

Г. А. Самбурский
С. М. Пестов

*Технологические
и организационные
аспекты процессов
получения воды
питьевого качества*



Г. А. Самбурский

**Технологические
и организационные аспекты
процессов получения
воды питьевого качества**

«Издательские решения»

Самбурский Г. А.

Технологические и организационные аспекты процессов
получения воды питьевого качества / Г. А. Самбурский —
«Издательские решения»,

ISBN 978-5-44-835369-7

В данной книге основное внимание уделено современным методам водоподготовки, используемым при организации централизованного водоснабжения населения, кратко рассмотрены организационные и экономические аспекты применения технологий. Издание будет полезно специалистам в области водоснабжения, студентам, обучающимся по направлениям: «техносферная безопасность», «строительство», «экология и природопользование», «химия», и всем интересующимся проблемами организации централизованного водоснабжения.

ISBN 978-5-44-835369-7

© Самбурский Г. А.
© Издательские решения

Содержание

Из истории водоснабжения	6
Глава 1. Общие вопросы организации питьевого водоснабжения	9
1.1 Показатели качества воды. Общая характеристика	9
Группа показателей – эпидемические	9
Группа показателей – органолептические	10
Группа показателей – радиологические	11
Группа показателей – химические	12
рН – водородный показатель	13
Показатель – общая минерализация	14
Показатель – жесткость воды	14
Показатель – окисляемость воды	15
Показатель органические и неорганические вещества	15
1.2 Вещества, являющиеся основными загрязнителями питьевой воды	16
1.3 Общие задачи водоподготовки	19
1.4 Правовые основы организации водоснабжения	20
1.5 Основные методы и технологические схемы водоподготовки предприятий водопроводно-канализационного хозяйства	22
Общая схема системы централизованного водоснабжения	22
Конец ознакомительного фрагмента.	24

Технологические и организационные аспекты процессов получения воды питьевого качества

**Г. А. Самбурский
С. М. Пестов**

© Г. А. Самбурский, 2016

© С. М. Пестов, 2016

ISBN 978-5-4483-5369-7

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

От авторов:

В настоящее время одной из ключевых проблем устойчивого развития современной цивилизации является проблема снабжения населения чистой и безопасной водой. По разным оценкам до 1,1 млрд. чел. (17% населения) находятся в зоне риска из-за недостатка чистой питьевой воды, 400 млн. детей не имеют возможности пользоваться безопасной водой. В данной книге основное внимание уделено современным методам водоподготовки, используемым при организации централизованного водоснабжения населения, при этом кратко рассмотрены организационные и экономические аспекты применения технологий. Настоящее издание будет полезно специалистам в области водоснабжения, студентам, обучающимся по направлениям: «Техносферная безопасность», «Строительство», «Экология и природопользование», «Химия», а также всем тем, кто интересуется проблемами, встающими перед организацией централизованного водоснабжения.

Авторы выражают признательность Минобрнауки за финансовую поддержку издания книги (проект ПНИЭР RFMEFI58015X0004)

Рецензент: д.т.н., профессор Пупырев Е. И., президент Международного союза проектировщиков, председатель экспертно-технологического совета РАВВ, профессор НИУ МГСУ

Из истории водоснабжения

Значение воды как ресурса жизнедеятельности и экономического развития государства невозможно переоценить, и в истории развития цивилизации водному фактору всегда придавалось большое значение. Возможность обеспечения питьевой водой была основой для роста поселений, городов и мегаполисов уже начиная с древних цивилизаций Шумера, Вавилона и Египта (см. напр., [1, 2]). Разумеется, тогда речь шла только о транспортировке воды к поселениям. Водоводы – акведуки строились тогда от источника воды к месту поселения людей, которое располагалось ниже этого источника по высоте. Как правило, водоводы – акведуки представляли собой многокилометровые грандиозные конструкции в десятки метров высотой. В настоящее время многие акведуки – это памятники архитектуры, и место паломничества туристов. Конструкции сооружались из разных материалов, при этом чаще наиболее часто использовался камень, а наибольшего мастерства в этом вопросе достигли инженеры Древнего Рима.

Известно, что первый водопровод, протяженность которого составляла 16 км, появился в Риме в 312 г. до н. э. Уже к концу I века н.э. совокупная протяженность водопроводов в Риме увеличилась более, чем в 25 раз, было сооружено было девять акведуков, по которым в «вечный город» поступало до 700 тыс. м³ воды в день. Основой технологии подготовки воды являлся принцип естественной фильтрации, которая осуществлялась в последовательно соединенных резервуарах.

Жизнь крупных древних городов была немыслима без водоснабжения. Водоводы – акведуки сооружались повсеместно, и, к примеру, в сам Рим вода подавалась 11 акведуками. Однако самый протяженный акведук был построен римскими зодчими даже не в Италии, а на территории современного Туниса, для водоснабжения того самого пунического города Карфаген, который «должен быть разрушен», но был завоеван и стал римской провинцией. Там римляне построили водовод – акведук длиной 132 км, высота которого на некоторых участках была выше 20 м. Это по современным оценкам давало возможность подавать в город примерно 400 л/с воды. Сооружения по сбору воды в горах и некоторые фрагменты инфраструктуры этого гиганта, пережив практически 2 тысячелетия, сохранились до наших дней.

Помимо водоводов, древние города имели инфраструктуру как для хранения воды, так и для водоснабжения отдельных потребителей. В столице Византийской империи Константинополе, к примеру, существовало более 40 подземных водохранилищ. Так как в пределах города источников пресной воды не было, приходилось доставлять воду. Система водоснабжения Константинополя, обеспечивающая перемещение воды на расстояние порядка 650 км, не имела аналогов в античном мире. Основной водовод начинался в 240 километрах к западу от Константинополя в провинции Фракия. Сам водовод должен был идти под наклоном, чтобы поддерживать течение воды. Система включала и подземные тоннели, и каналы на поверхности земли, и акведуки и некоторые из них сохранились до наших дней.

Как мы понимаем, подвести воду в Константинополь было лишь половиной решения проблемы, т.к. воду надо было где-то хранить, что сложно в условиях городской застройки. Решением проблемы сохранения воды жители города были обязаны византийским инженерам, которые построили изумительную систему подземных водохранилищ. Со временем было создано более 150 подземных накопителей воды, а крупнейший из них – цистерна Базилика. Размеры самой цистерны – 140×70 метров (достаточно, чтобы наполнить водой почти 30 олимпийских пятидесятиметровых бассейнов). Своды цистерны поддерживают 336 колонн 8-метровой высоты. Этот резервуар строился почти 250 лет, в 4–6 веках н.э., после чего около 1000 лет использовался для хранения запасов питьевой воды. В настоя-

щее время Цистерна Базилика является одним из самых популярных музеев Стамбула. Водохранилища поддерживали водоснабжение города в достаточном объеме даже летом в отсутствии дождей, когда акведук давал очень мало воды.

