

## Лекция 1 Системы водоснабжения населенных пунктов

Вопросы лекции:

1. Современное состояние и перспективы развития.
2. Системы водоснабжения и их классификация
3. Схемы водоснабжения и состав сооружений.

### 1. Современное состояние и перспективы развития.

Среди многих отраслей народного хозяйства, направленных на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных пунктов и развития сельскохозяйственного и промышленного производства одно из ключевых мест занимает водоснабжение.

**Водоснабжение** – это обеспечение водой населенных пунктов, производственных и других объектов для удовлетворения хозяйственно-питьевых, производственных и противопожарных нужд.

**Водоснабжение** – это комплекс мероприятий по обеспечению водой различных потребителей.

Обеспечение населения чистой, доброкачественной водой имеет большое гигиеническое значение, так как предохраняет людей от различных эпидемиологических заболеваний, передаваемых через воду. Подача достаточного количества воды в населенный пункт позволяет поднять общий уровень его благоустройства. Для удовлетворения потребностей современных крупных населенных пунктов в воде требуются громадные ее количества, измеряемые в миллионах кубических метров в сутки.

Для примера если в средние века в городах на одного человека приходилось 25 л воды в сутки, то теперь ее расходуется 200...400 л, а в крупных городах – 500 и более.

Выполнение этой задачи, а также обеспечение высоких санитарных качеств питьевой воды требуют тщательного выбора природных источников, их защиты от загрязнения и надлежащей очистки воды на водопроводных сооружениях.

Производственные процессы на промышленных предприятиях также сопровождаются большим расходом воды. При этом предприятия отдельных отраслей промышленности и энергохозяйства потребляют количество воды, нередко значительно превосходящее коммунальное водопотребление крупных городов.

Так, например, для добычи 1 л нефти нужно израсходовать 10 л воды, для производства 1 кг бумаги – 200 л, 1 кг шерстяной ткани – 600 л, 1 т стали – 20 м<sup>3</sup>, для выработки 1 т ацетатного шелка необходимо 2660 м<sup>3</sup> воды, лавсана – 4200 м<sup>3</sup>, а капронового волокна – 5600 м<sup>3</sup> воды.

Следует отметить, что кроме обеспечения водой населения и промыш-

ленности, осуществляемого системами водоснабжения, огромное народно-хозяйственное значение имеет обеспечение водой сельского хозяйства, в особенности в орошаемом земледелии. Например, чтобы получить 1 кг сухого пшеничного зерна, надо израсходовать 750 л воды.

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

В Вавилоне воду поднимали на довольно значительную высоту с помощью различных приспособлений с использованием блоков. В водопроводах Египта и Вавилона для подачи воды из резервуаров применялись трубы гончарные, деревянные, а также металлические (свинцовые и медные). В Древнем Китае для водоснабжения использовались весьма глубокие колодцы, из которых воду доставали ведрами с помощью ворот или блоков.

В период расцвета Древней Греции и Рима существовали довольно большие централизованные системы водоснабжения. В Рим вода подавалась к городу самотеком по каналам. При пересечении долин или оврагов каналы прокладывались по специальным мостам – акведукам. В городе вода подвигалась к центральным резервуарам, откуда подавалась по трубам к общественным баням и купальням, к дворцам и домам патрициев, а также к общественным фонтанам и бассейнам, которыми пользовалось население.

Начальные сведения об устройстве централизованных городских водопроводов в других странах Европы относятся к XII в. В конце XII в. построен первый самотечный водопровод в Париже. В XIII в. начинается централизованное водоснабжение Лондона. К началу XV в. относятся сведения об устройстве водопроводов в немецких городах.

Зарождение и развитие капиталистической мануфактуры вызвало развитие и водопроводной техники. Промышленная революция XVIII в. обусловила строительство фабрично-заводских водопроводов. В то же время сброс промышленных сточных вод в открытые водоемы привел к их сильному загрязнению и поставил вопрос об изыскании источников чистой воды, поэтому в это же время возникает необходимость в добыче подземных вод.

Из древних водопроводных устройств, которые применяли народы, населявшие территорию бывшего СССР, в маловодных районах Средней Азии частично сохранились до нашего времени своеобразные сооружения для сбора грунтовых вод – подземные галереи, в Крыму найдены вырубленные в скалах емкости для сбора атмосферных вод, в Новгороде на территории княжеской резиденции при раскопках обнаружен самотечный водопровод из деревянных труб, время постройки которого отнесено к концу XI – началу XII в. Имеются сведения о самотечном водопроводе из гончарных труб, построенном в Грузии в начале XIII в.

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

В 1718 г. по приказу Петра I был сооружен водопроводный канал для Летнего сада в Петербурге. В 1721 г. сооружаются знаменитые Петергофские фонтаны.

При Петре I начато также сооружение родникового водопровода в Царском селе (ныне г. Пушкин), законченного в 1749 г. Для Царского села был построен крупный для того времени (длиной более 15 км) речной водопровод.

В 1804 г. заканчивается сооружение первого московского городского водопровода, который подавал в город самотеком грунтовую воду на расстоянии около 16 км. Водопровод в дальнейшем перестраивался и модернизировался; были построены насосные станции, самотечные водоводы заменены напорными. В 1898 г. были построены около Рижского вокзала Крестовские водонапорные башни, в которых смонтированы стальные баки вместимостью по 1875 м<sup>3</sup> каждый, расположенные на высоте 30 м над поверхностью земли.

Сооружались водопроводы и в других городах. В течение XIX в. в России были построены еще 64 городских водопровода.

Однако вплоть до Великой Октябрьской социалистической революции строительство водопроводов в России развивалось медленно. При этом большая часть построенных водопроводов находилась в неудовлетворительном состоянии; норма расхода воды на одного жителя была малой; надлежащей очистки воды не производилось; число домовых вводов было незначительно, и большая часть воды отпускалась населению через уличные водоразборы.

Развитие водоснабжения в республике тесно связано с развитием такового в России. Однако после распада СССР оно получило новый виток. Так 24 июня 1999 года в республике был принят закон «О питьевом водоснабжении» (№271-З). Настоящий закон регулирует отношения в области питьевого водоснабжения и устанавливает государственные гарантии по обеспечению потребителей питьевой водой. Данный закон был первым на территории стран бывшего Советского Союза.

Дальнейшее развитие водоснабжение получило (и в большей степени сельскохозяйственное) с принятием в 2005 году Государственной программы возрождения и развития села на 2005-2010 годы, предусматривающей в качестве результатов **полностью удовлетворить потребности сельского насе-**

## **ления в качественной питьевой воде за счет реконструкции и развития систем центрального и локального водоснабжения.**

### **2. Системы водоснабжения и их классификация**

**Система водоснабжения** – это комплекс взаимосвязанных сооружений, предназначенный для обеспечения потребностей в воде какого-либо потребителя.

В общем случае в задачу системы водоснабжения входит:

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

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

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

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

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

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

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

**Системы водоснабжения классифицируются по различным признакам:**

1) по видам потребителей:

- системы хозяйственно-питьевого водоснабжения;
- противопожарного водоснабжения;
- поливочные;
- много функциональные;

2) по видам объектов водоснабжения:

- системы водоснабжения городов;

- водоснабжения поселков;
- водоснабжения производственных объектов;
- 3) по охвату снабжаемых объектов:
  - системы водоснабжения одного объекта;
  - системы водоснабжения групповые;
- 4) по кратности использования подаваемой воды:
  - системы прямоточные;
  - с оборотом воды;
  - с последовательным использованием воды;
- 5) по природным источникам водоснабжения:
  - системы, использующие воду поверхностных источников;
  - системы, использующие подземные воды;
- 6) по способам подачи воды:
  - самотечные системы;
  - с механической подачей воды;
  - смешанная подача.

Различают **централизованные системы водоснабжения** – все объекты снабжаются от одного источника и по одним и тем же трубопроводам и **децентрализованные системы водоснабжения** – объекты снабжаются по различным трубопроводам и от различных источников.

Системы сельскохозяйственного водоснабжения как правило проектируются и строятся объединенными **хозяйственно-производственно-противопожарными**. Они могут быть централизованными, децентрализованными и комбинированными.

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

Система водоснабжения должна быть запроектирована и построена так, чтобы она обеспечивала подачу потребителям воды в требуемых им количествах и требуемого качества. При фактическом выполнении этих условий можно считать, что система находится в «работоспособном состоянии».

Если в результате каких-либо причин нормальное функционирование системы нарушается, то имеет место «отказ» системы (недопустимо длительный перерыв или временное снижение подачи воды объекту снабжения, недопустимое снижение заданных давлений в водопроводной сети, ухудшение качества подаваемой воды).

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

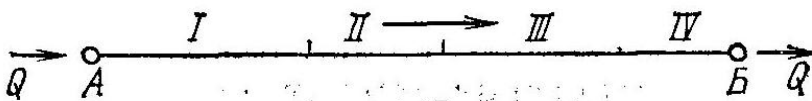
Следует отметить возможность наступления отказа, специфического для систем водоснабжения населенных пунктов, где процесс водопотребления носит случайный характер. Отказ водообеспечения здесь может произойти не в результате аварии в системе (т. е. снижения ее продуктивности), а в результате случайного,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

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

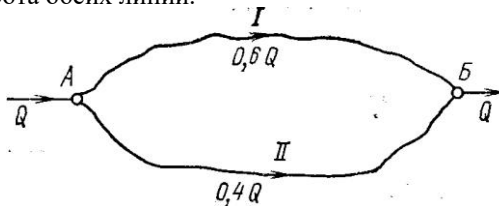
Основным универсальным методом обеспечения требуемой надежности систем водоснабжения, как и большинства других инженерных систем, является их **резервирование**, т. е. введение в систему избыточности. Наиболее распространенным является метод **структурного резервирования** – использование в системе избыточных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

### Структурное резервирование

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



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



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

### **Временное резервирование.**

Вторым принципом обеспечения надежности систем водоснабжения является использование 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 объем резервуара должен обеспечивать содержание в нем количества воды, достаточного для снабжения объекта на время (отсюда временное резервирование) ликвидации аварии на водоводе. В ряде случаев при резервировании необходимо устраивать также насосную станцию.

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

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

**I категория** – наивысшая степень надежности. К ней относят системы водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов с числом жителей  $N > 50$  тыс. человек. *Не допускается перерыва в подаче воды. Расчетные расходы допускается снижать не более чем на 30% на срок не более 3 суток.*

**II категория.** К ней относят системы водоснабжения промышленных предприятий и населенные пункты с количеством жителей  $N < 50$  тыс. человек, а также групповые сельскохозяйственные водопроводы. *Перерыв в подаче воды допускается на срок до 5 часов и снижение расчетных расходов на 30% в течение месяца.*

**III категория.** Системы водоснабжения поселков с числом жителей до 500 человек. *Перерыв в подаче воды допускается на срок до 1 суток и снижение расчетных расходов на 30% в течение месяца.*

### 3. Схема водоснабжения и состав сооружений

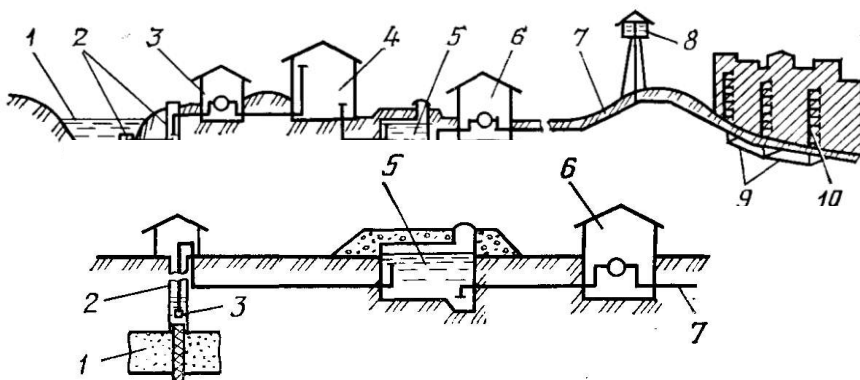
Системы водоснабжения устраивают по определенным схемам, которые представляют собой совокупность сооружений водопровода и последовательность расположения их на местности.

Проектирование любого водопровода начинается с вычерчивания его схемы в плане и определения состава сооружения. Обычно в начальной стадии проектирования составляют две (или более) возможные схемы водоснабжения, которые являются вариантами проекта будущего водопровода. Затем проводится технико-экономический расчет – сравнение вариантов, выбирают наивыгоднейший. По выбранной схеме окончательно проектируют и рассчитывают все устройства системы водоснабжения.

В состав сооружений системы водоснабжения входят следующие основные элементы: а) водозаборное сооружение; б) насосные станции; в) сооружения для очистки и обработки воды (если нужно); г) водоводы и водопроводные сети; д) регулирующие и запасные емкости. Их наличие и тип в значительной мере обусловлены водоисточником, качеством воды в нем и требованиями потребителей к воде.

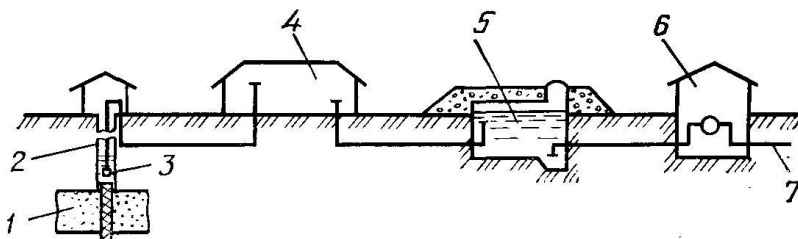
В зависимости от типа водоисточника, качества воды в нем можно привести следующие схемы водоснабжения:

#### а) схема водоснабжения и состав сооружений при заборе воды из поверхностного водоисточника.



#### б) схема водоснабжения и состав сооружений при заборе воды из подземного источника (качество воды соответствует ГОСТ «Вода питьевая»).

**в) схема водоснабжения и состав сооружений при заборе воды из подземного источника (качество воды не соответствует ГОСТ «Вода питьевая»).**



1 – источник водоснабжения; 2 – водозаборное сооружение; 3 – насосная станция I подъема; 4 – станция улучшения качества воды (УКВ); 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция II подъема; 7 – водовод; 8 – водонапорная башня; 9 – наружная водопроводная сеть; 10 – внутренний водопровод.

## Лекция 2. Водопотребление

Вопросы лекции:

1. Водопотребители и нормы водопотребления
2. Среднее и максимальное суточное водопотребление. Учет неравномерности водопотребления

### 1. Водопотребители и нормы водопотребления

Вода в населённых пунктах расходуется: населением для индивидуальных нужд, коммунально-бытовыми учреждениями, промышленными предприятиями, расположенными на территории населённого пункта, на обслуживание животных и содержание различных машин и механизмов. Всех потребителей, проживающих в сельском населённом пункте, можно сгруппировать в три сектора: коммунальный (население, проживающее в домах различной степени благоустройства; школы; больницы; бани; полив газонов и цветников; скот и птица в личном пользовании); животноводческий (молочно и свиноводческие фермы, птицефермы и пр.); производственный (предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции, гаражи, мастерские и пр.).

Средний объем суточного потребления воды каждым водопотребителем определяется по зависимости:

$$Q_{\text{ср.сут}} = N \cdot q_0 \cdot 10^{-3} \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{ср.сут}}$  – средний суточный расход воды, м<sup>3</sup>/сут;

$N$  – количество водопотребителей (число жителей, объем выпускаемой продукции и т.д.);

$q_0$  – среднесуточная норма водопотребления, л/сут.

Состав и количество водопотребителей берут или в статистических организациях или непосредственно в администрации населённого пункта.

В нормы водопотребления для животных и птицы на сельскохозяйственных предприятиях включены расходы воды на мойку помещений, клеток, молочной посуды, приготовление кормов, охлаждение молока и другие процессы.

Среднесуточный расход каждого сектора определяется как сумма среднесуточных расходов всех групп водопотребителей, входящих в него.

Среднесуточный расход посёлка определяется как сумма среднесуточных расходов секторов.

