И все же можно дать общие рекомендации: чем глубже водоносный слой и чем меньше он содержит камней, гальки, валунов, — тем предпочтительней трубчатый колодец. Воду из шахтного колодца поднимают ведром и насосом, а из трубчатого — только насосом. Трубчатый колодец действует, как правило, не свыше 10—15 лет, затем нарастающая коррозия труб и все большее засорение фильтра грунтом делают невозможным ремонт. А вот шахтный колодец доступен для осмотра, он легко ремонтируется и даже реконструируется, например, уширяется водоприемный участок для увеличения подпитки грунтовой водой.

Конструкции колодцев, о которых говорилось выше, далеко не исчерпывают многовековой опыт. На юге России и на Украине, где мало источников питьевой воды, устраивают, например, колодцы-бассейны для хранения привозной воды в форме огромного кувшина, врытого в землю (на глубину до 5 м) и облицованного изнутри камнем.

В Поволжье и также в Тульской области в начале XX века устраивали так называемые фильтровые колодцы, рис. П1.1, которые располагались на берегах озёр, прудов, запруд. Вода из водоёмов поступала по трубе в особый приёмник, где, проходя сначала сквозь слой песка, затем гравия и, наконец, щебня, очищалась от мути и грязи и только после этого направлялась в колодец.

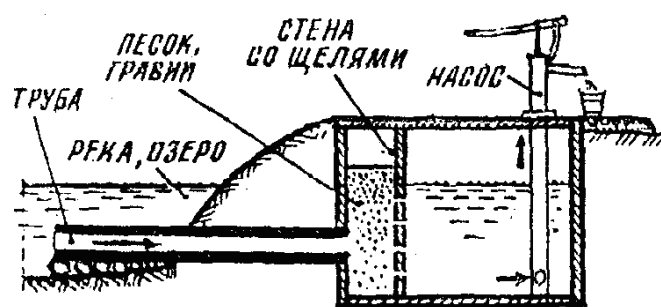


Рис. П1.1

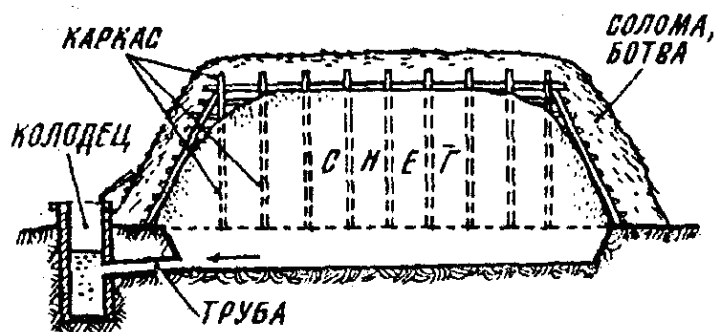


Рис. П1.2

На рисунке П1.2 показан снеговой колодец, питаемый водой при таянии запасённого снега, который укрывают каркасом, на него набрасывают солому или любые материалы для теплоизоляции.

Литература

1. СНиП.2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: стройиздат, 1984.
2. Н.Н. Абрамов. Водоснабжении: Учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: стройиздат, 1982. - 440с.
3. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учебник для вузов/ В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласнив, П.В. Сафонов – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1980. – 359с.
4. Г.И. Николадзе. Водоснабжение: Учебник для техникумов – 3-е изд. – М.: стройиздат, 1989. – 496с.
5. Политехнический словарь. Гл. ред. И.И. Артоболевского, М.: «Советская энциклопедия» - 1978, - 608 с.
6. Ильин Ю.А. Надежность водопроводного оборудования и сооружения. М.: Стройиздат, 1985. – 240с.
7. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1979. – 231с. Ил. – (Надежность и качество).
8. Жмаков Г.Н. Эксплуатация оборудования и систем водоснабжения я водоотведения. – М.: ИНФРА – М. 2007. – 237с. – (Среднее профессиональное образование).
9. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник/ Под ред. В.Д. Дмитриева, Б.Г. Мишукова.- 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1988. 383с., ил.
10. Калякин А.М. Основные уравнения динамики жидкости. Гидростатика. Гидравлические сопротивления. Часть3. / А.М. Калякин. Саратов: СГТУ, 2003.
11. Калякин А.М. Гидравлические расчёты трубопроводов. Истечение жидкости через отверстия и посадки. Гидродинамическое моделирование. Часть4. /А.М.Калякин, Саратов:СГТУ, 2004.