Красивым примером, показывающим очень высокий уровень развития технологий древнего мира, является Эфесский водопровод. Это сооружение было керамическим, подземной или надземной прокладки. Собирался водовод из небольших трубных секций, которые соединялись между собой растровыми соединениями (этот принцип соединения использовался и в Константинополе). Такого технологического уровня инфраструктуры знаменитые европейские города достигнут только к 18—19 веку.

Достаточно долгое время система обеспечения водой населения Европы по качеству намного уступала системе древнего Рима. К сожалению, на долгое время были утрачены технологии античных мастеров, централизованные системы водоснабжения отсутствовали, и все это серьезно ухудшало условия жизни и способствовало возникновению различного рода эпидемий.

Следует отметить, что история водоснабжения знает многое про системы транспортировки воды в Южной Америке. Эти были оригинальные и весьма технологичные системы транспорта воды, и создавались они индейскими племенами Южной Америки. Речь идет не о наземных сооружениях, но о системах сложных каналов и водохранилищ, которые позволяли транспортировать воду с гор к местам проживания людей. Кумбе-Майо, самый древний акведук такого типа на территории Южной Америки, длина которого около 8 км, был построен на высоте 3,3 км предположительно около 1500 г. до н. э. Совершенно уникальным инженерным сооружением была система водоснабжения священного города инков Мачу-Пикчу, построенного на высоте 2450 метров над уровнем моря, в Андах, на территории современного Перу в 15 веке н.э. – чистая вода из высокогорных источников направлялась в город системой искусственных каналов.

История развития водоснабжения в нашей стране также насчитывает многие века. Учитывая то, что города всегда строились рядом с реками, проблем связанным с большими расстояниями транспортировки воды в нашей стране практически не было. Однако говорить о централизованном водоснабжении населения стало возможно только с того момента, когда начала резко возрастать численность городского населения. В начале XIX века пущен первый московский городской водопровод длиной 16 км, подававший воду самотёком от села Мытищи. После реконструкции в 1878 году он имел всего 207 домовых ответвлений, из них 91 – в казенные и промышленные здания. В XIX веке централизованное водоснабжение развивалось, помимо Москвы, преимущественно в фабрично-заводских центрах, и охватывало не более 20% городов России, население которых превышало 10 тыс. человек. Но уже к 1910 году централизованные водопроводы были построены в 149 городах России против 10 – 1864 году. Протяженность уличных сетей водопроводов достигала 4800 верст, в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Варшаве и Одессе было построено 1689 верст сетей. Анализируя имеющиеся данные, отметим, что в балансе водных ресурсов при централизованном водоснабжении наибольшую долю составляли поверхностные воды рек – 35,2% водопроводов, подземные воды родников – 26,7%, грунтовых – 11% и артезианских колодцев – 14%. С появлением централизованных систем водоснабжения вырос уровень благоустройства жилья, кардинально улучшена санитарно-эпидемиологическая обстановка, была создана прочная основа для новых архитектурно – планировочных решений по дальнейшему развитию городов и других населенных пунктов. Истории развития водоснабжения в нашей стране посвящено множество публикаций (например, *Алексея Порядина «Развитие водоснабжения в России. XX век»*.)

Уточним, что к началу 1991 г. централизованным водоснабжением было обеспечено 99% городов и 86% сельских поселений РСФСР. Уровень водопотребления на хозяй-

ственно-питьевые и бытовые нужды в среднем достиг 327 литров в сутки на человека. Имеющиеся ресурсы природных пресных вод (поверхностных и подземных) позволяли, за редким исключением, выполнить задачу полного обеспечения потребностей населения страны в воде питьевого качества, в т.ч. с учетом перспективы развития, и при рациональном использовании воды действующие городские водопроводы могли обеспечивать нормальное водоснабжение. Сконструированные системы коммунального водоснабжения, их инфраструктурные и технологические элементы были проверены многолетней практикой. Однако известное безвременье, в котором оказалась экономика нашей страны, ухудшило состояние централизованного водоснабжения. Ряд предприятий водоснабжения оказалось в кризисном состоянии; среднесуточный объем питьевой воды, подаваемой в сеть, в целом по стране уменьшился более, чем на 15%; при этом заметно увеличилась доля ветхих сетей, требующих замены, выросли утечки и неучтенные расходы воды.

Кроме этого, по причине ухудшения состояния водных источников, достижение требуемого качества подаваемой населению питьевой воды требует применения новых технических решений. Проблемы, с которыми сталкиваются вододефицитные регионы, тоже требуют новых технологических подходов в части водообеспечения. Таким образом, проблема водоснабжения и обеспечение потребителей качественной питьевой водой связана с решением нескольких взаимосвязанных задач, к которым относятся:

- Определение и обеспечение качества источника водоснабжения населенного пункта

- Выбор технологий водоподготовки с учетом качества воды водоисточника и региональных особенностей

- Обеспечение качества подаваемой абонентов воды в соответствии с требованиями санитарного законодательства

- Экономическая возможность применения выбранных технических решений

Россия, обладая почти четвертью мировых запасов пресной воды, имеет стратегическое преимущество, роль которого в дальнейшем будет только возрастать. Однако вопросы обеспечения населения качественной питьевой водой – это не только экономическая и технологическая составляющая, но основа территориального развития и обеспечения безопасности нашей страны. Именно поэтому в данной работе предполагается рассмотреть основные технологические возможности получения воды питьевого качества, используя подход, называемый технологиями доступа к питьевой воде.

Глава 1. Общие вопросы организации питьевого водоснабжения

1.1 Показатели качества воды. Общая характеристика

Природная вода – это очень сложная дисперсная система, содержащая огромное количество минеральных и органических примесей. Качество воды, возможность ее использования для питья и в технических целях оценивается по целому ряду параметров, на основании которых осуществляется выбор решений по очистке воды. (см. напр., [1.2]). В нашей стране долгое время гигиенические требования по соответствию качества питьевой воды основывались ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая». Согласно этому документу, качество воды определялось по группам показателей: микробиологических, токсикологических и органолептических. Начиная с 2001 г. требования гигиенического характера по качеству питьевой воды для централизованных систем водоснабжения определяют санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.1074—01. В данном документе качество воды подразделяются на группы показателей: эпидемические; органолептические; радиологические; химические.