В связи с неравномерностью водопотребления в течение года фактический режим водопотребления отличается от среднесуточного. Для того чтобы

система водоснабжения надёжно обеспечивала потребителей водой в любое время года, её рассчитывают по максимальному суточному расходу. Отклонение максимального суточного расхода от среднесуточного учитывает коэффициент суточной неравномерности  $K_{сут.}$ , который показывает, во сколько раз максимальный суточный расход превышает среднесуточный.

В общем случае коэффициент суточной неравномерности

$$K_{сут} = \frac{Q_{\max.сут}}{Q_{ср.сут}} \quad (3.2)$$

где  $Q_{\max.сут}$  – максимальное суточное потребление.

Коэффициенты суточной неравномерности, приводятся в нормах проектирования. Для сельских населённых пунктов их принимают:

$K_{сут} = 1,3$  – для коммунального сектора;

$K_{сут} = 1,2$  – для животноводческого сектора;

$K_{сут} = 1,1$  – для производственного сектора.

При известных  $Q_{ср.сут}$  и  $K_{сут}$  определяется максимальное суточное водопотребление:

$$Q_{\max.сут} = K_{сут} \cdot Q_{ср.сут} \quad (3.3)$$

Исходя из вышеизложенного, определяются максимальные суточные расходы потребителей, секторов и всего населённого пункта.

## **2. Среднее и максимальное суточное водопотребление. Учет неравномерности водопотребления**

Водопотребители расходуют воду в течение суток неравномерно со значительными колебаниями в различные часы. Чтобы обеспечить требуемую пропускную способность распределительной сети труб и других сооружений системы водоснабжения необходимо знать максимальный требуемый расход. Для его определения необходимо просуммировать часовые расходы воды каждым потребителем и составить график водопотребления в течение суток.

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

$$K_{\text{час}} = \frac{Q_{\text{max.час}}}{Q_{\text{ср.час}}} \quad (3.4)$$

где  $Q_{\text{max.час}}$  – максимальное часовое водопотребление.

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

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{max.сут}}}{24} \quad (3.5)$$

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

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

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

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

$$q_{\text{расч}} = \frac{Q_{\text{max.час}}}{3,6}, \text{ л/с} \quad (3.6)$$

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

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

### Лекция 3. Водозаборы подземных вод

Вопросы лекции:

1. Поверхностные и подземные воды, как источник водоснабжения
2. Сооружения для забора подземных вод
3. Фильтры скважин, их подбор и расчет
4. Шахтные колодцы
5. Горизонтальные водозаборы
6. Каптажи
7. Восполнение запасов подземных вод

#### 1. Поверхностные и подземные воды, как источник водоснабжения

Для сельскохозяйственного водоснабжения можно использовать практически все природные источники воды и искусственные водоемы – подземные воды, реки, озера, водохранилища, каналы, цистерны для сбора атмосферных осадков.

Пригодность источника водоснабжения определяется следующими основными требованиями:

- минимальный расход (или полезный объем) источника должен быть достаточным для удовлетворения нужд водоснабжения. При недостатке воды в отдельные периоды прибегают к регулированию источника путем устройства водохранилища;
- вода в источнике водоснабжения должна быть пригодной для использования потребителями непосредственно или после ее очистки. *(Вода подземных источников, как правило, отвечает требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Поверхностные воды содержат больше загрязнений, поэтому требуют осветления и обеззараживания.);*
- источник водоснабжения должен иметь хорошее санитарное состояние и находиться в условиях, позволяющих организовать его санитарную охрану, исключающую попадание в воду загрязнений;
- режим водоисточника и условия забора воды из него должны быть благоприятны для осуществления бесперебойного водоснабжения. *(При неблагоприятном режиме (большом колебании расходов и уровней воды) регулируют русла, устраивают плотины и проводят другие мероприятия.);*
- использование источника водоснабжения должно быть экономически выгодным.

Все виды водозаборных сооружений могут быть разделены на две группы **в соответствии с видом используемых природных источников:**

- сооружения для забора поверхностных вод;
- сооружения для забора подземных вод.

При возможности использования для заданного объекта как одного, так

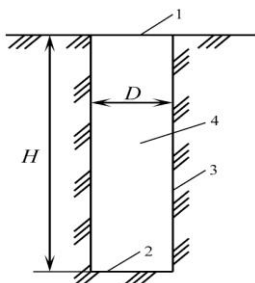
и другого вида природных источников выбирают тот, который в большей степени обеспечивает бесперебойную подачу снабжаемому объекту требуемых ему количеств воды нужного качества при условии наименьшей затраты средств на строительство и эксплуатацию системы водоснабжения в целом.

## 2. Сооружения для забора подземных вод

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

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

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



- 1 – устье;
- 2 – забой (дно скважины);
- 3 – стенки;
- 4 – ствол.

Устье обычно располагается в специальном павильоне.

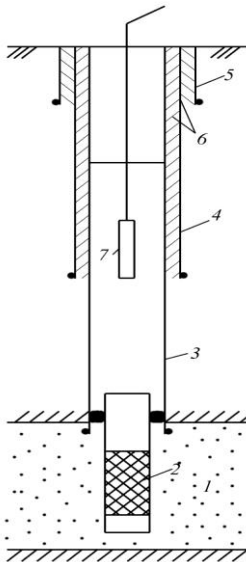
Конструкция скважины зависит от глубины залегания подземных вод, характера проходимых горных пород и способа бурения. В свою очередь способ бурения принимается в зависимости от требуемой глубины колодца.

Стенки скважины закрепляют опускаемой в него стальной обсадной трубой. Эту трубу опускают до верхней границы залегания водоносных пород. В обсадную трубу опускают трубу меньшего диаметра, которую доводят обычно до нижней границы залегания водоносных пород, несколько заглубляя в подстилающие водонепроницаемые породы. Затем в трубу опускают фильтр, предназначенный для защиты колодца от занесения в него вместе с водой частиц грунта из водоносного слоя. Фильтр представляет собой обыч-

но трубу с перфорированной дырчатой или щелевой частью.

При залегании водоносных пород на большой глубине достигнуть их одной обсадной трубой не удастся, так как значительно возрастает сопротивление грунта погружению обсадных труб. В этих условиях используют несколько обсадных труб, которые имеют различный постепенно уменьшающийся диаметр.

Затрубное пространство, как правило, цементируется.



Общая схема конструкции водозаборной скважины

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

**Приток к совершенным и несовершенным скважинам.** Водозаборные скважины применяют обычно при сравнительно глубоком залегании и значительной мощности водоносных пластов. Они могут использоваться для приема как безнапорных, так и напорных подземных вод. И в том и в другом случае они могут быть доведены до подстилающего водоупорного пласта – «совершенные скважины» или заканчиваться в толще водоносного пласта – «несовершенные скважины».

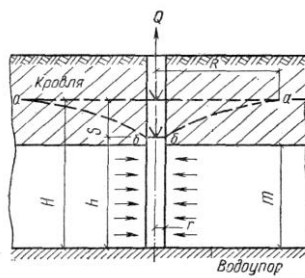
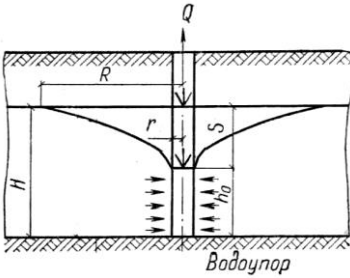
При откачке из безнапорного горизонта происходит осушение части пласта в виде воронки с радиусом  $R$ .

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

## Совершенные скважины

Безнапорный горизонт

Напорный горизонт



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

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

В реальных же условиях скважины не совершенны.

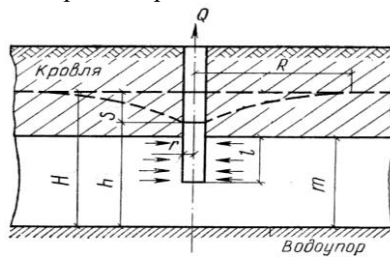
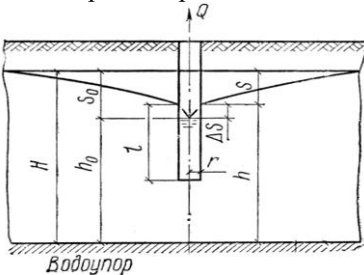
1. **по степени вскрытия пласта**, т.е. фильтр забирает воду из какой-то его части, что вызывает деформации линий тока по профилю потока;
2. **по характеру вскрытия пласта** возникает из-за несоответствия фильтрационных характеристик самого пласта и фильтра и прифильтровой зоны.

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

## Несовершенные скважины

Безнапорный горизонт

Напорный горизонт



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

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

Величина дополнительных сопротивлений по степени вскрытия водоносного горизонта  $\xi_1$  определяется в зависимости от отношения  $\frac{m}{r}$  и  $\frac{l}{m}$ .

### Значения коэффициента $\xi_1$ .

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

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

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

### 3. Фильтры скважин, их подбор и расчет

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

- обладать необходимой механической прочностью;
- иметь по возможности наибольшую площадь контакта с водоносной породой;
- обеспечивать максимальный дебит скважины при минимальном понижении уровня воды в ней;
- быть достаточно устойчивым при длительной эксплуатации против химической и электрохимической коррозии, водной эрозии, зарастания;
- иметь конструкцию, позволяющую применять механические и химические методы восстановления водопроницаемости прифильтровых зон и фильтра и извлекать из скважины старый фильтр для замены новым.

Фильтр состоит из каркаса и водоприемной поверхности. Каркас – основа для водоприемной поверхности. Он может быть: стержневым, трубчатым с

круглой или щелевой перфорацией; из штампованного листа. Водоприемную поверхность устраивают из проволочной обмотки, штампованного листа, металлических и неметаллических сеток.

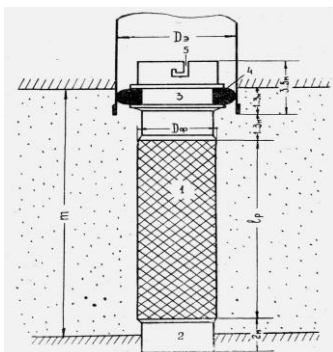


Рис. Схема фильтровой водоприемной части скважины:

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

В зависимости от строения водоприемной поверхности фильтры скважин подразделяют:

- на трубчатые с круглой или щелевой перфорацией;
- с проволочной обмоткой;
- с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
- сетчатые;
- гравийные кожуховые;
- гравийные обсыпные;
- блочные из пористого бетона или пористой керамики.

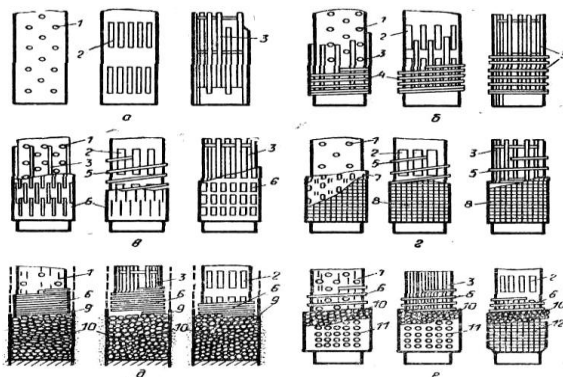
**Фильтры с круглой и щелевой перфорацией** применяют, как правило, при заборе стабильной по химическому составу воды **из гравелистых грунтов и чистых галечников**, часто их используют в качестве опорных каркасов для проволочной обмотки, сеток и гравия, образующих фильтрующие поверхности, через которые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

**Каркасно-стержневые фильтры с проволочной обмоткой** (рис., б) состоят из металлических стержней, опорных поясов жесткости и соединительных патрубков. Соединительные патрубки изготовляют из обсадных труб соответствующего диаметра. Для каждого звена фильтра необходимо

два патрубка длиной 250...350 мм со стандартной резьбой на концах. Металлические стержни выполняют из прутковой стали диаметром 10...16 мм и длиной 2...3,5 м. Чтобы стержни образовали каркас, их располагают по образующей патрубков на расстоянии 30...40 мм один от другого. Опорные пояса придают стержням необходимую жесткость при монтаже каркаса. Их делают из фланцев листового железа толщиной 10...12 мм, колец или сварными с закладкой кусков металла между стержнями и устанавливают по вертикали через 200...350 мм.

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

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



**Рис Схемы фильтров:**

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



каркасе делают отверстия малого диаметра или закрывают их сеткой (проволочной обмоткой). При эксплуатации в результате осадки гравия верхние отверстия каркаса могут обнажаться, поэтому гравийную обсыпку рекомендуют насыпать на 50 см выше отверстий в каркасе.

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

Гравий в скважины глубиной до 100 м засыпают по межколонному пространству, глубиной более 100 м – транспортируют потоком промывочной жидкости.

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

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

Диаметр фильтра определяется по зависимости

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

где  $Q$  – производительность скважины м<sup>3</sup>/сут;

$D_{\phi}$  – наружный диаметр рабочей части фильтра, м;

$V_{\phi}$  – допустимая входная скорость фильтрации воды, м/сут;

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

Допустимая входная скорость фильтрации воды определяется:

для дырчатых, щелевых, проволочных и сетчатых фильтров

$$V_{\phi} = 65 \cdot \sqrt[3]{K_{\phi}}$$

для гравийных и блочных фильтров

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

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

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

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

В водоносных пластах мощностью до 10 м длину рабочей части фильтра можно принимать равной мощности водоносного горизонта за вычетом кон-

структивных размеров

$$l_p = m - (1 \dots 3 \text{ м}),$$

а в пластах большой мощности

$$l_p = \beta \cdot m,$$

где  $\beta$  – коэффициент, равный 0,5...0,8.

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

$$l_p = \frac{\alpha \cdot Q}{D_\phi}$$

где  $Q$  – дебит скважины, м<sup>3</sup>/ч;

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от водопроницаемости пород;

$D_\phi$  – диаметр рабочей части фильтра, мм.

#### Значения коэффициента $\alpha$

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

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

**Расчет водозабора из группы взаимодействующих скважин.** При отборе воды из водоносного горизонта несколькими скважинами

При расчете водозабора подземных вод из группы взаимодействующих скважин задачей расчета является определение скважины с максимальным понижением уровня воды при известных дебитах скважин с учетом их взаимодействия.

Расчет проведем для группы из трех несовершенных скважин в напорном водоносном горизонте. Дебит скважин одинаковый.

Дебит несовершенной скважины в напорном водоносном горизонте

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

Откуда понижение уровня в несовершенной скважине без учета взаимодействия:

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

где  $Q_{скв}$  – дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;

$R$  – радиус влияния, м;

$r$  – радиус скважины, м;

$\xi_1, \xi_2$  – дополнительные фильтрационные сопротивления, возникающие в связи с несовершенством скважины по степени и характеру вскрытия водоносного горизонта;

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$m$  – мощность водоносного горизонта, м.