Группа показателей – эпидемические

Вода является весьма благоприятной средой для развития множественных форм простейших, бактерий, и высших организмов. Большое число развивающихся в воде микробов являются распространителями водных инфекций разного рода, типичным примером которых являются микроорганизмы – возбудители холеры, дизентерии, брюшного тифа и пр. Вода, помимо этого, может быть переносчиком различного рода паразитозов (аскарид, карликового цепня и пр.) и простейших (амеб, лямблий и пр.). Разнообразие форм патогенных организмов, сложность, дороговизна и длительность процесса их определения определяет необходимость анализа воды на наличие в ней т.н. маркерных микроорганизмов, которые указывают на потенциальную возможность патогенного загрязнения воды патогенной микрофлорой (табл. 1). В качестве критерия микробиологической чистоты выбрана кишечная палочка. Количество кишечных палочек в воде характеризуется коли-титром (к-т) – объемом воды (см³), в котором содержится одна кишечная палочка или коли-индексом (к-и) – количеством кишечных палочек в 1 л воды.

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

Таблица 1. Группа – эпидемические показатели

Группа показателей – органолептические

Запах, привкус, цветность и мутность определяют группу органолептических показателей воды (табл.2).

Показатели	Единицы измерения	Нормативы, не более
Запах	Баллы	2
Привкус	Баллы	2
Цветность	Градусы	20 (35)
Мутность	ЕМФ (единицы мутности по формазину)	2,6 (3,5)
	или мг/л (по каолину)	1,5 (2)

Таблица 2. Группа органолептические показатели качества воды

В общем случае определение запахов и привкусов связано с возможностью нахождения в воде растворенных газов, органических соединений, минеральных веществ, деятельностью микроорганизмов. По своему происхождению запах воды может быть естественным, т.е. природным (к примеру, болотный, гнилостный, землистый, сероводородный и др.) и искусственным (запах ароматических соединений, хлора, фенола, хлорфенола, нефти и др.).

Для количественной оценки запаха и привкуса применяют 5-балльную шкалу. Таким образом, вкусовые характеристики воды могут соответствовать терминам горьковатая, солоноватая, сладковатая, кисловатая и т. д. При повышении температуры, как правило, запахи и привкусы усиливаются. Вода считается соответствующей для питьевых целей, если при температуре 60 °С имеет оценку не более 2 баллов. Цветность воды или фактически окраска воды в тот или иной цвет, свойственна, как правило, водам поверхностных источников. Цветность измеряют в градусах стандартной платинокобальтовой шкалы при сравнении анализируемой при исследовании пробы с эталонной водой. Цветность может вызываться как природными соединениями (часто это гумины – высокомолекулярные соединения почвенного происхождения, фульвовые кислоты, коллоидные формы железа, ряд других окрашивающих ионов) и веществами антропогенного происхождения, в т.ч., поступающими со сточными водами. Цветность для питьевой воды не должна быть больше 20°. В ряде исключительных случаев, при согласовании с органами санитарного надзора, цветность может быть до 35°.

Мутность воды принято определять за счет изменения свойств света при его распространении через воду. Показатель мутности воды находится в прямой зависимости от наличия взвешенных частиц и определяется либо непосредственно – весовым методом, либо косвенно – по шрифту или кресту. Если отфильтровать механические примеси и взвесить на лабораторных весах отфильтрованную часть, то говорят про определение мутности весовым методом. Для питьевой воды мутность не должна превышать 1,5 мг/л. Отметим, что воду с высокой мутностью для питьевого водоснабжения использовать не рекомендовано, а иногда просто недопустимо.

Другим методом оценки мутности является измерение высоты столба воды в цилиндре, через который четко виден специальный шрифт или грани креста. При этом такая высота должна быть не менее 30 см при определении мутности по шрифту или как минимум 300 см – при определении по кресту. [1,2]. Традиционные методы основаны на определении толщи воды, через которую перестает быть различимой свеча или стандартная картинка

из черных и белых кругов. Есть более точные фотометрические методы, которые определяют степень ослабления света от стандартного источника при прохождении сквозь слой воды заданной толщины. В России результат измерений выражают в мг/л при использовании основной стандартной суспензии каолина, или в ЕМ/л (единицы мутности на л) при использовании основной стандартной суспензии формазина. Иначе последнюю единицу измерения называют Единицей Мутности по Формазину (ЕМФ), а ее западный аналог – FTU (Formazine Turbidity Unit). Различные стандарты определения могут отличаться выбором стандарта источника света и названием соответствующей единицы мутности. Например, в стандарте ISO 7027 (Water quality – Determination of turbidity) используется светодиод LED с длиной волны 860 нм, при этом в качестве единицы измерения мутности используют FNU (Formazine Nephelometric Unit). С другой стороны, Агентство по Охране Окружающей Среды США (U.S. EPA) и Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) в качестве стандартного источника используют лампу накаливания с цветовой температурой 2200—3000 К, единица измерения мутности называется NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

Тем не менее, все основные единицы измерения мутности численно совпадают, несмотря на разные методики и названия:

$$1 \text{ FTU (ЕМФ)} = 1 \text{ FNU} = 1 \text{ NTU} = 1 \text{ ЕМ/л.}$$

ВОЗ по показаниям влияния на здоровье мутность не нормирует, однако с точки зрения внешнего вида рекомендует, чтобы мутность была не выше 5 NTU, а для целей обеззараживания – не более 1 NTU.

Прозрачность. В зависимости от показателя прозрачности воды условно классифицируют как прозрачные, слабо опалесцирующие, опалесцирующие, слегка мутные, мутные, сильно мутные. При определении меры прозрачности анализируют высоту столба воды, при которой возможно наблюдать погружаемую в водоисточник белую пластину определенного размера (диск Секки) или различать шрифт определенного размера и типа на белой бумаге (как правило, это шрифт средней жирности высотой 3,5 мм). Результаты выражаются в сантиметрах с указанием способа измерения.

Коллоидный индекс или индекс плотности осадка (SDI – Silt Density Index) является характеристикой наличия мелкодисперсных взвесей и коллоидных частиц, присутствующих в обрабатываемой воде. Показатель используется при определении эффективности различных технологий водоподготовки, связанных с удалением механических частиц и помогает, например, прогнозировать ситуацию со сроками непрерывной работы мембран установок обратного осмоса или нанофильтрационных мембранных установок. Определяется коллоидный индекс по изменению скорости фильтрования заданного объема раствора через микрофильтр с размером пор 0,45 мкм.

Группа показателей – радиологические

Подземные и поверхностные, минерализованные и геотермальные воды, формирование которых происходит в непосредственной близости от естественных природных залежей радиоактивных руд, жидкие и твердые радиоактивные отходы различного происхождения, собственно радиоактивные материалы, а также нарушения регламентов их переработки и хранения, возможные выбросы, сбросы и нештатные ситуации на радиационных объектах являются потенциальными источниками поступления радиоактивных веществ в водные объекты. В результате этого в водоисточниках обнаруживается присутствие изотопов цезия, трития, хрома, натрия, фосфора, кобальта и пр. Данные радиоактивные элементы могут находиться либо в форме катионов и анионов, либо и в виде различных комплексных соединений (табл. 3). Для осуществления измерений радиометрических показателей используют дозиметрические приборы. [2,9]

Показатели	Единицы измерения	Показатели радиационной безопасности
Суммарные показатели		
Удельная суммарная альфа-активность	Бк/кг	0,2
Удельная суммарная бета-активность	Бк/кг	1,0
Радионуклиды		
Радон ((222) Rn) ³	Бк/кг	60
Сигма радионуклидов ³	единицы	1,0

Таблица 3. Группа показателей – радиологические

Группа показателей – химические

К группе химических показателей, характеризующих загрязнение воды и водоисточников, относят в качестве так называемых обобщенных показателей водородный показатель рН, общая минерализация (сухой остаток), жесткость, щелочность, окисляемость, а также показатели значения концентрации растворенных форм органических и неорганических веществ, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и пр. (табл. 4).

Содержание минеральных солей оценивают по концентрации различных катионов и анионов, в зависимости от задач анализа.

Взвешенные частицы, в т.ч. химические соединения, не растворимые в воде, влияют на прозрачность воды; оценка их содержания позволяет оценить степень загрязненности воды частицами с условным диаметром более $1 \cdot 10^{-4}$ мм (10^3 Å).

Взвешенные твердые примеси, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, органических и неорганических веществ и различных микроорганизмов. При содержании в воде взвешенных веществ ниже 2—3 мг/л или с условным диаметром частиц меньше $1 \cdot 10^{-4}$ мм, определение загрязненности воды производят косвенно по мутности. Мутность воды, как было отмечено выше, вызвана тонкодисперсными примесями. Она обусловлена нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения.

Прямое определение органических примесей в воде затруднено, поэтому их содержание оценивается косвенным методом – по окисляемости (мг О/л). В качестве окислителя чаще всего применяют перманганат калия (KMnO₄). Более сложным является альтернативное не прямое определение органических примесей – общее содержание углерода, ТОС (Total Organic Carbon).

С конца 1990-х годов серьезное внимание уделяется опасности попадания в питьевую воду крупных городов стероидов и фармацевтических веществ (см. напр., [119,120]).

Данные по токсикологии металлов, в частности, новые результаты по изучению канцерогенных свойств соединений хрома, приведены в [120—130]. Анализ воздействия на человеческий организм и методов контроля содержания фторид-ионов в питьевой воде – в [122,123]. В обзорах [131—140] приведено описание новых методов анализа воды и методик определения содержания в ней загрязняющих веществ. Методы масс-спектрометрии дают возможность определить присутствие органических соединений на уровне следовых концентраций [133 – 139].

Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации) (ПДК), не более
Водородный показатель	единицы pH	в пределах 6-9
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	1000 (1500)
Жесткость общая	мг-экв./л	7,0 (10)
Окисляемость перманганатная	мг/л	5,0
Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/л	0,5
Фенольный индекс	мг/л	0,25

Таблица 4. Группа показателей – химические

pH – водородный показатель

Определение pH или водородного показателя воды – это вычисление значений показателя концентрации ионов гидроксония (водородных катионов), который математически равен отрицательному логарифму значения концентрации водородных ионов:

$$pH = -\lg(H^+)$$

Молекулу воды относится к так называемым слабым электролитам. Степень ее собственной диссоциации на ионы (ион водорода H^+ и гидроксильный ион OH^-) очень невелика. Произведение концентраций этих ионов называется ионным произведением воды K_w :

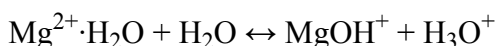
$$K_w = (H^+) (OH^-) = (10^{-7}) (10^{-7}) = 10^{-14} (\text{моль/л})^2$$

Так, оценивают, что из 10 млн. молекул воды только одна диссоциирует на ион водорода и гидроксильный ион:



Деминерализованная чистая вода должна в идеале иметь значение $pH \approx 7$.

Присутствие солей, содержащих катионы и анионы слабых кислот и оснований, оказывает сильное влияние на значение водородного показателя:



Таким образом, pH воды всегда определяется соотношением концентраций ионов, которые участвуют в кислотно-основном равновесии для данной пробы воды. Если концентрация образующихся гидроксильных ионов выше, чем концентрация ионов водорода, то показатель pH имеет значение больше 7 и среда характеризуется, как щелочная. Если выше концентрация ионов водорода (ионов гидроксония), то pH меньше 7 и среда характеризуется, как кислая. Общие требования к качеству воды приведены в гигиенических нормативах [37,38].

Соответственно, активная реакция воды в зависимости от концентрации водородных ионов может быть нейтральной, кислой или щелочной (табл. 5).

Наименование индикатора	Цвет индикатора в различных средах		
	Кислой	Нейтральной (pH=7)	Щелочной
Метиловый оранжевый	Красный (pH < 3,1)	Оранжевый	Желтый (pH > 4,4)
Метиловый красный	Красный (pH < 4,2)	Оранжевый	Желтый (pH > 6,3)
Фенолфталеин	Бесцветный (pH < 8,0)	Бледно-малиновый	Малиновый (pH > 9,8)

Таблица 5. Определение pH индикаторным способом

Показатель – общая минерализация

Показатель общей минерализации характеризует суммарную концентрация всех ионов (анионов, катионов) и недиссоциированных соединений, а также растворенных в воде органических веществ, которая имеет единицы измерения грамм на литр (г/л) или на кубический дециметр (г/дм³).

Фактически, общая минерализация при определении в воде может быть по значению близка с показателем «сухой остаток», который анализируют посредством выпаривания пробы воды определенного объема, которую предварительно профильтровывают через бумажный фильтр, а далее высушивают при температуре 105—120 °С до постоянного веса. Следует учесть, что сухой осадок не учитывает фракцию отогнанных при выпаривании органических соединений. Сухой остаток можно рассчитать также путем суммирования приведенных значений концентраций анионов и катионов, определенных различными методами химического анализа. По действующим нормативам общая минерализация питьевой воды не должна превышать 1 г/л. [37,38,43, 44—46]

Показатель – жесткость воды

Наличие жесткости воды обусловлено присутствием в любой воде катионов некоторых металлов, в том числе: кальция (Ca²⁺), магния (Mg²⁺), стронция (Sr²⁺), бария (Ba²⁺), железа (Fe²⁺, Fe³⁺), марганца (Mn²⁺) и некоторых других.