Радиус влияния

$$R = 1,5\sqrt{a \cdot t},$$

где  $a$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сут;

$t$  – нормативное время эксплуатации скважины, равное 9125 сут.

$$\alpha = \frac{K_{\phi} \cdot m}{\mu},$$

где  $\mu$  – коэффициент водоотдачи, принимается в зависимости от типа породы водоносного горизонта:

### Ориентировочные значения коэффициентов фильтрации и водоотдачи

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

Дополнительное понижение уровня воды для группы любым образом

расположенных взаимодействующих скважин:

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

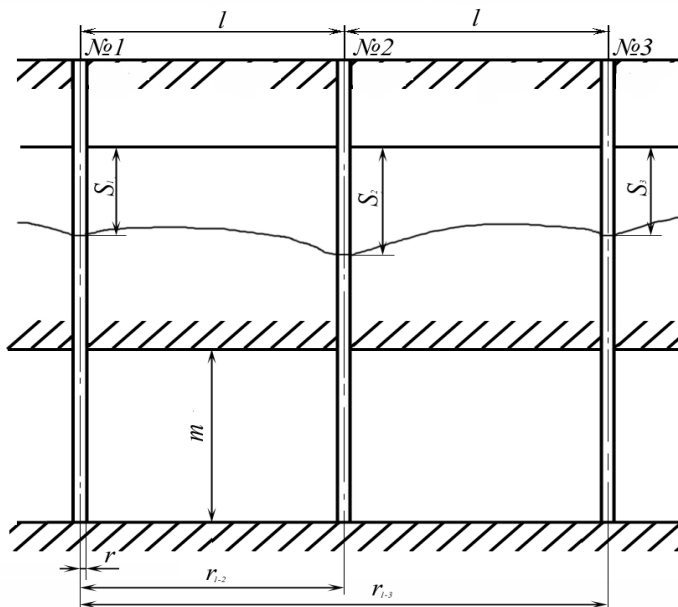
где  $Q_i$  – дебит  $i$ -й скважины, м<sup>3</sup>/сут;

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

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

### Рекомендуемые расстояния между скважинами

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



Дополнительное понижение уровня воды в скважине №1 за счет взаимодействия

$$S_{\text{дон1}} = S_{\text{дон3}} = \frac{Q \cdot \left( \lg \frac{R}{r_{1-2}} + \lg \frac{R}{r_{1-3}} + 2 \cdot (\xi_1 + \xi_2) \right)}{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m}$$

где  $Q$  – дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;

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

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

Дополнительное понижение уровня воды в скважине №2 за счет взаимодействия

$$S_{\text{дон2}} = \frac{Q \cdot \left( \lg \frac{R}{r_{1-2}} + \lg \frac{R}{r_{2-3}} + 2 \cdot (\xi_1 + \xi_2) \right)}{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m}$$

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

Максимальное понижение воды в скважине с учетом взаимодействия:

$$S_{\text{max}} = S + S_{\text{донi}}^{\text{max}},$$

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

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

для напорных пластов

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{дон}}^n = H - \left[ (0,3 \dots 0,5) \cdot m + \Delta H_n + \Delta H_{\phi} \right]$$

где  $H$  – полный напор в скважине, т.е. разность между статическим уровнем воды в скважине и подошвой водоносного пласта, м;

$m$  – мощность напорного водоносного пласта, м;

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

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

для безнапорных пластов

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

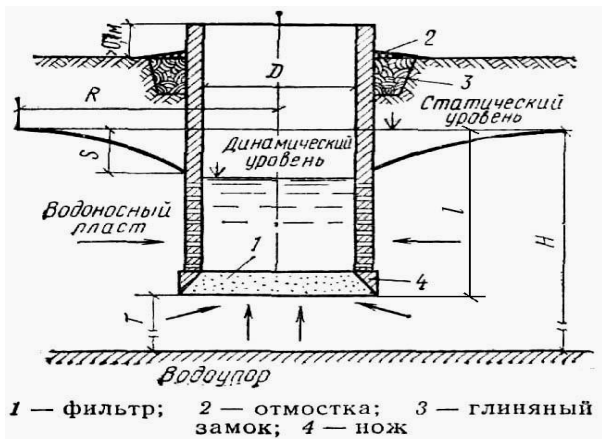
#### 4. Шахтные колодцы

Шахтные колодцы чаще всего применяют для приема относительно неглубоко залегающих вод (обычно на глубине не более 20...30 м) из безнапор-

ных водоносных пластов. Прием воды осуществляется через их дно и частично стенки.

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

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



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

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

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

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

$R$  – радиус влияния для безнапорных вод может быть определен по фор-

мале Кусакина;

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

Приток воды через боковую поверхность

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

где  $\xi$  – фильтрационные сопротивления по степени вскрытия водоносного горизонта, считая для безнапорного пласта  $m = H_{cp} = 0,8 \cdot H$ .

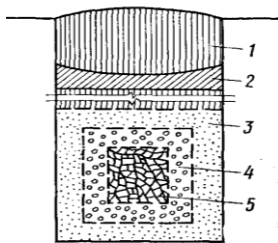
## 5. Горизонтальные водозаборы

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

Все конструкции горизонтальных водосборов можно разделить на следующие три группы:

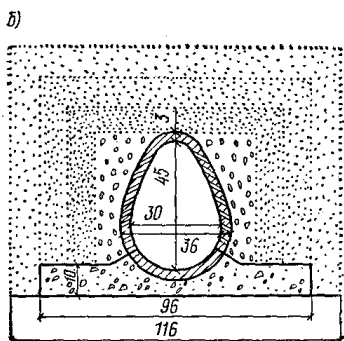
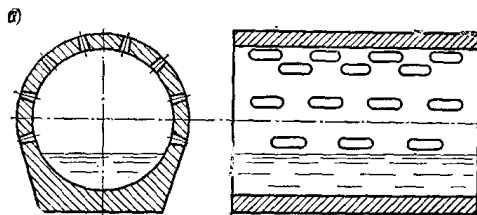
- траншейные водосборы;
- трубчатые водосборы;
- водосборные галереи.

**Траншейные водосборы** являются наименее совершенным типом горизонтальных водосборов.

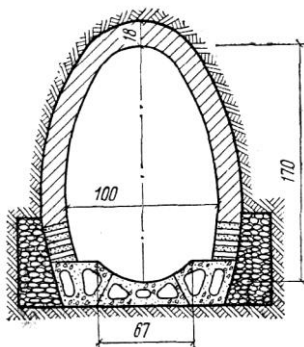


1 – местный грунт; 2 – экран из водонепроницаемого грунта; 3 – крупный песок; 4 – гравий; 5 – выкладка из рваного камня или щебня

**Трубчатые водосборы** представляют собой керамические, бетонные или железобетонные трубы круглого или овоидального сечения с фильтрующей гравийно-песчаной обсыпкой вокруг них.



**Водосборные галереи** – обычно железобетонные овоидального сечения или сводообразного типа с отверстиями в стенке.



Количество воды, поступающей в совершенный горизонтальный водосбор из безнапорного пласта

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

где  $h$  – высота стояния воды в водосборе, м;

$R$  – зона влияния, м;

$l$  – длина водосбора, м.

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

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

где  $C$  – коэффициент Шези;

$R$  – гидравлический радиус;

$I$  – уклон галереи или трубы.

Площадь водоприемных отверстий, приходящихся на 1 м

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

где  $\mu$  – коэффициент расхода отверстий, равный 0,6...0,62;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h_1$  – средний напор над водоприемными отверстиями, м.

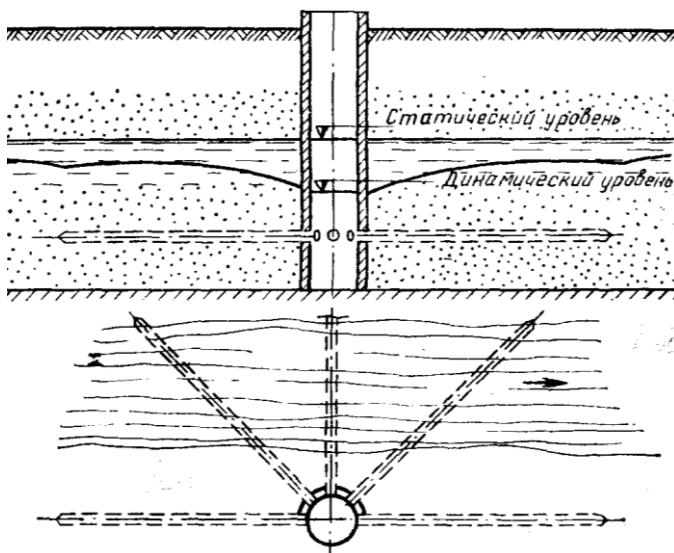
Поскольку в горизонтальных водозаборах расход по мере приближения к колодцу увеличивается, то расчет водопроточивающей части следует вести по участкам (обычно от колодца к колодцу).

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

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

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

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



## 6. Каптажи

Родники, или ключи, представляют собой естественный выход подземных вод на поверхность. Прозрачность, высокие санитарные качества, а также относительно простые способы получения родниковой воды привели к широкому использованию ее для целей питьевого водоснабжения.

Родники бывают двух типов – **восходящие и нисходящие**. Первые образуются при проникании в поверхностные слои грунта напорных вод в результате нарушения целостности перекрывающих их водонепроницаемых пород. Вторые образуются в результате выклинивания на поверхность земли безнапорных водоносных пластов, покоящихся на водонепроницаемых породах.

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

Для каптажа **восходящих** родников водоприемные сооружения выполняются в виде резервуара или шахты, сооружаемых над местом наиболее ин-

тенсивного выхода родниковой воды. Вода принимается только через дно, выполненное в виде **обратного фильтра**. Собранная вода отводится к потребителю самотеком или к насосной станции по трубе.

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

### **7. Восполнение запасов подземных вод**

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

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

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

В качестве источников искусственного восполнения запасов подземных вод могут использоваться поверхностные воды рек, водохранилищ, озер, каналов,

а иногда также шахтные и дренажные воды, воды «отработанные» на установках кондиционирования воздуха или на системах охлаждения производственного оборудования и аппаратуры и другие виды незагрязненных сточных вод.

**Методы восполнения запасов подземных вод.** Методы искусственного восполнения запасов подземных вод подразделяют по:

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

**По характеру воздействия на баланс подземных вод** различают на способы:

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

**По степени воздействия на баланс подземных вод** различают на способы:

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

**По целевому назначению** методы искусственного восполнения могут быть:

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

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

- поверхностная инфильтрация сырой воды;
- внутригрунтовая инфильтрация.

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

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

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

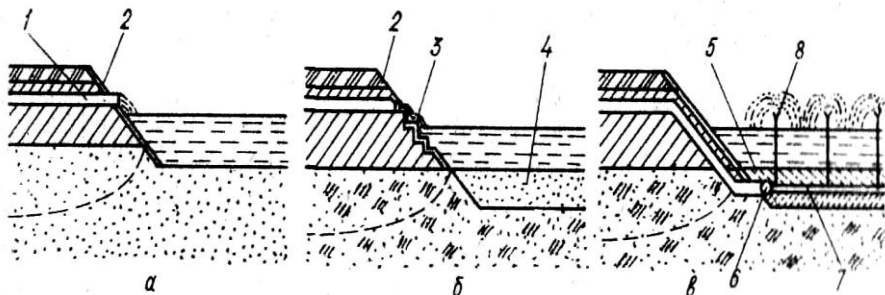
**Открытые инфильтрационные сооружения.** В качестве открытых инфильтрационных сооружений, служащих для искусственного восполнения запасов подземных вод, чаще всего используют бассейны, каналы, площадки, канавы, борозды, реже – естественные и искусственные понижения рельефа – овраги, балки, высохшие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

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

При расчете открытых инфильтрационных сооружений решаются следующие основные задачи: назначение их габаритных размеров (ширины, длины, глубины) и выбор конструкции; установление режима эксплуатации; прогнозирование их производительности и определение способа их регенерации.

Из всех видов сооружений в системах восполнения запасов подземных вод чаще всего применяют инфильтрационные бассейны. Устраивают их, как правило, прямоугольной формы в плане и трапециевидного поперечного и продольного сечений. Обычно их размеры составляют: ширина по дну 15...30 м и длина 200...400 м, глубина обычно не превышает 3...4 м (чаще 1,5...2,0 м). При наличии слабопроницаемых отложений, днища бассейнов должны врезаться в хорошо фильтрующие породы на глубину не менее 0,5 м. Общая глубина бассейна от днища до верха откоса должна быть не менее чем на 0,5 м больше его глубины наполнения. Инфильтрационные бассейны устраивают

без загрузки дна, если их дно подстилают пески (рис. а), с песчаной (рис. б) и с гравийной загрузкой дна (рис. в). Песчаную или гравийную загрузку дна предусматривают при устройстве бассейнов в гравийно-галечниковых отложениях. Толщина загрузки должна составлять 0,5...0,8 м. Крупность зерен песчаной загрузки 0,5...2 мм, гравийной – 3...8 мм. Для подачи воды в бассейны применяют следующие устройства: один или два водовыпуска, размещенные в середине продольного или торцевого откоса (рис. а); аэрационные каскады (рис. б), устраиваемые на одном или на обоих продольных откосах бассейна; разбрызгивающие сопла, расположенные равномерно на площади бассейна (рис. в).



Схемы инфильтрационных бассейнов систем искусственного восполнения запасов подземных вод:

а – без загрузки дна; б – с песчаной загрузкой дна; в – с гравийной загрузкой дна; 1 – трубчатый водовыпуск; 2 – крепление откосов бассейна; 3 – аэрационный каскад; 4 – песчаная загрузка; 5 – гравийная загрузка; 6 – распределительная труба; 7 – распределитель; 8 – разбрызгивающие сопла.

Эксплуатируются инфильтрационные бассейны обычно в двух режимах с **постоянной подачей воды** в бассейн или с **постоянным уровнем воды** в бассейне.

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

**При втором режиме** в бассейн сразу же после его пуска в работу подают повышенные расходы воды, доводя уровень воды в бассейне до максимально возможного. В дальнейшем этот уровень поддерживается на протяжении всего рабочего периода. При этом с понижением фильтрационной способности бассейна расход подаваемой воды уменьшается. Работа инфильтрационных бассейнов в таком режиме целесообразна при мелкозернистых песках или

супесях, слагающих его дно, а также в тех случаях, когда пуск бассейна совпадает с временем наступления отрицательных температур.

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

**Закрытые инфильтрационные сооружения.** В качестве закрытых инфильтрационных сооружений, служащих для искусственного восполнения запасов подземных вод, используют вертикальные сооружения – скважины, шахтные колодцы, шурфы и горизонтальные закрытые сооружения – трубчатые дрены, галереи и штольни.

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

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

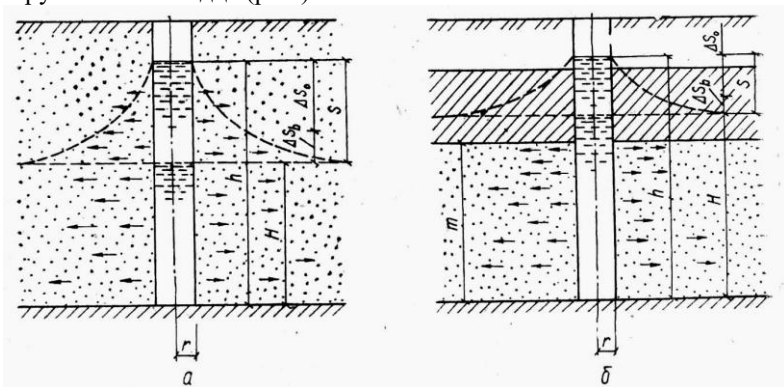
Трубчатые колодцы-скважины в системах искусственного пополнения запасов подземных вод по назначению и условиям эксплуатации можно подразделить на три типа: **поглощающие**, **дренажнопоглощающие** и **двойного назначения**.

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

**Дренажнопоглощающие трубчатые колодцы** принимают воду верхнего водоносного горизонта и подают ее в нижний предназначенный для эксплуатации водоносный пласт. Эти колодцы оборудуются фильтрами на оба горизонта (рис. б). Для улучшения перетока воды из одного горизонта в другой



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



**Расчетные схемы поглощающих трубчатых колодцев подающих воду:**

а – безнапорный водоносный пласт; б – в напорный водоносный пласт.

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

$$Q = - \frac{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r}}$$

Знак (–) в числителе показывает, что в данном случае вода движется от колодца, а не к колодцу.

## Лекция 4. Водозаборы поверхностных вод

Вопросы лекции:

1. Сооружения для забора поверхностных вод
2. Водозаборы берегового типа
3. Водозаборы руслового типа
4. Комбинированные водозаборы
5. Санитарная охрана водозаборов

### 1. Сооружения для забора поверхностных вод

Водозаборные сооружения из поверхностных источников кроме основной задачи – обеспечения бесперебойного получения требуемого количества воды из природного источника – выполняют также функции предварительной механической очистки забираемой воды, защиты от попадания в нее льда, а также рыбы.