Вследствие того факта, что показатели значения концентрации ионов кальция и магния для воды естественного происхождения практически во всех случаях выше, чем для ионов других металлов, общее значение показателя жесткости определяют, основываясь на анализе концентраций именно катионов кальция и магния. В целом, значение общей жесткости определяется приведенным сложением значений карбонатной (временной, устраняемой кипячением) и некарбонатной (постоянной) жесткости. В свою очередь, постоянная жесткость вызывается присутствием в воде кальция и магния в виде сульфатов, хлоридов, силикатов, фосфатов.

Жесткость воды, вызванная наличием катионов кальция и магния, связана с процессами образования с присутствующими в воде карбонатными и гидроксильными ионами малорастворимых соединений кальция и магния. Имеющиеся в природных водах гидрокарбонатные анионы при повышении температуры разлагаются на углекислый газ и ион угольной кислоты:



В том случае, если в воде присутствуют катионы жесткости, при взаимодействии с карбонатными анионами при высоких температурах происходит образование солей с очень низкой растворимостью. Таким образом воды с высокой жесткостью могут образовывать

накипь и отложения на разного рода бытовой технике, котлах при нагревании и в трубопроводах горячей воды. Точно также катионы жесткости образуют труднорастворимые соли с жирными кислотами, которые входят в состав различных моющих средств, что зачастую является существенной помехой при использовании жесткой воды для разных видов стирки.

Для определения количественных значений жесткость воды используют процедуру титрования в присутствии индикатора мурексида или хрома темного синего хим. реактивом «трилон – Б» при значении рН пробы около 9. Оценивают жесткость воды, исходя из количества трилона-Б, израсходованного для изменения окраски индикатора. Для описания концентрации катионов жесткости в воде используют единицы измерения миллиграмм-эквивалент на литр (мг-экв/л) или в милли-моль на литр (ммоль/л), а также градусы жесткости. В РФ жесткость воды выражают в ммоль/л (в единицах системы СИ) или в мг-экв/л. Жесткость воды, пригодной для питьевых целей, ограничена значением концентрацией 7 ммоль/л. [1,37, 46]

Показатель – окисляемость воды

Процедура определения окисляемости воды основывается на присутствии в рассматриваемой анализируемой пробе воды органических веществ и ряда легко окисляющихся неорганических примесей, таких, как железо двухвалентное, сероводород, сульфиты и т. д. Собственно окисляемость воды, или, иначе говоря, химическое потребление кислорода (ХПК), следует анализировать посредством определения количества кислорода, который расходуется в процессе химического окисления органических и неорганических веществ, присутствующих в воде. Сам процесс окисления реализуется под действием разного рода окислителей и используют при этом ряд известных методов определения окисляемости воды: перманганатный, иодатный, бихроматный и т.п.; собственное название метода при этом зависит от типа используемого в процессе анализа окислителя. Наиболее часто в практике водоподготовки применяется метод анализа на основе использования перманганата калия – перманганатная окисляемость. Перманганатная окисляемость для питьевой воды не должна быть выше значения 5 мг/л. [1, 37,44—46]

Показатель органические и неорганические вещества

По имеющимся оценкам, общее суммарное количество химических веществ и химических соединений, которые в результате хозяйственной деятельности человека загрязняют природные воды и, соответственно, способны оказывать негативное влияние на состояние здоровья человека, непрерывно увеличивается, составляя на сегодняшний день уже более 50000 позиций. Следовательно, проведение анализов по определению концентрации всех известных химических веществ, для которых обнаружена способность присутствия в воде, практически нереально.

Тем не менее, есть возможность систематизировать химические вещества, которые могут нанести ущерб для здоровья человека из числа тех, что наиболее часто встречаются в природных водах и/или образуются при обработке воды. Таким образом, в Сан-ПиН 2.1.4.1074—01 представлены предельно допустимые концентрации таких химических веществ. При обнаружении и проявлении в источнике водоснабжения необходимо определять их концентрацию в природной или обработанной воде, а в случае превышения допустимых гигиенических нормативов ПДК проводить доочистку воды. [9,37,43,44]

1.2 Вещества, являющиеся основными загрязнителями питьевой воды

Железо. Повышенное содержание железа (более, чем 0,3 мг/л), которое может присутствовать в воде в виде гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, различных органических комплексных соединений или в форме высокодисперсной взвеси, придает воде характерную неприятную красно-коричневую окраску, существенно ухудшает вкус, способствует развитию железобактерий, образованию и отложению осадка в коммуникациях, и засорению труб. Кроме того, если в такой воде осуществлять стирку белья, то на нем останутся ржавые пятна. Подобные характерные пятна появляются на посуде, раковинах и ваннах. В случае употребления для питья воды с содержанием железа выше нормативных требований, потребитель повышает риск развития различных заболеваний печени, аллергических реакций и пр.

Марганец. Повышенные концентрации марганца в воде оказывает вредное воздействие на здоровье, в т.ч. мутагенное действие на человека. При уровнях значений концентрации в системе водоснабжения, превышающих 0,1 мг/л, марганец приводит к появлению черных пятен на сантехническом оборудовании и белье, а также к неприятному привкусу напитков. Кроме этого, наличие марганца в питьевой воде способно вызывать образование и накопление осадков и отложений в системе распределения воды. Уже при концентрации 0,02 мг/л марганец доказано влияет на образовании пленки на трубах, которая отслаивается далее в виде черного осадка.

Хлориды и сульфаты. В ряде случаев в питьевой воде встречается соли соляной и серной кислот (хлориды и сульфаты). Эти соединения придают воде, соответственно, соленый и горько-соленый привкус. Использование воды с повышенным содержанием сульфатов и хлоридов приводит к нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта. Согласно [37] вода, для которой на один литр приходится более 350 мг хлоридов и/или более 500 мг сульфатов, уже считается неблагоприятной для здоровья.

Кальций и магний. Содержание в воде катионов кальция и магния сообщает воде жесткость, как было указано в п. 1.2. Жесткость воды обычно выражается в мг-экв/л, хотя есть иные единицы измерения (см. разд. 1.2). Физиологически благоприятный для человека показатель уровня жесткости воды составляет 3,0—3,5 мг-экв/л. Сильно минерализованная, т.е. насыщенная солями вода причиняет массу неудобств: существенно сложнее готовить овощи и мясо, при стирках разного типа увеличивается расход чистящих средств, образующаяся накипь портит теплообменное оборудование. Жесткость выше значения 4,5 мг-экв/л уже приводит к интенсивному накоплению осадка как в системе водоснабжения, так и на сантехнических приборах, мешает работе бытовых приборов. Для большинства объектов бытовой техники, согласно инструкции по эксплуатации, жесткость используемой воды не должна быть более, чем 1,5—2,0 мг-экв/л. Постоянное употребление в качестве питьевой воды с повышенной жесткостью имеет следствием для человека накопление солей в организме и, в конечном итоге, может стать причиной заболевания суставов (например, артриты, полиартриты), развитию мочекаменной болезни, образования камней в почках, желчном пузыре.

Фтор. Учитывая то, что вода также во многом отвечает за состояние зубов человека, есть множество данных, впрочем неоднозначно трактуемых, свидетельствующих о зависимости содержания фтора в воде и частоты заболевания кариесом. Ранее считалось, что фторирование воды эффективно для профилактики кариеса, особенно у детей. Однако содержание фторидов в питьевой воде выше санитарных норм (не более 1,5 мг/л) оказывает вредное воздействие на здоровье человека. Фтор является активным в биологическом отношении

микроэлементом, содержание которого в питьевой воде во избежание кариеса или флюороза зубов может быть в пределах 0,7—1,5 мг/л.

Ряд примесей являются непосредственно опасными для организма человека.

Сульфиды. Наличие в воде сульфидов (или сероводорода) придает воде характерный неприятный запах, способствует интенсификации процессов коррозии трубопроводов и повышает вероятность их зарастания вследствие развития серобактерий. Сульфиды оказывают на человека прямое токсическое действие, и вызывают раздражающее действие для кожи, а сероводород сам по себе ядовит для живых организмов.

Мышьяк. По данным отечественных исследователей, употребление воды, содержащей 0,2—1 мг/л мышьяка, вызывает расстройство центральной, и особенно периферической, нервной системы с последующим развитием множественных невритов. Безвредной в [37] признана концентрация мышьяка 0,05 мг/л. Однако имеющиеся данные позволяют говорить о том, что ПДК по мышьяку необходимо сделать более жестким [39,42].

Свинец. Об опасности для здоровья содержания в воде свинца специалисты санитарно-гигиенического направления впервые заговорили в связи с массовыми интоксикациями, которые возникли при использовании на водопроводах свинцовых труб. Однако повышенные концентрации свинца могут встречаться также и в подземных водах. Вода с точки зрения [37] считается безвредной в том случае, если содержание в ней свинца не более 0,03 мг/л. Данный показатель также должен учитываться, исходя из оценки риска для здоровья населения. [39,40,42]

Стронций достаточно широко распространен для природных вод, при этом значения его концентрации варьируются в довольно широких пределах (от 0,1 до 45 мг/л). Длительное поступление стронция в больших количествах в организм ведет к функциональным изменениям печени. Вместе с тем продолжительное употребление питьевой воды, содержащей стронций на уровне значения концентрации 7 мг/л, не вызывает функциональных и морфологических изменений в тканях, органах и в целостном организме человека. В настоящее время именно величина принята в качестве норматива содержания стронция для воды питьевого качества.

Нитраты и нитриты. Согласно общепризнанным современным научным данным, нитраты в кишечнике человека под влиянием микробиологических процессов восстанавливаются до нитритов. Всасывание нитратов ведет к образованию метгемоглобина и к частичной потере активности гемоглобина в процессах переноса кислорода. Потенциальный риск – развитие метгемоглобинемии, т.е. той или иной степени кислородного голодания, симптомы которого проявляются в первую очередь у детей, особенно грудного возраста. Метгемоглобинемия проявляется цианозом (синюхой), увеличением содержания в крови метгемоглобина, снижением артериального давления. Эти симптомы специалисты регистрируют не только у детей, но и у взрослых. Грудные дети заболевают несколько чаще при искусственном вскармливании, в том случае, если сухие молочные смеси разводятся водой, в которой содержатся нитраты, или при прямом употреблении этой воды для питья. Дети более старшего возраста существенно меньше подвержены метгемоглобинемии, а если и заболевают, то болезнь протекает менее тяжело, так как у более старших детей сильнее развиты компенсаторные механизмы. Употребление воды, содержащей 2—11 мг/л нитратов, еще не вызывает повышения в крови уровня метгемоглобина, в то время, как употребление для питья воды с концентрацией 50—100 мг/л серьезно увеличивает этот уровень. Содержание нитратов в питьевой воде на уровне 10 мг/л является безвредным.

Уран – в целом распространенный в природных водах радиоактивный элемент. Особенно заметные концентрации урана могут встречаться в подземных водоисточниках. В основу нормирования концентрации урана заложены не известные радиоактивные свой-

ства, а санитарно-токсическое влияние в качестве химического элемента-загрязнителя. Допустимое содержание концентрации урана в питьевой воде равно 1,7 мг/л. [37].

Кадмий, накапливаясь в почках, вызывает гипертонию, ослабляет общий иммунитет организма, оказывает негативное воздействие на умственные способности человека, т.к. вытесняет необходимый для нормальной работы мозга цинк. Кроме того, период полувыведения кадмия очень высок и к его остаточным концентрациям следует относиться чрезвычайно внимательно.

Алюминий, имея свойство накапливаться в организме человека, способен быть причиной старческого слабоумия, повышенной нервной возбудимости, вызывать различные нарушения моторных реакций у детей, анемию, головные боли. Кроме этого, в зоне ответственности алюминия заболевание почек, печени, колиты, неврологические изменения, связанные с болезнью Паркинсона. [44,119,121].

Соответственно, строго регламентируется и предельно допустимая концентрация в воде ряда веществ, применяемых для осветления воды (например, полиакриламида, сернокислого алюминия). [39,40]

Органические вещества, вызывающее повышенное значение перманганатной окисляемости, отрицательно влияют на печень, почки, репродуктивную функцию, а также на центральную нервную и иммунную системы человека. Вода, имеющая перманганатную окисляемость выше 2 мг O_2 /л, не рекомендуется к употреблению.

Токсичность вышеназванных компонентов не настолько велика, чтобы вызвать прямое острое отравление, но при длительном употреблении воды, содержащей упомянутые вещества в концентрациях выше нормативных, может развиваться хроническая интоксикация, приводящая в итоге к той или иной патологии. Следует учитывать также, что токсическое воздействие веществ может проявляться не только при пероральном поступлении их с водой, но и при всасывании через кожу в процессе гигиенических (душ, ванна) или оздоровительных (плавательные бассейны) процедур.