**По степени надежности** водозаборные сооружения из поверхностных источников делятся на три категории:

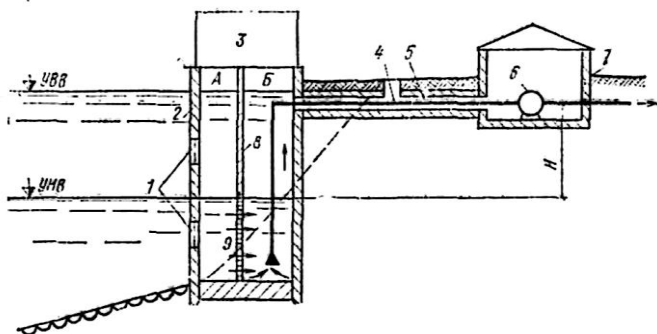
**I категория.** *Не допускается перебоев в отборе расчетного расхода воды.*

**II категория.** *Отбор расчетного расхода воды с возможным перерывом подачи в течение 5 ч или снижение ее подачи на период до 1 мес.*

**III категория.** *Отбор расчетного расхода воды с возможным прекращением на период до 3 сут.*

### 2. Водозаборы берегового типа

**Водозаборные сооружения берегового типа** используют обычно при относительно крутых берегах и наличии у берега достаточных глубин, обеспечивающих требуемые условия забора воды. Водоприемными устройствами береговых водозаборов служат окна, расположенные в лобовой стенке сооружения и снабженные сороудерживающими решетками, осуществляющими предварительную грубую механическую очистку воды. Водозаборное сооружение берегового типа представляет собой колодец 2, обычно железобетонный, передняя стенка которого выходит непосредственно в русло реки.



Вода поступает в водозабор через входные окна 1, расположенные в передней стенке колодца, и забирается через всасывающие трубы 4. На пути от входных окон к всасывающим трубам вода проходит через сетки 9, установленные в перегородке 8, разделяющей водоприемный колодец на два отделения: переднее – приемное (А) и заднее – всасывающее (Б).

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

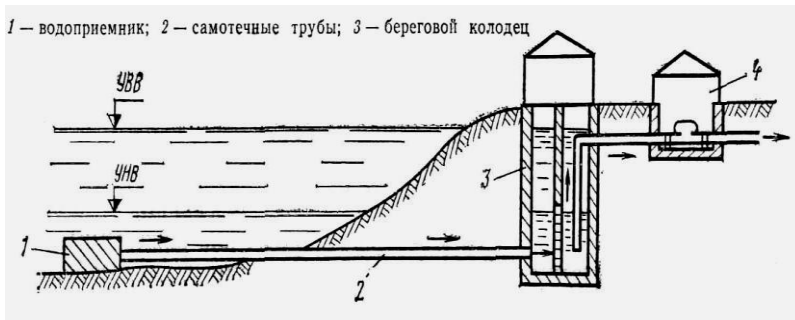
Расчет водозабора берегового типа заключается в определении размеров водоприемных окон, сеток, отметок уровней воды в отделениях водозабора.

### 3. Водозаборы руслового типа

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

ввод воды в берег с подводом ее возможно ближе к насосной станции.

В отличие от береговых водозаборов русловые водозаборы имеют специальные устройства, осуществляющие непосредственный прием воды из русла реки (водоприемники).



Здесь непосредственный прием воды из реки производится через водоприемник, конструктивное оформление которого зависит от количества забираемой воды, глубины реки, ее ледовых условий, характера грунта и т. д. От водоприемника вода по самотечным линиям 2 подводится к береговому колодецу 3. Его конструкция и оборудование несколько отличаются от обычного водозабора берегового типа, поскольку вода из источника поступает в него не через входные окна, а по самотечным трубам. Так же, как и водозабор берегового типа, береговой колодец обычно состоит из приемного и всасывающего отделений и снабжен сетками для грубой механической очистки воды. Береговой колодец может быть устроен раздельным или совмещен с насосной станцией 4.

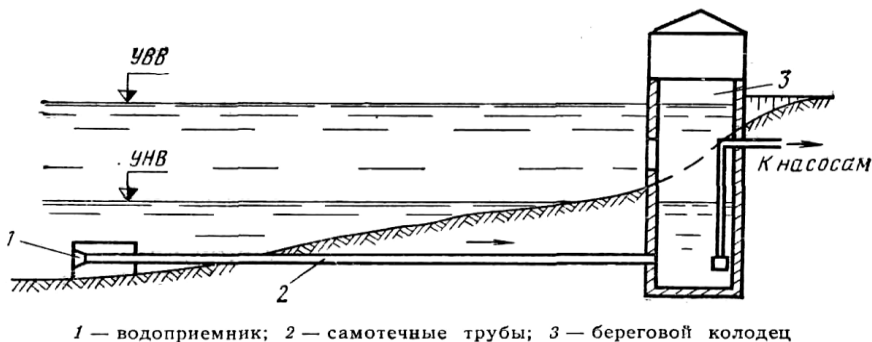
При значительных колебаниях уровня воды русловые водозаборы иногда устраивают, с двумя ярусами самотечных труб для возможности приема воды с наименьшим количеством взвеси.

В некоторых случаях в целях уменьшения глубины укладки самотечных линий их заменяют сифонными линиями.

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

#### 4. Комбинированные водозаборы

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



## 5. Санитарная охрана водозаборов

Охрана источников питьевого водоснабжения от загрязнения, засорения и истощения является обязательным условием обеспечения надлежащего качества питьевой воды и достигается выполнением санитарных, экологических и иных требований и мероприятий по предотвращению загрязнения, засорения, истощения поверхностных и подземных водных объектов, а также созданием зон санитарной охраны источников и соблюдением режима, предусмотренного для этих зон.

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

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

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

**Зоны санитарной охраны водозаборов подземных вод.** Водозаборы подземных вод должны располагаться вне территории промышленных предприятий и жилой застройки. Расположение их на территории промышленного предприятия или жилой застройки возможно при надлежащем обосновании.

**Границы первого пояса зоны санитарной охраны** подземного источника питьевого водоснабжения должны устанавливаться от одиночного водозабора (скважина, шахтный колодец, каптаж) или от крайних водозаборных

сооружений группового водозабора на расстоянии:

- не менее 30 метров при использовании защищенных подземных вод;
- не менее 50 метров при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

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

**К недостаточно защищенным подземным водам** относятся:

- воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта, получающего питание на площади его распространения;
- воды напорных и безнапорных водоносных горизонтов, которые в естественных условиях или в результате эксплуатации водозабора получают питание на площади зоны санитарной охраны из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов через гидрогеологические окна или проницаемые породы, кровли, а также из водотоков и водоемов путем непосредственной гидравлической связи.

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

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

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

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

климатических районов и защищенности подземных вод.

Радиус (граница) второго пояса определяется по формуле

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

где  $Q_{\text{вод}}$  – производительность водозабора, м<sup>3</sup>/сут;

$T_2$  – время продвижения микробного загрязнения, сут.;

$m$  – мощность водоносного пласта, м;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи водоносного пласта.

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

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

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

- применение ядохимикатов и удобрений;

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

- рубки леса главного пользования и реконструкции.

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

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

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

- размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и

минеральных удобрений, накопителей промстоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод;

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

Размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, накопителей промстоков, шламохранилищ и других объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод, допускается в пределах третьего пояса зоны санитарной охраны подземного источника питьевого водоснабжения только при использовании защищенных подземных вод при условии выполнения специальных мероприятий по защите водоносного горизонта от загрязнения по согласованию с органами государственного санитарного надзора и органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды.

Зоны санитарной охраны водозаборов поверхностных вод. Границы первого пояса зоны санитарной охраны водотока, в том числе подводящего канала, должны устанавливаться:

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

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

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

**Границы второго пояса зоны санитарной охраны** водотока надлежит устанавливать:

- вверх по течению, включая притоки, исходя из скорости течения воды, усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков, чтобы время протекания воды от границы пояса до водозабора при среднемесечном расходе воды 95 процентов обеспеченности было не менее 5 суток;
- вниз по течению на расстоянии не менее 250 метров от водозабора;
- боковые границы при равнинном рельефе местности на расстоянии не менее 500 метров от уреза воды при летне-осенней межени;
- боковые границы при гористом рельефе местности до вершины первого склона, обращенного в сторону водотока, но на расстоянии не менее 750 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени при пологом склоне и не менее 1000 метров при крутом склоне.

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

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

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

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

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

норм и правил.



## Лекция 5. Насосные станции и водоподъемные установки

Вопросы лекции:

1. Водопроводные насосные станции и их классификация
2. Водоподъемное оборудование на водозаборе и его подбор
3. Водоподъемное оборудование на насосной станции 2-го подъема и его подбор
4. Водоподъемные установки

### 1. Водопроводные насосные станции и их классификация

**Насосной станцией** называется совокупность сооружений, машин и аппаратов, служащих для подъема воды.

**Водопроводные насосные станции разделяют на:**

- станции I подъема, поднимающие воду из водозабора;
- станции II подъема, подающие воду из резервуаров (чистой воды или других) в водопроводную сеть или в водонапорную башню.

При зонировании сетей и водоводов могут устраиваться насосные станции (перекачки) — III подъема, IV и т. д. При использовании подземных вод, не требующих очистки, можно ограничиться одним подъемом. Небольшие насосные станции I и II подъема иногда объединяют в одном здании.

Для подкачки воды (увеличения напора) строят насосные станции подкачки, в которых насосы, забирая воду из участка трубопровода, где напор недостаточен, подают ее в последующий участок с увеличенным напором.

**В зависимости от глубины положения уровня воды в водосточнике:**

- наземные (не заглубленные) – насосные станции располагают на поверхности земли;
- заглубленные – их заглубляют для обеспечения допустимой высоты всасывания насосов.

При низком состоянии динамического уровня воды во избежание заглубления всей насосной станции применяют вертикальные, в частности скважинные центробежные насосы.

**По надежности действия подразделяются на три категории.**

**К I категории** относятся насосные станции, в которых не допускается перерывов в подаче воды.

На станциях **II категории** возможны кратковременные перерывы в подаче на время включения резервного электроснабжения.

На станциях **III категории** – перерывы продолжительностью до одних суток на время ликвидации аварии.

Насосные станции сельскохозяйственных водопроводов относятся ко II, а при числе жителей до 5000 человек в поселке – к III категории.

## 2. Водоподъемное оборудование на водозаборе и его подбор

**Суточную подачу** насосной станции принимают равной максимальному суточному водопотреблению. Если насосная станция подает воду на очистные сооружения, то прибавляют еще расход воды на промывку скорых фильтров и другие нужды очистной станции, который составляет приблизительно 8...10% полезного суточного расхода. При наличии в системе водоснабжения противопожарных запасов воды предусматривают дополнительно подачу воды на их пополнение (для сельскохозяйственных водопроводов в течение 72 ч).

**Часовую подачу** насосной станции вычисляют по максимальной ординате принятого суточного графика ее работы. Для насосных станций I подъема, качающих воду на очистные сооружения, как правило, принимают равномерный график подачи воды.

Расчетная часовая производительность водозабора (при заборе воды из подземного водоисточника)

$$Q_{вод} = \frac{\alpha \cdot Q_{\max \text{ сист}}^{\text{сут}}}{T_{НС1}} + \frac{W_{пож}}{T_{вост}}, \text{ м}^3/\text{час}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды системы,  $\alpha = 1,05 \dots 1,10$ ;

$T_{НС1}$  – продолжительность работы водозабора (насосной станции 1-го подъема) в течение суток,  $T_{НС1} = 24$  часа;

$T_{вост}$  – время восстановления пожарного запаса,  $T_{вост} = 72$  часа;

$W_{пож}$  – запас воды на пожаротушение,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$$W_{пож} = n(q_v + q_n) \cdot T_{пож} \cdot 3,6, \text{ м}^3;$$

где  $n$  – количество одновременных пожаров, принимается в зависимости от размера населенного пункта (числа жителей) и т.д.;

$q_n$  и  $q_v$  – расход воды соответственно на внутреннее и наружное пожаротушение;

$T_{пож}$  – продолжительность пожаротушения, ч.

Напор насоса

$$H_{нас} = H_z + \Sigma h, \text{ м},$$

где  $H_z$  – геодезическая высота подъема, м;

$\Sigma h$  – потери напора в сборных водоводах, м.

Геодезическая высота подъема равна разности отметок уровня воды в РЧВ при полном его заполнении и отметки динамического уровня.

$$H_z = Z - Z_{дин}, \text{ м,}$$

где  $Z_{дин}$  – отметка динамического уровня в скважине.

По расчетному  $Q_{i\dot{a}\ddot{n}}$  и  $H_{i\dot{a}\ddot{n}}$  принимается погружной насос.

Резервный насосный агрегат (один на 1...10 скважин) хранят на складе в готовом к установке виде.

### 3. Водоподъемное оборудование на насосной станции 2-го подъема и его подбор

На насосной станции 2-го подъема устанавливаются насосы для подачи воды в сеть при хозяйственном водопотреблении и насосы для подачи воды в сеть при пожаротушении.

Для обеспечения бесперебойной подачи воды на насосной станции, кроме рабочих, устанавливают резервные насосные агрегаты. Число резервных насосных агрегатов устанавливают в зависимости от категории надежности насосной станции и числа рабочих насосов, включая противопожарный.

Число резервных насосов в зависимости от категории надежности насосных станций и числа рабочих насосов

Число рабочих насосов	I категория	II категория	III категория
От 1 до 3	2	1	1
От 4 до 6	2	2	1
От 7 до 9	3	3	2

#### Хозяйственные насосы.

Часовая производительность насосной станции 2-го подъема

$$Q_{НС2} = \frac{Q_{\max.сут}^{сут}}{T_{НС2}}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

где  $T_{НС2}$  – оптимальный период работы насосной станции 2-го подъема, обеспечивающий минимальный регулирующий объем бака водонапорной башни. Определяется в результате согласования режимов водопотребления и водоподачи.

Напор насосов станции второго подъема при схеме питания сети: с проходным резервуаром

$$H_{HC2} = H_{BB} + H_B + h_{ВОД} + (Z_{BB} - Z_{П.3}),$$

с контррезервуаром

$$H_{HC2} = H_{BB} + H_B + h_{ВОД} + \sum h + (Z_{BB} - Z_{П.3})$$

где  $H_{BB}$  – высота ствола башни, м;

$H_B$  – высота бака, м;

$Z_{BB}$  – отметка поверхности земли в месте расположения водонапорной башни, м;

$Z_{П.3}$  – отметка уровня пожарного запаса в РЧВ, м;

$h_{ВОД}$  – потери напора в водоводе при пропуске расчетного расхода, м;

$\sum h$  – потеря напора в сети, м.

По полученным значениям напора и расхода подбирается насос.

### **Противопожарные насосы.**

Подачу и напор противопожарного насоса определяют в соответствии с принятой схемой пожаротушения и противопожарными нормами.

Во время пожара, помимо противопожарного расхода, должен одновременно подаваться и максимальный хозяйственно-питьевой расход. При пожаре водонапорная башня (и водоподъемная установка) отключается и напор противопожарных насосов определяется без учета ее высоты.

Напор насосной станции определяют как сумму геодезического напора плюс потери напора по пути движения воды.

$$H_{п.н.} = H_z + \sum h, \text{ м}$$

где  $H_z$  — геодезическая высота подъема воды;

$$H_z = (Z_{д.т.} + H_{СВ}) - Z_{д}, \text{ м}$$

где  $Z_{д.т.}$  – отметка поверхности земли в диктующей точке;

$Z_{д}$  – отметка дна резервуара чистой воды;

$H_{СВ}$  – свободный напор равный 10 м;

$\sum h$  – сумма потерь напора при совместном пропуске максимального хозяйственно-питьевого и пожарного расходов.

Для диктующей точки, находящейся на тупике

$$\sum h = h_{ВОД} + \sum h_C, \text{ м}$$

где  $h_{ВОД}$  – потери напора в водоводе при пропуске  $q_{рас} = q_{мах. час.}^{суст.} + q_{пож.}$

$\sum h_C$  – потери напора в сети при пропуске расчетного расхода.

Производительность противопожарных насосов

$$Q_{ПН} = q_{мах. час.}^{суст.} + 3,6 \cdot q_{пож.}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q_{\text{псв}}$  – противопожарный расход, л/с.

По полученным значениям напора и расхода подбирается насос.