Таким образом, чтобы ответить на вопрос о пригодности воды для питья необходимо оценить образец как минимум по вышеуказанным параметрам. [9,14,119,121].

1.3 Общие задачи водоподготовки

Водоподготовка – обработка воды, поступающей из природного водоисточника, для приведения её качества до требуемых показателей. Водоподготовка включает следующие основные методы обработки:

осветление (удаление из воды коагуляцией, отстаиванием и фильтрованием коллоидальных и суспензированных загрязнений);

умягчение (устранение жёсткости воды осаждением солей кальция и магния, известью и содой или удаление их из воды катионированием);

обессоливание и обескремнивание (ионный обмен или дистилляцией в испарителях);

удаление растворённых газов (термическим или химическим методом) и окислов железа и меди (фильтрованием).

биологическая очистка воды от бактерий, вирусов и других микроорганизмов. В настоящее время в основном используется хлор, озон и УФ-стерилизация.

улучшение органолептических свойств воды (удаление из воды веществ, придающих воде запах (сероводород, хлор), и ряда органических веществ).

В задачи водоподготовки входит:

Удаление взвешенных частиц.

Нерастворимые вещества в воде могут присутствовать в твердой или в коллоидной формах, попадая в воду либо из почвы, либо в ходе одной из технологических стадий, например, при фильтровании через фильтры с наполнителем. Как правило, удаление таких частиц осуществляется путем их задерживания, перед чем при необходимости проводят насыщение воды кислородом и/или коагуляцию. В основном задерживание посторонних частиц проводят с помощью фильтров – с наполнителем, рукавных или погружных.

Удаление и дезактивация посторонних микроорганизмов.

Обнаруживаемые в воде посторонние биологические структуры могут попадать в нее из источника происхождения (в случае поверхностных вод) или являться результатом загрязнения в ходе производственного процесса. Перед использованием они должны быть удалены или инактивированы. В зависимости от размера посторонние микроорганизмы подразделяют на простейшие, плесени и водоросли, на бактерии и, наконец, вирусы. Удаление этих микроорганизмов осуществляется путем их физического удержания (адсорбции). Инактивацию, как правило, проводят, разрушая клеточную структуру и генетический материал клетки методами химического окисления (хлором, озоном, перекисью водорода и т.п.) или ультрафиолетового облучения.

Удаление нежелательных химических соединений.

Под нежелательными химическими соединениями, как стабильными, так и нестабильными, понимают вещества природного происхождения (которые отражают геологические характеристики водоносного слоя) и вещества, попавшие в воду вследствие человеческой деятельности (железо, марганец, фториды, мышьяк, органические соединения и др.).

1.4 Правовые основы организации водоснабжения

В рамках деятельности по организации питьевого централизованного водоснабжения предприятия формируют целевые показатели (рис. 1), в числе которых одним из важнейших является качество подаваемой питьевой воды [5]. Согласно [6] питьевая вода должна быть безвредной в эпидемиологическом отношении, химически безопасной и обладать требуемыми органолептическими характеристиками.

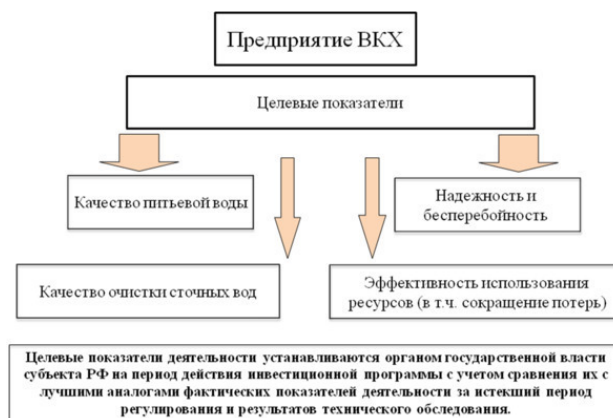


Рисунок 1. Целевые показатели деятельности организации

Критериями, определяющими формирование целевых показателей в части качества питьевой воды являются соответствие/не соответствие требованиям после водоподготовки (пробы, %), в сетях (пробы, %), поданной по договорам (объем, %) (рис 2).



Рисунок 2. Данные для установления целевых показателей

Общие принципы организации водоснабжения основаны на выборе водоисточника, формирования зоны санитарной охраны водоисточника и водопровода, проектировании и строительстве сооружений и реализации собственно процесса водоподготовки с последующей подачей воды потребителям. Общая схема процесса представлена на рис. 3.

Традиционно полагают, что химическая безопасность питьевой воды определяется соответствием возможных загрязнений уровням ПДК. При этом известно, что поставщики услуг централизованного водоснабжения (водоканалы) зависимы от качества водоисточников и технологически далеко не всегда способны мгновенно удалить из воды ряд исходно имеющихся там загрязнений. Федеральным законом №416 «О водоснабжении и водоотве-

дении» [5], среди прочего, определены действия по ограничению или прекращению подачи воды из систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения при «существенном ухудшении качества». Одновременно в ст.23, п.6 [5] сказано, что при несоответствии качества воды по отдельным показателям, на уровнях, не достигающих «существенного ухудшения», максимальный срок от начала реализации мер, обеспечивающих нормативное качество, до их окончания фактически может определяться семью годами (и это без времени учета согласования формирования и технического задания по требуемым мероприятиям), исходя из сроков реализации инвестиционных программ, обозначенных в [7].

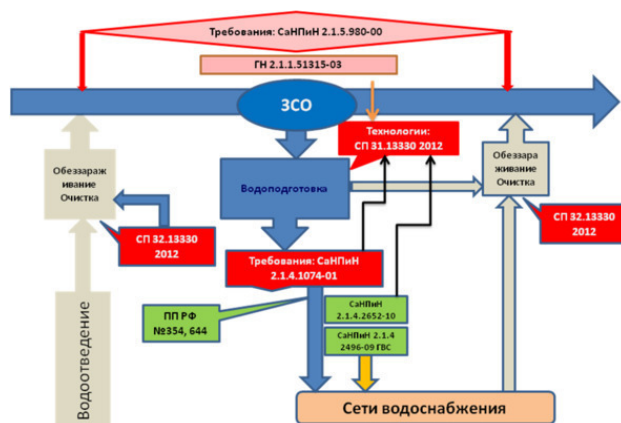


Рисунок 3. Организация питьевого водоснабжения

Критерии существенного ухудшения качества питьевой воды и горячей воды установлены приказом главного государственного санитарного врача России от 28.12.2012 №1204 [8]. В этом документе определены уровни «существенного ухудшения» в зависимости от показателей и указаны требования к минимальному количеству проб и срокам наблюдения, формирующие возможную доказательную базу с учетом риска для здоровья населения.

Таким образом, для обеспечения питьевого водоснабжения следует учитывать состояние выбранного водоисточника, соблюдение режимов зоны санитарной охраны, на основании обосновывается применение тех или иных технологических решений по организации водоподготовки.

1.5 Основные методы и технологические схемы водоподготовки предприятий водопроводно-канализационного хозяйства

Общая схема системы централизованного водоснабжения

Под системой водоснабжения подразумевается комплекс сооружений, необходимых для снабжения водой потребителей в необходимом количестве, требуемого качества и под требуемым напором при обеспечении надежности их работы. [9]

Системы водоснабжения можно разделить на хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные. Помимо того, вода используется для мойки улиц, проездов, площадей, а также поливки зеленых насаждений и других целей. В зависимости от вида объекта, снабжаемого водой, системы бывают городскими, поселковыми, промышленными и т. п. При этом система водоснабжения может обеспечивать водой как один объект, так и группу однородных и разнородных потребителей на территории района. [10]

На промышленных предприятиях в зависимости от схемы использования воды системы классифицируются на прямоточные, с последовательным использованием воды, оборотные и замкнутые.

В зависимости от источника питания водой объекта они подразделяются на системы, забирающие воду из поверхностных источников и из подземных источников. По способу подачи воды потребителям системы могут быть напорными и безнапорными. Возможна комбинация этих схем подачи воды. Система водоснабжения состоит из сооружений для забора воды из источника, ее транспортирования, обработки, хранения и регулирования подачи.

Вид водозаборного сооружения зависит от характера источника водоснабжения. Из поверхностных источников водоснабжения (рис.4, а) забор воды осуществляется береговыми и русловыми водозаборами различных конструкций, из подземных (рис.4, б) – водозаборными скважинами, шахтными колодцами, горизонтальными и лучевыми водозаборами, сооружениями для каптажа подземных вод. Подъем и перекачка воды на очистные сооружения или к потребителю осуществляется насосной станцией I подъема. После прохождения процесса кондиционирования вода подается потребителю насосной станцией II подъема. Допускается устройство нескольких последовательно или параллельно работающих станций, что определяется техническими и экономическими требованиями. [10]

Сооружения для кондиционирования воды необходимы для доведения ее качества до требований, предъявляемых к ней абонентами. Резервуары чистой воды (сборные резервуары) служат для сглаживания неравномерности режима работы насосных станций I и II подъемов и хранения аварийных и противопожарных объемов воды.

Водоводы следует рассматривать как сооружения для транспортирования воды к местам ее распределения. Они представляют собой систему труб (напорных и безнапорных) и каналов, по которым вода поступает к городу, поселку или промышленному объекту.

Для распределения воды по территории объекта и раздачи ее потребителям устраивается водопроводная сеть. Сооружения для хранения и аккумуляции воды (водонапорная башня) выполняют ту же роль, что и резервуар чистой воды. Вместо водонапорной башни может быть установлен наземный или подземный напорный резервуар, если вблизи города имеются достаточно высокие отметки земли.

Расположение очистных сооружений возможно вблизи как водозаборных сооружений, так и потребителя. Это зависит от удаленности водопотребителя от источника питания,

наличия строительной площадки, санитарных, технических или экономических соображений, а также качества воды в источнике.

Схема водоснабжения будет упрощена в случае соответствия качества воды в источнике требуемому (например, при использовании артезианских вод характерно высокое санитарно-гигиеническое качество).

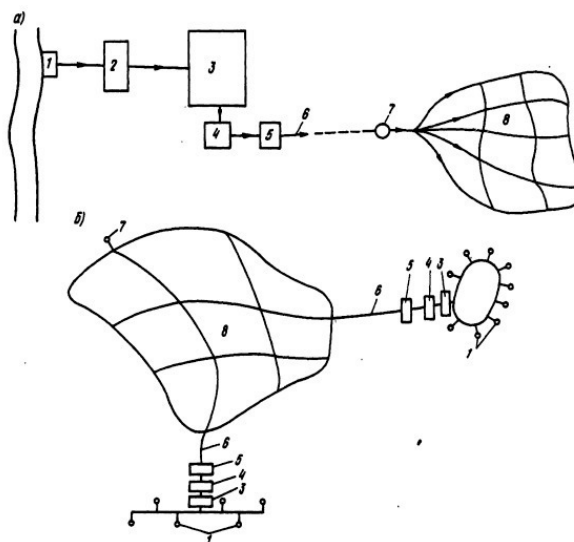


Рисунок 4. Общая схема систем водоснабжения из поверхностного (а) и подземного (б) источников. [10]

1 – водозаборное сооружение; 2 и 5 – насосные станции соответственно I и II подъема; 3 – очистные сооружения; 4 – резервуар чистой воды; 6 – водоводы; 7 – напорно-регулирующая емкость; 8 – водопроводная сеть.

Таким образом, обязательными элементами системы водоснабжения являются водозаборные сооружения, водоводы и водопроводная сеть.

Как было отмечено ранее, по виду потребления воды системы подразделяются на хозяйственно-питьевые, производственные, противопожарные и поливочные.

Каждый из потребителей предъявляет свои требования к количеству и качеству подаваемой ему воды, напору, создаваемому в системе, и т. д. В городах, как правило, устраивают единую систему водоснабжения для хозяйственно-питьевых и противопожарных целей.

Система водоснабжения в процессе работы должна удовлетворять требованиям надежности и экономичности. Недоучет требований надежности при проектировании, строительстве и эксплуатации систем может привести к нарушениям нормального водоснабжения. Под надежностью понимается способность системы обеспечивать потребителей водой в необходимых количествах, требуемого качества и под требуемым напором. Одним из показателей надежности функционирования системы может служить вероятность её безотказной работы в течение рассматриваемого времени. [10,11]

Различают технологическую и санитарную надежность. Технологическая надежность обеспечивается рядом мер на стадии проектирования, строительства и эксплуатации: созданием запасов воды в источниках водоснабжения, использованием двух и более независимых источников, увеличением числа водозаборных сооружений, прокладкой нескольких параллельно работающих водоводов, устройством кольцевых водопроводных сетей, увеличением объемов запасно-регулирующих емкостей в системе подачи и распределения воды, созданием резервных мощностей очистных сооружений, обеспечением бесперебойного энерго-снабжения, разработкой математических моделей распределения воды при авариях. [10,12]

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.