#### 4. Водоподъемные установки

Согласование режимов водопотребления и водоподачи, а также обеспечение в сети требуемых свободных напоров возможно не только устройством на сети водонапорной башни, но и нашедших в настоящее время широкое распространение автоматических водоподъемных установок типа ВУ. В отличие от башен водоподъемные установки характеризуются компактностью, автоматизацией всего процесса водоподачи, меньшей металлоемкостью. В то же время такие недостатки, как малый регулирующий объем ее бака, частое включение и выключение насоса, резкое колебание давлений с сети сужает область их применения. Их применение целесообразно для снабжения водой отдельно стоящих высотных зданий, микрорайонов повышенной этажности, ферм и населенных пунктов при расходах воды до 100 м<sup>3</sup>/ч.

Работа установок типа ВУ протекает следующим образом: в периоды, когда насосы подают воды больше, чем потребляет водоснабжаемый объект, часть воды поступает в гидропневмобак. Давление сжимаемого в нем воздуха повышается и когда оно достигнет верхнего предела, на которое отрегулировано реле давления, происходит разрыв электрической цепи и выключение насоса. В дальнейшем вода подается к местам потребления под действием давления воздуха в баке ( $P_{\text{макс}}=P_{\text{выкл}}$ ). По мере опорожнения бака давление в нем падает, и когда оно достигнет нижнего предела, на которое отрегулировано реле давления ( $P_{\text{мин}}=P_{\text{вкл}}$ ) последнее, включает насос в работу. Объем воды, заключенный между уровнями воды в баке, соответствующими давлению включения ( $P_{\text{вкл}}$ ) и выключения ( $P_{\text{выкл}}$ ) насоса – регулирующий объем.

Такой повторно-кратковременный режим работы ВУ обеспечивает максимальное приближение режима водоподачи к режиму водопотребления.

Расчет автоматической водоподъемной установки ведется в следующей последовательности:

Производительность установки

$$Q_y = (1 \dots 1,2) \cdot Q_{\text{расч}}^{\text{сист}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $Q_{\text{расч}}^{\text{сист}}$  – расчетный расход системы, м<sup>3</sup>/ч.

Напор установки

$$H_y = H_{\text{св}} + \sum h + (Z_{\text{д.т.}} - Z_{\text{ВУ}}), \text{ м}$$

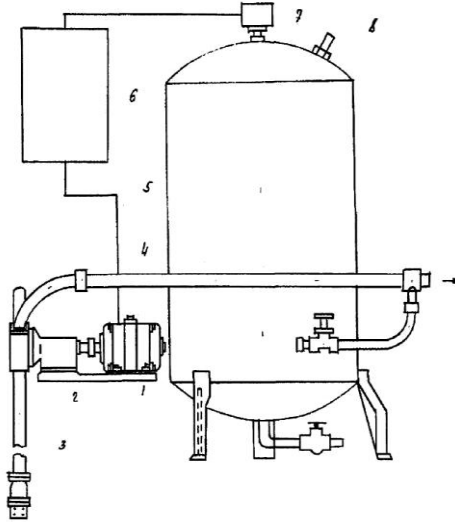
где  $H_{\text{св}}$  – требуемый свободный напор в диктующей точке сети, м;

$\sum h$  – сумма потерь напора на участках сети от ВУ до диктующей точки, м;

$$\Sigma h = h_{\text{ВОД}} + \Sigma h_{\text{С}}, \text{ м,}$$

$h_{\text{ВОД}}$  – потери напора на водоводах, м;

$\Sigma h_{\text{С}}$  – потери напора на участках сети, м;



Пневматическая напорно-регулирующая установка:

1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – всасывающая труба; 4 – нагнетательная труба; 5 – воздушно-водяной котёл; 6 – станция автоматического управления; 7 – реле давления; 8 – предохранительный клапан.

$Z_{\text{д.т.}}$  – отметка поверхности земли в диктующей точке;

$Z_{\text{в.у.}}$  – отметка поверхности земли у водоподъемной установки.

Значение давления включения и выключения насосов

$$P_{\text{вкл}} = \frac{H_{\text{в}}}{1,15}; \quad P_{\text{выкл}} = \frac{P_{\text{вкл}} + 10}{\alpha} - 10, \text{ м. вод. ст.}$$

где  $\alpha = 0,8 \dots 0,75$  – для малонапорных установок с  $H_{\text{в}} \leq 50$  м;

$\alpha = 0,75 \dots 0,65$  – для средненапорных установок с  $H_{\text{в}} = 50 \dots 100$  м.

Регулирующий объем гидропневмобака

$$W_{\text{РЕГ}} = \frac{Q_{\text{в}}}{4 \cdot n}, \text{ м}^3$$

где  $n$  – число включений насоса за час,  $n = 4 \dots 10$  раз.

Полный объем гидропневмобака

$$W = W_{PEГ} \cdot \frac{\beta}{1 \cdot \alpha}, \text{ м}^2,$$

где  $\beta=1,2\dots 1,3$  – коэффициент запаса емкости бака;

$$\alpha = \frac{P_{вкл}}{P_{выкл}}.$$

## *Лекция 6. Транспортирование и распределение воды*

Вопросы лекции:

1. Способы транспортирования воды. Водоводы и разводящие сети
2. Основы гидравлического расчета сетей и водоводов
3. Гидравлический расчет разводящих сетей и водоводов
4. Зоны санитарной охраны водопроводных сооружений и водоводов

### **1.Способы транспортирования воды. Водоводы и разводящие сети**

Тип сооружений транспортирующих воду от источника водоснабжения к потребителю зависит от следующих факторов:

- количества подаваемой воды;
- расстояния, на которое нужно передать воду;
- разности отметок начальной и конечной точек подачи воды;
- рельефа местности;
- системы водоснабжения;
- режима подачи;
- специальных требований водопотребителей.

Основные требования к транспортирующим сооружениям – обеспечение требуемого количества транспортируемой воды, сохранение качества воды в процессе транспортирования, минимально возможные потери воды в процессе транспортирования, надежность и экономичность.

**Основными видами транспортирующих воду сооружений являются:**

- напорные водоводы (трубопроводы, работающие полным сечением) – подача воды по таким водоводам может осуществляться из высоко расположенных природных источников (гравитационные напорные водоводы), а также насосами (нагнетательные водоводы);
- безнапорные водоводы (работающие не полным сечением);
- открытые каналы.

Наиболее широкое распространение в практике водоснабжения имеют **напорные водоводы**, т.е. линии, работающие полным сечением труб. Предельно допустимые наибольшие давления в напорных водоводах определяют выбор типа и материала используемых труб.

**Гравитационные (самотечные) водоводы**, работающие не полным сечением, требуют выбора такой трассы, при которой может быть осуществле-

но безнапорное движение воды (со свободной поверхностью воды). **Единичная стоимость таких водоводов меньше**, чем напорных, но увеличение протяженности их трассы, обеспечивающей требуемые уклоны, может вызвать значительное увеличение длины водоводов и соответственно их общей строительной стоимости. Гравитационные водоводы не требуют затрат средств на электроэнергию, необходимую для работы насосов.

**Открытые каналы**, представляющие собой искусственные русла потока воды, используются обычно для дальних передач больших количеств воды. Эти каналы требуют устройства на них ряда специальных сооружений.

К транспортирующим и распределительным сооружениям в централизованных системах водоснабжения (водопроводах) относятся **водоводы, разводящие (уличные) водопроводные сети и внутренние (домовые) водопроводы**.

**Водоводы** – транзитные трубопроводы, соединяющие отдельные элементы схемы водоснабжения, например водозаборный узел с очистной станцией, насосную станцию с водонапорной башней или с разводящей сетью.

**Разводящие (уличные) водопроводные сети** представляют собой разветвленные системы трубопроводов, служащих для распределения воды по территории объекта водоснабжения. Линии разводящей водопроводной сети прокладывают по улицам, проездам, иногда внутри кварталов с таким расчетом, чтобы к ним можно было бы подключить дома и производственные здания.

**Внутренние водопроводные** сети служат для подачи воды от уличной сети к зданиям, распределения ее внутри зданий и подвода к местам потребления.

## *2. Основы гидравлического расчета сетей и водоводов*

Как уже отмечалось, в систему распределения воды в населенных пунктах входят следующие основные элементы:

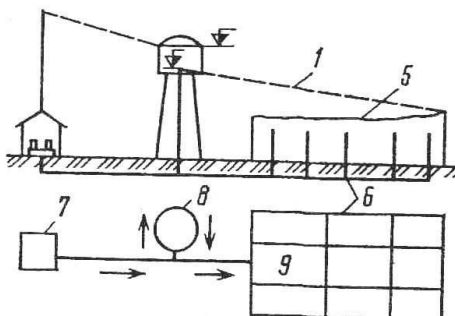
- распределительная (разводящая) сеть труб;
- напорно-регулирующие устройства (водонапорная башня и др.);
- насосная станция второго подъема.

По характеру их размещения и соединения различают три схемы питания сети:

- с проходным резервуаром;
- с контррезервуаром;
- комбинированную схему питания.

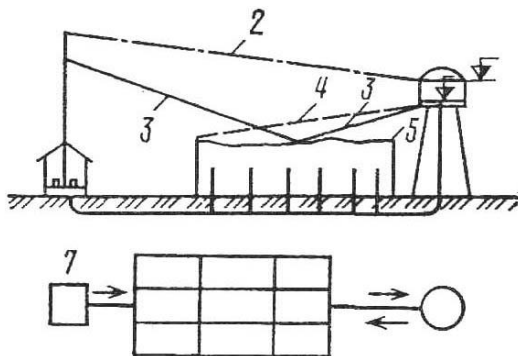
В схеме с **проходным резервуаром** насосная станция второго подъема

подаст воду в напорный резервуар и в распределительную сеть.

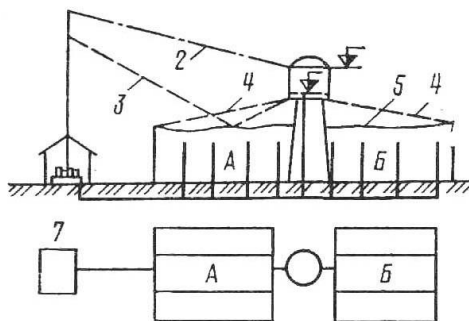


1 – линия пьезометрического напора в сети; 2 – пьезометрическая линия при питании сети от насосной станции и транзите в башню; 3 – пьезометрическая линия при питании сети из башни и от насосной станции; 4 – пьезометрическая линия при питании сети от башни; 5 – линия необходимого напора; 6 – разводящая сеть труб; 7 – насосная станция; 8 – башня; 9 – разводящая сеть.

В схеме с **контррезервуаром** водонапорная башня расположена на противоположной от насосной станции стороне населенного пункта. В период максимального расхода в сети вода в нее поступает от насосной станции и из напорного резервуара на башне. Когда потребление в сети меньше количества воды, подаваемого насосной станцией, то неизрасходованная в сети вода поступает транзитом в напорный резервуар на башне, образуя там некоторый резерв. Если насосная станция не работает, вода в сеть поступает только из башни.



3. При **комбинированной схеме питания** часть распределительной сети питается по схеме с контррезервуаром, часть – по схеме через башню.



Кроме рассмотренных основных схем питания сети, возможны и более сложные:

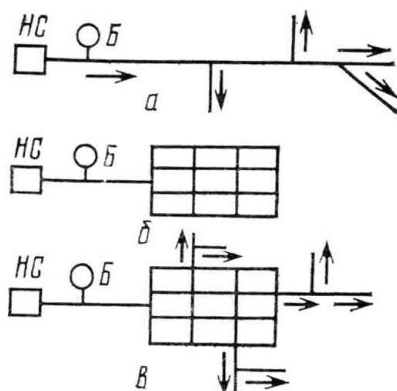
- вода подается от нескольких насосных станций в различные точки сети;
- вместо одного устраивают несколько напорных резервуаров;
- сеть питается только от насосных станций, и напорный резервуар отсутствует, то есть насосы работают круглые сутки.

Выбор схемы питания сети в значительной степени зависит от характера рельефа поверхности населенного пункта. При горизонтальной поверхности возможна любая из трех основных схем питания сети. В этом случае выбор схемы определяет размер населенного пункта. В небольшом поселке для удобства эксплуатации лучше поставить башню рядом с насосной станцией и применить схему с питанием через башню. В крупном населенном пункте для уменьшения высоты башни может оказаться выгодной схема с контррезервуаром или комбинированная.

Для сети, которая подлежит расчету, всегда известны ее конфигурация, длины участков и отборы воды в узлах.

Водопроводная сеть в зависимости от планировки снабжаемого объекта и взаимного расположения насосных станций и резервуаров может иметь различные геометрические очертания. В практике различают три типа сетей по их геометрической форме:

- кольцевые (замкнутые);
- тупиковые (разветвленные);
- комбинированные.



Схемы начертания распределительной сети:  
 а – тупиковая; б – кольцевая; в – смешанная.

Одна из основных задач при расчете сетей (при известных узловых отборах) – начальное потокораспределение.

Для этой цели используют I-й закон Кирхгофа: **Приток воды к узлу равен оттоку.**

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

Для тупиковых сетей расходы распределяются единственно возможным образом и задача здесь имеет однозначный смысл.

Для кольцевых сетей при заданных узловых отборах можно найти неограниченное число вариантов распределения расходов на участках, которые удовлетворяют I-му закону Кирхгофа.

Поскольку начальное потокораспределение имеет множество вариантов, то необходимо выполнение (кроме I-го закона Кирхгофа) дополнительного условия, т.е. II-го закона Кирхгофа: **Сумма потерь напора в замкнутом контуре должна равняться нулю ( $\sum h = 0$ ).**

Это условие должно выполняться как для каждого кольца в отдельности, так и для внешнего контура.

Подготовка к гидравлическому расчету сети выполняется в следующей последовательности.

Все линии нанесенной на плане населенного пункта сети для расчета разбивают на участки. Начальные и конечные точки каждого расчетного участка называют узлами и обозначают для всего населенного пункта порядковыми номерами. Узлы назначают во всех точках, где имеются сосредоточен-

ные расходы воды, а также на всех точках пересечения линий и изменения диаметров труб. Длина расчетных участков не должна превышать 800 м.

Назначив расчетные участки, приступают к определению **путевых отборов** (расходов) воды на каждом участке. **Путевым отбором** называется количество воды, забираемое на данном участке трубопровода водопотребителями в секунду.

Путевые отборы можно определить двумя способами:

- методом удельных расходов;
- методом привязанных площадей.

Первый способ (**метод удельных расходов**) основан на допущении равномерного распределения отбора воды по длине труб, т.е.

$$q_{уд} = \frac{q_{нум}^{сум}}{\sum L}$$

**Удельный расход** – это путевой расход системы, отнесенный к суммарной длине линий сети.

Путевой расход системы

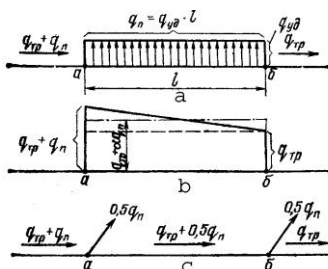
$$q_{нум}^{сум} = q_{расч}^{сум} - \sum q_{сопр}^{сум}$$

Путевой отбор на участках, раздающих воду по пути, равен произведению удельного отбора на длину участка:

$$q_{нум,i} = q_{уд} \cdot L$$

Однако, расход воды в трубопроводе, из которого производят раздачу по пути, меняется по длине.

Замена путевого расхода сосредоточенными в узлах:



a – схема отбора; b – график изменения расхода по трубопроводу; c – схема сосредоточенных отборов, заменяющих путевой отбор.

Обозначим транзитный расход воды, вытекающий из узла б) и питающий нижележащие участки сети через  $q_{тр}$  а путевой отбор через  $q_n$ . Тогда расход воды в трубопроводе в узле а) будет равен  $q_{тр} + q_n$ , а в узле б) –  $q_{тр}$ .

Между узлами a) и б) расход в трубопроводе будет непрерывно убывать.

Потери напора в трубопроводе с переменным расходом находят путем интегрирования элементарных потерь напора. Зная потери напора, можно найти эквивалентный расход, условно протекающий по трубопроводу транзитом, который дает такую же потерю напора, что и переменный расход. Эквивалентный расчетный расход определяют по зависимости

$$q_{эке} = q_{mp} + \alpha \cdot q_{нум},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, меняющийся от 0,5 до 0,58, в зависимости от соотношения попутного и транзитного расходов, в среднем  $\alpha = 0,55$ . При расчетах водопроводных сетей с достаточной точностью можно принимать  $\alpha = 0,5$ .

Тогда для упрощения расчетов можно условно заменить путевой отбор на участке двумя сосредоточенными, расположенными в узлах по концам участка и равными половине путевого отбора каждый.

Это упрощение схемы отбора дает полную аналогию при определении эквивалентного расхода в трубопроводе.

Полный узловый отбор

$$q_{узн}^n = \sum q_{соср} + q_{узн}^{нум}$$

Второй способ определения путевых отборов (метод привязанных площадей) при разнообразной форме кварталов может дать более точные результаты. Сущность его заключается в следующем.

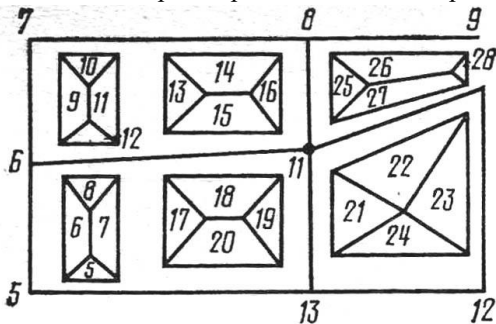
1. Определяют плотность населения на единицу площади

$$P = \frac{N}{F}$$

где  $N$  – расчетная численность населения;

$F$  – общая площадь всех кварталов без учета площади улиц, скверов, парков стадионов и т.д.

2. Площадь каждого квартала разбивают биссектрисами на элементарные площадки, и



3. Определяют площадь каждой элементарной площадки.

4. К каждому участку трубопровода привязывают ближайшие к нему элементарные площадки и суммируют их площади.

5. Определяют путевой отбор каждого участка

$$q_{\text{пут } 6-11} = [f_{12} + f_{15} + f_8 + f_{18} + \frac{1}{2}(f_{11} + f_{13} + f_7 + f_{17})] P q_{\text{уд}}$$

где  $q_{\text{уд}}$  – удельный расход на одного жителя,

$$q_{\text{уд}} = \frac{q_{\text{пут}}}{N},$$

$$q_{\text{пут}} = q_{\text{расч}} - \sum q_{\text{сопр}}.$$

### 3. Гидравлический расчет разводящих сетей и водоводов

**Целью гидравлического расчета водопроводной сети и водоводов** является определение экономически наиболее выгодных диаметров труб на всех участках и потерь напора на этих же участках.

Диаметр труб принимается по экономически наиболее выгодному диаметру

$$d_g = \mathcal{E}^{0,15} \cdot q^{0,43}$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический фактор, который учитывает гидравлические свойства труб и экономические параметры, влияющие на стоимость строительства;  $\mathcal{E}=0,75$  – для городских и поселковых сетей;  $\mathcal{E} = 1,125$  – для небольших локальных с/х водопроводов.

$q$  – расчетный расход на участке, м<sup>3</sup>/с.

Потери напора по длине на участках сети определяются по формулам:

$$1) \quad h = K_z \frac{q^\beta}{d_{cm}^m} \cdot L, \text{ м,}$$

где  $d_{cm}$  – расчетный диаметр, м;

$L$  – длина участка, м;

$K_z, \beta, m$  – эмпирические коэффициенты.

Для чугунных и стальных труб  $K_z = 1,79 \cdot 10^{-3}$ ;  $\beta = 1,9$ ;  $m = 5,1$

$$2) \quad h = A \cdot q^2 \cdot L = q^2 \cdot S, \text{ м,}$$

где  $A$  – удельное сопротивление, зависящее от материала труб (с/л)<sup>2</sup>;

$q$  – расчетный расход на участке, л/с;

$L$  – длина участка, м;

$S$  – сопротивление участка длиной  $L$ .

$$3) \quad h = 1000i \cdot l, \text{ м,}$$

где  $1000i$  – удельные потери напора;

$l$  – длина участка, км.

При любом методе расчета для нахождения диаметра участков сети необходимо знать расчетные расходы на этих участках.

### **Гидравлический расчет сети.**

Расчетные расходы принимаются в зависимости от схем питания сети:

#### **а) Сеть с проходным резервуаром.**

1) Час максимального потребления системы в целом  $q_{расч} = q_{максчас.}$

2) Пропуск максимального хозяйственного расхода совместно с противопожарным  $q_{расч} = q_{макс.час.} + q_{пож.}$

#### **б) Сеть с контррезервуаром.**

1) Час максимального потребления системы в целом  $q_{расч} = q_{максчас.}$

2) Период работы насосной станции и случай максимального транзита в башню  $q_{расч} = q_{тр.}$

3) Насосная станция не работает и максимальное потребление  $q_{расч} = q_{макспотр.}$

4) Пропуск максимального хозяйственного расхода совместно с противопожарным  $q_{расч} = q_{макс.час.} + q_{пож.}$

5) Насосная станция не работает, пропуск соответствующего максимального расхода совместно с противопожарным  $q_{расч} = q_{макс.потр.} + q_{пож.}$

### **Гидравлический расчет водоводов.**

Водоводы принимаются стальными в две нитки. Длина водоводов – от насосной станции второго подъема до ближайшей точки разводящей сети.

1) Диаметр труб и потери напора определяются при условии, что расчетный расход пропускается по одной нитке. При этом за расчетный расход принимается:

$$q_{расч} = 0,7 \cdot Q_{НСП}$$

где  $Q_{НСП}$  – расчетный расход насосной станции 2-го подъема.

2) Определяются потери напора при совместном пропуске (по одной нитке) максимального часового расхода системы и пожарного расходов

$$q_{расч} = q_{макс.час.} + q_{пож.}$$

#### **4. Зоны санитарной охраны водопроводных сооружений и водоводов**

**Зона санитарной охраны водопроводных сооружений** состоит из первого пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений и санитарно-защитной полосы вокруг первого пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений.

**Границы первого пояса зоны санитарной охраны** водопроводных сооружений предусматриваются на расстоянии:

- не менее 30 метров от стен запасных и регулирующих емкостей, фильтров и контактных осветителей;
- не менее 10 метров от водонапорных башен;
- не менее 15 метров от остальных помещений (отстойники, реагентное хозяйство, склад хлора, насосные станции и др.).

При расположении водопроводных сооружений на территории объекта указанные расстояния допускается уменьшать по согласованию с органами государственного санитарного надзора до 10 метров.

**Санитарно-защитная полоса** вокруг первого пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений, расположенных за пределами второго пояса зоны санитарной охраны источника питьевого водоснабжения, должна иметь ширину не менее 100 метров. При расположении водопроводных сооружений на территории объекта ширину санитарно-защитной зоны допускается уменьшать по согласованию с органами государственного санитарного надзора до 30 метров. При наличии расходного склада хлора на территории размещения водопроводных сооружений ширина санитарно-защитной зоны до жилых и общественных зданий должна быть не менее 300 метров.

**В первом поясе зоны санитарной охраны** водопроводных сооружений **запрещаются:**

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

- посадка высокоствольных деревьев.

В первом поясе зоны санитарной охраны водопроводных сооружений допускаются рубки ухода за лесом и санитарные рубки леса.

**В пределах санитарно-защитной полосы** вокруг первого пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений **запрещаются:**

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

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

- применение ядохимикатов и удобрений;

- спуск сточных вод, не отвечающих нормативным требованиям.

**Границы санитарно-защитной полосы водоводов.**

**Ширину санитарно-защитной полосы водоводов**, проходящих по незастроенной территории, надлежит принимать от крайних линий водоводов:

- при отсутствии грунтовых вод не менее 10 метров при диаметре водовода до 1000 миллиметров и не менее 20 метров при диаметре водовода более 1000 миллиметров;

- при наличии грунтовых вод не менее 50 метров независимо от диаметра водовода.

При прокладке водоводов по застроенной территории ширину санитарно-защитной полосы допускается в случае необходимости уменьшать по согласованию с органами государственного санитарного надзора.

**В пределах санитарно-защитной полосы водоводов** должны отсутствовать источники загрязнения почвы и грунтовых вод (туалеты, помойные ямы, навозохранилища, приемники мусора и т.п.).

**Запрещается** прокладка водоводов по территории свалок, полей ассенизации, полей фильтрации, полей орошения, кладбищ, скотомогильников, а также прокладка магистральных водоводов по территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

## Лекция 7. Регулирующие и запасные емкости

Вопросы лекции:

1. Виды регулирования и режимы водоподдачи
2. Согласование режимов водопотребления и водоподдачи
3. Согласование режимов работы водозабора и насосной станции второго подъема

### 1. Виды регулирования и режимы водоподдачи

**Регулирующие емкости** позволяют обеспечить более или менее равномерную работу насосных станций, так как отпадает необходимость в подаче ими пиковых расходов воды, а также уменьшить диаметр, а, следовательно, и стоимость водоводов и транзитных магистралей водопроводной сети.

**Запасные емкости** способствуют повышению надежности систем водоснабжения.

Емкости, используемые в системах водоснабжения, классифицируются следующим образом.

#### 1. По назначению:

- регулирующие;
- запасные;
- запасно-регулирующие.

#### 2. По способу подачи воды из них в сеть:

- напорные;
- безнапорные.

Напорные емкости **в зависимости от конструкции** подразделяют на следующие основные типы:

- водонапорные башни (напор обеспечивается установкой резервуара на поддерживающей конструкции требуемой высоты);
- напорные резервуары (напор обеспечивается установкой резервуара на естественных возвышенностях с требуемыми отметками);
- водонапорные колонны (занимают промежуточное положение между наземными резервуарами и башнями);
- пневматические водонапорные установки (напор создается давлением сжатого воздуха на поверхность воды в герметически закрытых резервуарах).

Потребители расходуют воду в течение суток неравномерно, а насосная

станция подает воду более равномерно. Для того чтобы подавать воду в сеть в соответствии с графиком водопотребления прибегают к регулированию.

Регулирование заключается в согласовании различных режимов подачи и потребления воды при помощи аккумулирующих емкостей. При подаче воды в избытке она накапливается в емкостях, а при недостатке – забирается из них. Регулирование обеспечивает сравнительно равномерную работу водозабора, очистных сооружений и насосной станции.

В системах водоснабжения чаще всего применяют **суточное регулирование**, за счет которого выравнивают колебания часовых расходов подачи воды.

Известно также **многодневное регулирование** (регулирование суточных расходов), которое снижает пики суточной подачи.

В автоматизированных системах водоподачи применяют **кратковременное регулирование** с продолжительностью цикла меньше суток и даже меньше часа.

При выборе режима водоподачи следует иметь в виду, что при любой продолжительности работы насосной станции в течение суток должно быть обеспечено максимальное суточное водопотребление. Оптимальным периодом работы станции будет тот, который максимально приближает режим работы насосов к режиму водопотребления, а, следовательно, обеспечивает минимальную регулируемую емкость.

Обеспечить потребителя водой в час максимального водопотребления можно несколькими путями:

- установкой насосов с общей производительностью равной максимальному часовому  $Q_{НС-П} = Q_{max.час}$ ;
- установкой насосов с производительностью  $Q_{насоса} < Q_{max.час}$  и ступенчатым графиком работы НС, при этом подачу насосной станции меняют путем включения в работу одного, двух, трех и т. д. рабочих насосных агрегатов.
- установкой насосов с производительностью  $Q_{НС-П} < Q_{max.час}$  и устройством напорно-регулирующего сооружения.

## 2. Согласование режимов водопотребления и водоподачи

В практике сельскохозяйственного водоснабжения согласование режимов водопотребления и водоподачи чаще всего осуществляется установкой насосов с производительностью  $Q_{НС-П} < Q_{max.час}$  и устройством напорно-регулирующего сооружения. Наиболее широкое распространение получили **водонапорные башни и автоматические водоподъемные установки**.

**Водонапорная башня** в системе водоснабжения служит для создания

напоров в сети и для регулирования расходов воды. Создание напора в сети осуществляется расположением резервуара водонапорной башни на определённой, расчётной высоте. Регулирование расходов воды в сети происходит следующим образом. В часы минимального расхода в водопроводной сети излишки воды, подаваемой насосами, поступают в водонапорную башню, а когда расход в водопроводной сети превышает производительность насосов или в период, когда насосная станция не работает, недостающее количество воды поступает из башни в сеть. Водонапорные башни в ряде случаев служат также для хранения 10 минутного противопожарного запаса воды.

**К водонапорным башням** относят напорно-регулирующие сооружения, у которых бак размещен выше поверхности земли на искусственной опоре. Основные части водонапорной башни – бак, опорная конструкция (ствол) и шатер.

**Опорную часть** (ствол) водонапорных башен возводят из железобетона, кирпича, стали и резе из камня и дерева. Конструкция опорной части может быть в виде сплошных цилиндрических или призматических стаканов (из железобетона, кирпича) или в виде сквозных рам и ферм (из стали, железобетона и дерева).

**Баки** водонапорных башен делают из листовой стали или из железобетона. На небольших объектах временного водоснабжения применяют деревянные баки. Наибольшее распространение получили цилиндрические баки с разной формой днища – плоской, конической, сферической, эллиптической и др. Реже применяют баки шаровой, грушевидной, грибовидной и других форм. Выбор формы баков определяется материалом, из которого их делают, а также их конструкцией и архитектурой.

Стальные баки имеют сравнительно небольшую массу, не дают течи, но подвержены коррозии. Их надо регулярно окрашивать. Баки сваривают из листов стали, которым при этом придают нужный изгиб.

Соотношение размеров цилиндрических баков выбирают с учетом технических и экономических факторов. Чем выше бак и меньше его диаметр, тем меньше и размеры опорной части; однако с увеличением высоты бака возрастают высота подъема воды и затраты электроэнергии. Кроме того, при высоких баках увеличиваются колебания напора в сети.

Вокруг бака устраивают шатер, который предохраняет бак от замерзания и других атмосферных влияний, а также от попадания загрязнений. Его устраивают из легких материалов, обладающих слабой теплопроводностью (пустотелых камней, пенобетона, дерева и др.). Применяют также железобетон. В условиях теплого климата устройство шатра не обязательно. Безшатровые башни с металлическими баками, имеющими наружную теплоизоляцию, можно строить и в местностях с умеренным климатом при условии, что в бак будет поступать вода с положительной температурой и будет обеспечен

хороший водообмен.

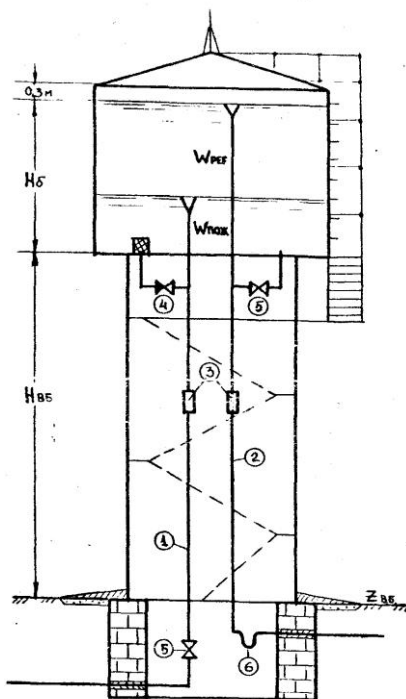


Схема водонапорной башни.

- |                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1 – напорно-разводящая труба; | 4 – обратный клапан;       |
| 2 – переливная труба;         | 5 – задвижка;              |
| 3 – компенсаторы;             | 6 – гидравлический затвор. |

Башня оборудована лестницами для доступа на служебный мостик, в шатер, внутрь бака и на крышу. Высокие водонапорные башни, как правило, устраивают из железобетона. Кирпичные водонапорные башни чаще имеют высоту до 25 м, предельно – 36 м.

Расчет водонапорной башни заключается в определении емкости и размеров бака и ее высоты. Общий объем бака

$$W_{\delta} = W_{рег} + W_{полс}, \text{ м}^3$$

где  $W_{рег}$  – регулирующий объем для согласования режима водопотребления и

водоподачи, м<sup>3</sup>;

$W_{\text{пож}}$  – противопожарный объем, м<sup>3</sup>.

Регулирующую емкость определяют графо-аналитическим способом с использованием интегральных графиков водопотребления и водоподачи, как сумму максимального недостатка и избытка в масштабе шкалы интегральных расходов.

При известном общем объеме бака его размеры:

$$W_{\text{б}} = F_{\text{б}} \cdot H_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}^2}{4} \cdot H_{\text{б}}$$

Откуда диаметр бака

$$D_{\text{б}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot 4 \cdot W_{\text{б}}}{\pi}}, \text{ м}$$

где  $\alpha = \frac{D_{\text{б}}}{H_{\text{б}}} = 0,8 \dots 1,2$

Тогда

$$H_{\text{б}} = \frac{D_{\text{б}}}{\alpha}, \text{ м.}$$

Следующим этапом необходимо определить высоту водонапорной башни.

**Под высотой водонапорной башни** следует понимать высоту её поддерживающей конструкции (ствола), т.е. это расстояние от поверхности земли в месте установки водонапорной башни до дна резервуара.

Вода должна подаваться к отдельным потребителям не только в нужном количестве, но и с необходимым давлением, достаточным для подъёма её к месту установки водоразборных кранов, душей, автопоилок, производственного оборудования и других водопроводных приборов. Для этого в водопроводной сети должен постоянно поддерживаться определённый свободный напор, под которым понимают напор в трубах водопроводной сети, отсчитанный от поверхности земли. Иначе говоря, свободный напор есть разность между отметкой пьезометрического уровня воды в трубах и отметкой поверхности земли.

Свободный напор должен быть достаточным во всех точках разводящей водопроводной сети, в том числе и в самых удалённых и имеющих наиболее высокие отметки. В таких неблагоприятных «диктующих» точках сети свободный напор не должен быть ниже указанного в существующих нормах. Таким образом, для правильного определения высоты водонапорной башни

необходимо прежде всего найти диктующую точку на водопроводной сети.

Диктующей точкой разводящей водопроводной сети называется точка, куда труднее всего подать воду.

Диктующая точка определяется расчётом. Для этого на плане разводящей сети выбираются несколько неблагоприятных точек. Затем выбирается общеразводящая точка, ближайшая к неблагоприятным, из которой вода поступает в них. Определяя отметку пьезометрического напора в общеразводящей точке для пропуски воды в выбранные неблагоприятные точки и сравнивая величины их пьезометрических отметок, находят диктующую точку – ту для которой величина пьезометрической отметки будет больше. Величину пьезометрической отметки в общеразводящей точке находят по следующей зависимости:

$$H_{BB} = H_{CB} + \Sigma h + (Z_1 - Z_2)$$

где  $H_{CB}$  – требуемый свободный напор в диктующей точке, м;

$Z_1$  и  $Z_2$  – отметки поверхности земли собственно в диктующей точке сети и у водонапорной башни, м;

$\Sigma h$  – сумма потерь напора на участках сети до диктующей точки;

### 3. Согласование режимов работы водозабора и насосной станции второго подъема

Так как водозабор работает круглосуточно ( $T_{вод.} = 24$  ч.) с постоянной часовой подачей, которая меньше часовой подачи насосной станции второго подъема, необходимо выполнить согласование режимов их работы.

Согласование режима работы водозабора с режимом работы насосной станции второго подъема осуществляется при помощи регулирующей емкости резервуаров чистой воды (РЧВ). Они также предназначены для хранения запаса воды на пожаротушение и хозяйственного запаса.

Объем резервуаров

$$W_{рчв} = W_{рег.} + W_{хоз.} + W_{пож.}, м^3,$$

где  $W_{рег.}$  – регулирующий объем, м<sup>3</sup>;

$W_{хоз.}$  – хозяйственный трехчасовой запас, м<sup>3</sup>;

$W_{пож.}$  – противопожарный трехчасовой запас, м<sup>3</sup>.

Значение регулирующей емкости резервуаров чистой воды определяется графо-аналитическим способом по совмещенным графикам водоподдачи водозабора и насосной станции второго подъема, как сумма недостатка и избытка в масштабе шкалы интегральных расходов.

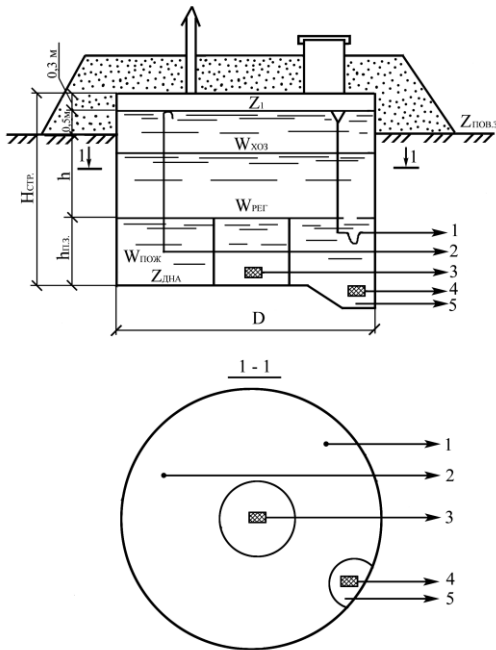


Схема резервуара чистой воды

1 – переливные трубы;

2 – подающая труба;

3 – всасывающий патрубок хозяйственных насосов;

4 – всасывающий патрубок пожарных насосов;

5 – грязевая труба.

Хозяйственный запас определяется как сумма трех ординат часового графика водопотребления, а именно:  $q_{max \cdot ч}$ , плюс две смежных ординаты.

Противопожарный запас, хранящийся в РЧВ

$$W_{пож} = T_{пож} \cdot q_{пож}, \text{ м}^3$$

где  $T_{пож}$  – продолжительность пожара, ч;

$q_{пож}$  – расход воды на пожаротушение,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Обычно принимают два резервуара. Объем одного резервуара:

$$W_{рез} = W_{рчв} / 2.$$

Диаметр и глубину наполнения резервуара определяют задавшись

$$\alpha = D_{рез} / H_{рез} = 0,8 \div 1,2;$$

Тогда диаметр резервуара

$$D_{рез} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot W_{рез}}{\alpha \cdot \pi}}, \text{ м.}$$

Глубина наполнения резервуара

$$H_{рез} = D_{рез} / \alpha, \text{ м.}$$

## Лекция 8. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Вопросы лекции:

1. Свойства природных вод и требования к качеству питьевой воды
2. Методы улучшения качества воды
3. Технологические схемы и сооружения станции УКВ
4. Смесители, назначение и типы
5. Отстойники, назначение и типы
6. Осветлители со взвешенным осадком
7. Фильтры, назначение и типы
8. Обеззараживание воды

### 1. Свойства природных вод и требования к качеству питьевой воды

Качество воды природных источников, так же как и требования, которые предъявляются к качеству воды, используемой различными потребителями, весьма разнообразны.

Качество воды определяется наличием в ней различных веществ неорганического и органического происхождения, а также микроорганизмов. Примеси могут содержаться в воде в различном состоянии:

- во взвешенном – в виде отдельных частиц (грубодисперсная взвесь);
- в коллоидном;
- в растворенном.

Рассмотрим основные физические, химические и бактериологические свойства воды природных источников.

#### Содержание взвешенных веществ. Мутность.

Мутность воды обуславливается наличием в ней различного рода механических примесей, находящихся во взвешенном состоянии: частиц песка, глины, илстых частиц органического происхождения, планктона, водорослей и др. Мутность обычно свойственна воде поверхностных источников и главным образом рек.

Чем меньше размеры частиц грунта, тем большее количество их несет река. Чем больше скорость течения, тем больших размеров частицы могут увлекаться водой. При определенной скорости течения воды частицы эти поддерживаются во взвешенном состоянии и придают воде мутность.

#### Цветность.

Цветность свойственна воде рек, питающихся частично болотной водой, а иногда и воде водохранилищ. Объясняется главным образом присутствием в воде гумусовых веществ. Измеряется цветность в градусах по так называемой платинокобальтовой шкале путем сравнения исследуемой воды с водой,

имеющей эталонную цветность. Цветность питьевой воды, подаваемой водопроводом, не должна превышать 20 град. В исключительных случаях, по согласованию с органами санитарного надзора может быть допущена цветность воды до 35 град.

#### **Запахи и привкусы воды.**

Наличие запахов и привкусов у воды природных источников обуславливается присутствием в ней растворенных газов, различных минеральных солей, а также органических веществ и микроорганизмов. Запах и привкус имеют болотные и торфяные воды, а также воды, содержащие сероводород. В ряде случаев запах вызывают присутствующие в воде живые или гниющие после отмирания водоросли.

Неприятный запах имеет вода после хлорирования при наличии в ней некоторых количеств остаточного хлора. Интенсивность запаха, как правило, увеличивается с повышением температуры воды.

Привкус солоноватый и даже горько-солоноватый часто имеют сильно минерализованные воды подземных источников.

В большинстве случаев при использовании воды для производственных целей запах и вкус воды сами по себе несущественны. Однако наличие их может указывать на присутствие в воде нежелательных примесей.

#### **Температура воды.**

В течение года температура воды поверхностных источников колеблется в весьма широких пределах (для стран СНГ – от близкой к нулю до 25°C, а иногда и выше). Воды подземные, в особенности артезианские, имеют почти постоянную температуру в течение года – 8...12°C.

Для питьевых целей наиболее желательно использование воды с температурой 7...12°C.

#### **Жесткость воды.**

Жесткость воды обуславливается содержанием в ней солей кальция и магния. Различают карбонатную жесткость, которая определяется наличием в воде двууглекислых солей кальция и магния, и некарбонатную, при которой в воде содержатся другие соли кальция и магния – сульфаты, хлориды, нитраты.

Суммарная жесткость воды называется **общей жесткостью**. Вода разных природных источников имеет весьма различную жесткость. Речная вода, за некоторыми исключениями, обладает относительно небольшой жесткостью.

#### **Содержание газов.**

В воде природных источников чаще всего присутствуют следующие газы: кислород O<sub>2</sub>, двуокись углерода (углекислый газ) CO<sub>2</sub> и сероводород H<sub>2</sub>S.

Содержание кислорода и двуокиси углерода даже в значительных количествах не ухудшает качества питьевой воды, но способствует коррозии ме-

таллических стенок труб, резервуаров, котлов. Процесс коррозии усиливается с повышением температуры воды, а также при ее движении. При значительном содержании в воде агрессивной двуокиси углерода коррозии подвергаются также стенки бетонных труб и резервуаров.

Содержание сероводорода придает воде неприятный запах и, кроме того, вызывает коррозию металлических стенок труб, баков и котлов. В связи с этим присутствие  $H_2S$  не допускается в воде, употребляемой для хозяйственно-питьевых и для большинства производственных нужд.

#### **Содержание соединений железа.**

Железо довольно часто встречается в воде подземных источников, в основном в форме растворенного двухвалентного железа. Иногда железо содержится и в поверхностных водах в форме комплексных соединений, коллоидов или тонкодисперсной взвеси.

Наличие железа в водопроводной воде может придавать ей плохой вкус, вызывает отложение осадка и зарастание водопроводных труб. При использовании такой воды для стирки белья на нем остаются пятна.

Согласно ГОСТ, в воде, подаваемой централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание железа допускается в количестве не более 0,3 мг/л.

#### **Содержание азотистых соединений.**

Наличие азотсодержащих соединений – нитратов ( $NO_3^-$ ), нитритов ( $NO_2^-$ ) и аммонийных солей ( $NH_4^+$ ) – в воде поверхностных источников или в подземных водах может обуславливаться загрязнением этих вод сточными водами. При этом наличие аммонийных соединений указывает на свежее загрязнение, а наличие нитритов – на относительно недавнее загрязнение. Содержание же в воде нитратов может указывать на давнее, уже ликвидированное, загрязнение источника сточными водами.

#### **Содержание растворенных веществ (сухой остаток).**

Общее количество веществ (кроме газов), содержащихся в воде в растворенном состоянии, характеризуется сухим остатком, получаемым в результате выпаривания профильтрованной воды и высушивания задержанного остатка до постоянной массы. В воде источника, используемого для хозяйственно-питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 1000 мг/л.

#### **Активная реакция воды.**

Концентрация в воде водородных ионов рН определяет ее активную реакцию:

- при нейтральной реакции  $pH=7$ ;
- при кислой реакции  $pH<7$ ;
- при щелочной реакции  $pH>7$ .

Согласно ГОСТ вода, подаваемая хозяйственно-питьевым водопрово-

дом, должна иметь рН в пределах 6,5...8,5.

### **Бактериальная загрязненность воды.**

Общая бактериальная загрязненность воды характеризуется количеством бактерий, содержащихся в 1 мл воды. Согласно ГОСТ, питьевая вода не должна содержать более 100 бактерий в 1 мл.

Особую важность для санитарной оценки воды имеет определение наличия в ней бактерий группы кишечной палочки. Присутствие кишечной палочки свидетельствует о загрязнении воды фекальными стоками и, следовательно, о возможности попадания в нее болезнетворных бактерий, в частности бактерий брюшного тифа.

Путем бактериологического анализа воды определяют число кишечных палочек в 1 л воды (так называемый **колииндекс**) или тот наименьший объем воды, в котором еще обнаруживается кишечная палочка (**колититр**).

Согласно требованиям стандарта, в питьевой воде, подаваемой в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов, может содержаться не более трех кишечных палочек на 1 л.

## **2. Методы улучшения качества воды**

Способы и степень очистки воды, состав и конструкции очистных сооружений в каждом конкретном случае зависят от тех требований, которые предъявляются к качеству воды, и от качества природной воды. Основными процессами улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых целей являются:

- осветление,
- обесцвечивание,
- обезжелезивание,
- обеззараживание
- фторирование.

**Осветление воды**, т. е. устранение из нее взвешенных примесей, в зависимости от требуемой степени осветления может быть достигнуто:

- отстаиванием воды в отстойниках;
- центрифугированием в гидроциклонах;
- путем пропуска ее через слой ранее образованного взвешенного осадка в так называемых осветлителях;
- фильтрованием через слой фильтрующего порошка на намывных фильтрах или через слой зернистого фильтрующего материала в скорых

фильтрах;

- фильтрованием через сетки на микрофильтрах, барабанных ситах, акустических фильтрах и т. д.

**Обесцвечивание воды**, т. е. удаление из нее окрашенных коллоидов или истинно растворенных примесей, обуславливающих цветность воды. Наиболее широко для этой цели используют хлорирование, фильтрование через гранулированный активный уголь и озонирование воды. Хорошие результаты по обесцвечиванию воды дает напорная флотация, которой обязательно предшествует коагулирование примесей воды.

**Обезжелезивание воды** – снижение содержания солей железа до требований ГОСТа, наиболее часто используют при централизованном водоснабжении из подземных источников. В зависимости от форм соединений железа, присутствующих в воде, применяют безреагентные или реагентные методы удаления железа.

**Фторирование питьевой воды** осуществляется путем внесения в нее соединений фтора для предотвращения заболевания кариесом зубов. Раствор фторсодержащего реагента вводят в обрабатываемую воду до или после скорых фильтров.

**Обеззараживание воды** производят для уничтожения содержащихся в ней патогенных бактерий и вирусов. Частично это достигается при коагулировании примесей воды, но наиболее хорошие результаты получаются при введении в воду после фильтрования окислителей:

- хлора и его производных,
- озона
- перманганата калия.

При доведении качества воды до питьевой кондиции помимо вышеописанных процессов иногда применяют:

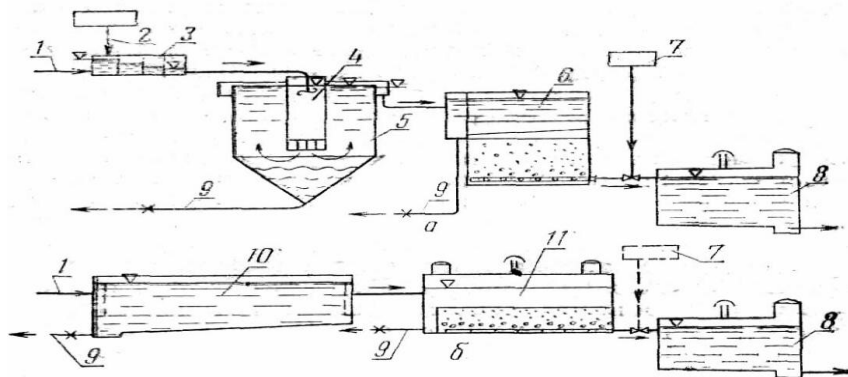
- дезодорацию (удаление нежелательных привкусов и запахов), используя аэрацию, окислители и сорбенты;
- умягчение (удаление солей жесткости);
- введение в воду щелочных реагентов;
- высаживание в осадок солей жесткости;
- опреснение (снижение общей минерализации воды) дистилляцией, ионным обменом, гиперфильтрацией или электродиализом и др.

### 3. Технологические схемы и сооружения станции УКВ

Сочетание необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые в практике водоподготовки технологические схемы можно классифицировать по следующим основным признакам:

- по способу подготовки воды – на реагентные и безреагентные;
- по эффекту осветления – глубокого и грубого осветления;
- по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них;
- по характеру движения воды – на напорные и безнапорные.

Реагентные и безреагентные технологические схемы применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и нужд промышленности. Указанные технологические схемы существенно отличаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации.



**Схема очистной станции:**

а – при реагентном способе очистки; б – при безреагентном.

1 – подача неочищенной воды; 2 – устройства для приготовления растворов и дозирования реагентов (коагулянта и др.); 3 – смеситель; 4 – камера хлопьеобразования; 5 – вертикальный отстойник; 6 – скорый фильтр; 7 – установка для обеззараживания воды; 8 – резервуар чистой воды; 9 – трубы для удаления осадка и промывных вод; 10 – горизонтальный отстойник; 11 – медленный фильтр.

Процессы обработки воды с применением реагентов протекают интенсивнее и значительно эффективнее. Так, для осаждения основной массы взвешенных веществ в первом случае необходимо 2...4 ч, а во втором – не-

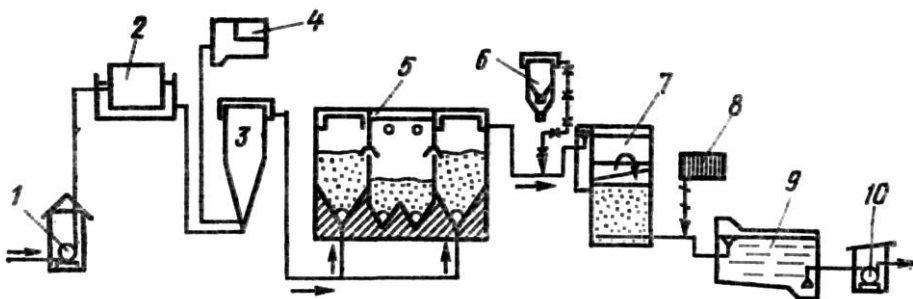
сколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5...12 м/ч и более, а без реагентов (медленное фильтрование) – 0,1...0,3 м/ч.

При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения значительно меньше по объему, компактнее и дешевле в строительстве, но сложнее в эксплуатации, чем сооружения безреагентной схемы. Поэтому безреагентные технологические схемы, как правило, применяют для водоснабжения небольших водопотребителей при цветности исходной воды до 50 град. Безреагентные схемы широко используют для неглубокого осветления воды при водоснабжении промышленных объектов. В ряде случаев для этих целей применяют одно отстаивание или одно фильтрование на грубозернистых фильтрах или микрофильтрах.

По эффекту осветления различают технологические схемы для **полного или глубокого осветления воды и для неполного или грубого осветления**. В первом варианте очищенная вода соответствует требованиям питьевой воды. Во втором варианте содержание взвеси в очищенной воде во много раз больше – 50...100 мг/л. Обычно грубо осветленную воду используют для целей охлаждения различного производственного оборудования.

Технологические схемы для глубокого осветления воды применяют как для хозяйственно-питьевых, так и для многих производственных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляют высокие требования. Схемы для неполного осветления воды обычно используют для подготовки технической воды.

По числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них технологические схемы подразделяют на **одно-, двух- и многопроцессные**. Так, технологическая схема представленная ниже является двухпроцессной.

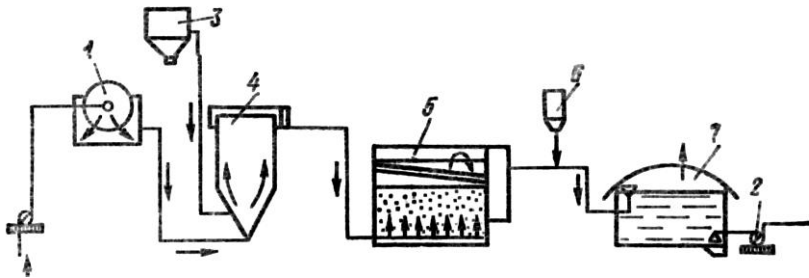


**Двухпроцессная технологическая схема:**

1 – насосная станция I подъема; 2 – барабанные сетки (вариант); 3 – вертикальный смеситель; 4 – реагентное хозяйство; 5 – осветлитель со взвешенным осадком; 6 – установка для дезодорации, фторирования или интенсификации процесса фильтрования; 7 – скорый фильтр; 8 – установка для обеззараживания воды; 9 – резервуар чистой воды; 10 – насосная станция II подъема.

Здесь два основных технологических процесса: обработка воды в слое взвешенного осадка и фильтрование. Оба процесса осуществляются последовательно и однократно (в одну ступень).

В том случае, когда один из основных технологических процессов осуществляется дважды или большее число раз, технологическая схема называется **двух-, трех- или многоступенчатой**. Например, показан пример однопроцессной технологической схемы с контактными осветлителями.

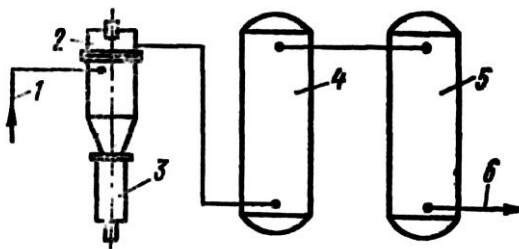


**Однопроцессная двухступенчатая технологическая схема:**

1 – микрофилтры, 2 – насосная станция II подъема; 3 – реагентное хозяйство; 4 – вертикальный смеситель; 5 – контактный осветлитель; 6 – установка для фильтрования и обеззараживания воды; 7 – резервуар чистой воды.

Здесь основной технологический процесс – фильтрование – осуществляется дважды.

По характеру движения обрабатываемой воды технологические схемы подразделяют на **самотечные (безнапорные) и напорные**.



**Напорная технологическая схема с гидроциклоном:**

1 – подача исходной воды; 2 – гидроциклон; 3 –шламовая камера; 4 – противоточный фильтр I ступени; 5 – скорый фильтр II ступени; 6 – отвод фильтрата.

На городских и крупных промышленных водоочистных комплексах движение исходной воды по сооружениям осуществляется **самотеком**. При этом уровень воды в каждом последующем сооружении ниже уровня в предыдущем. Разность уровней определяет напор, необходимый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях от одного сооружения к другому. Поэтому увязка взаимного расположения отдельных очистных сооружений технологической схемы, т. е. построение высотной схемы, имеет первостепенное значение.

**При напорной технологической схеме** движение обрабатываемой воды от сооружения к сооружению происходит под давлением выше атмосферного, поэтому отдельные сооружения можно расположить на одной отметке. Напорные очистные сооружения должны быть герметично закрытыми и рассчитаны на давление, развиваемое насосами. Следует отметить, что при использовании напорной технологической схемы резервуары чистой воды и насосная станция II подъема иногда могут не устраиваться. В отдельных случаях очищенная вода под напором насосов I подъема передается непосредственно в сеть потребителей. При безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и резервуары чистой воды.

#### 4. Смесители, назначение и типы

Смешение реагентов ( $Al_2(SO_4)_3$ ) с обрабатываемой водой производят в специальных сооружениях – **смесителях**. Данные сооружения должны удовлетворять требованию быстрого и полного смешения реагентов со всей массой воды (т.е. время пребывания воды 1...3 мин).

Смесители подразделяют на: **гидравлические и механические**.

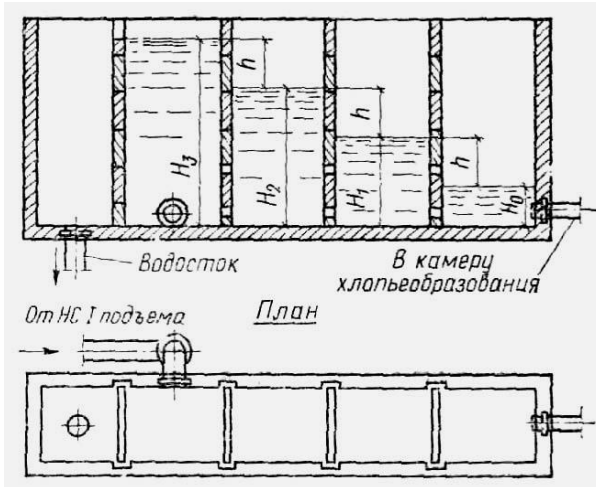
К числу гидравлических смесителей относят:

- дырчатый;
- перегородчатый;
- вертикальный (вихревой).

Дырчатый смеситель представляет собой лоток с дырчатыми перегородками, размещенными перпендикулярно направлению движения воды.

Вода, проходя через отверстия со скоростью около 1 м/с, испытывает завихрения, что способствует хорошему смешиванию воды с реагентами. Диаметр отверстий принимают 20... 100 мм и располагают в шахматном порядке.

Расстояние между перегородками принимается не менее ширины смесителя.



Дырчатый смеситель

**Расчет дырчатого смесителя ведут в следующей последовательности.**

1. Площадь поперечного сечения лотка

$$f_{л} = \frac{q}{v_{л}}, \text{ м}^2,$$

где  $q$  – расход воды станции очистки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$v_{л}$  – скорость движения воды в лотке, принимается  $0,6 \text{ м/с}$ .

2. Диаметр подводящего трубопровода

$$d_{н.тр.} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{v_{н.тр.} \cdot \pi}}, \text{ м}$$

где  $v_{н.тр.}$  – скорость движения воды в подводящем трубопроводе, равная  $1,0 \dots 1,5 \text{ м/с}$ ;

$\pi$  –  $3,14$ .

3. Диаметр отводящего трубопровода

$$d_{от.тр.} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{v_{от.тр.} \cdot \pi}}, \text{ м}$$

где  $v_{от.тр.}$  – скорость движения воды в отводящем трубопроводе, равная  $0,8 \dots 1,2 \text{ м/с}$ .

4. Потеря напора на каждой ступени дырчатого смесителя

$$h = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot \mu^2}, \text{ м,}$$

где  $v$  – скорость движения воды в отверстиях, равная 1...1,2 м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\mu$  – коэффициент расхода воды через круглое отверстие, равный 0,62.

5. Высота уровня воды в отделениях смесителя

$$H_1 = H_0 + h; \quad H_2 = H_1 + h; \quad H_3 = H_2 + h;$$

где  $H_0$  – минимально допускаемая глубина воды в смесителе после перегородок смесителя, принимаемая 0,4...0,5 м.

6. Высота смесителя

$$H_{см} = H_3 + 0,3 \text{ м.}$$

7. Число отверстий в каждой перегородке

$$n = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d^2 \cdot v},$$

где  $d$  – диаметр отверстия, м.

8. Емкость смесителя

$$W = q \cdot t = L \cdot B \cdot h_{cp}, \text{ м}^3,$$

где  $t$  – время нахождения воды в смесителе, с (60...180 с);

$B$  – ширина смесителя, м;

$L$  – длина смесителя, м;

$$L = 3 \cdot B, \text{ м,}$$

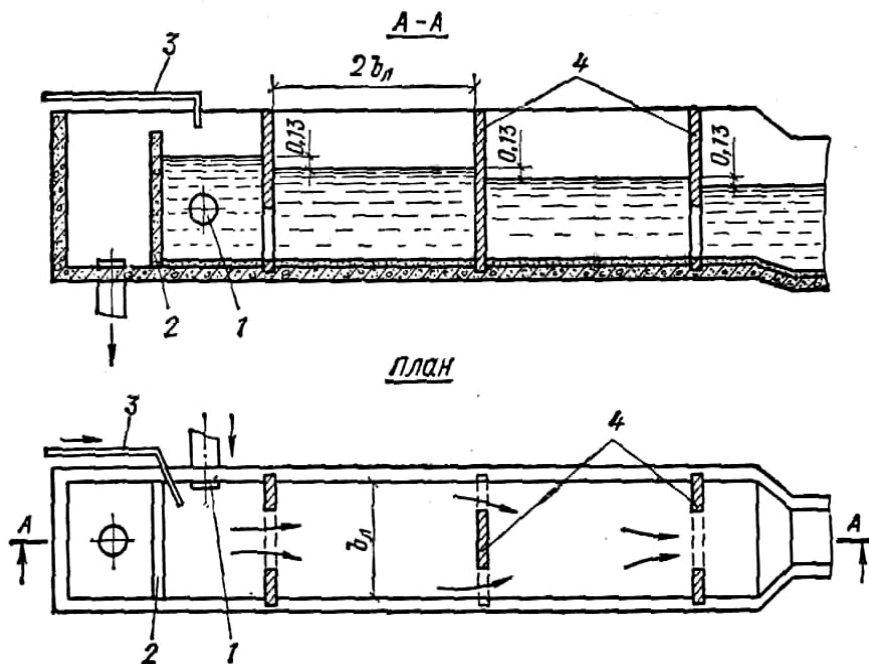
$h_{cp}$  – средняя мощность воды в смесителе, м

$$h_{cp} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}, \text{ м.}$$

Откуда

$$B = \sqrt{\frac{q \cdot t}{H_1 + H_2 + H_3}}, \text{ м.}$$

**Перегородчатый смеситель** представляет собой железобетонный лоток с тремя щелевыми перегородками, установленными перпендикулярно оси сооружения.



**Перегородчатый смеситель:**

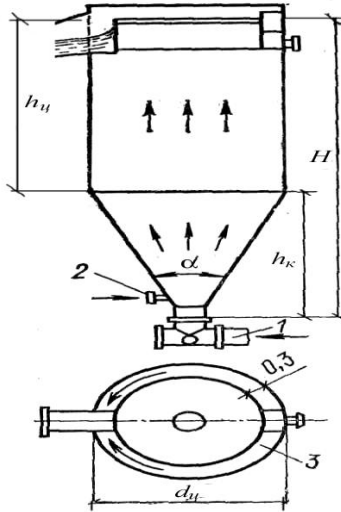
1 – труба для подачи воды; 2 – переливная стенка; 3 – труба для подачи реагента; 4 – перегородки.

При движении воды в щелях со скоростью 1 м/с за ними образуются вихревые течения, что способствует быстрому и полному смешению реагента с водой.

Расчет перегородчатого смесителя аналогичен дырчатому.

Расстояние между перегородками принимают равным двойной ширине лотка. Коэффициент расхода, зависящий от отношения ширины прохода к толщине перегородки, принимают  $\mu=0,75\dots0,65$  при  $V_{пр,i}/\delta=1\dots2$ . Высота затопления проходов от уровня воды до их верха принимается равной 0,1...0,15 м.

На водоочистных комплексах с осветлителями применяют **вертикальные (вихревые) смесители** в виде цилиндрического резервуара с конической нижней частью.



**Вертикальный (вихревой) смеситель:**

1 – подвод воды; 2 – трубка для подвода реагента; 3 – отвод воды.

В низ конуса подводят обрабатываемую воду и туда же, только с противоположной стороны вводят растворы реагентов. Восходящая скорость движения воды в цилиндрической части смесителя должна быть 25 мм/с, благодаря чему, частицы реагента находятся во взвешенном состоянии. Отвод воды из смесителя осуществляется периферийным лотком.

**Расчет вертикального (вихревого) смесителя ведут в следующей последовательности.**

1. Диаметр цилиндрической части смесителя

$$d_{ц.} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{v_{ц.} \cdot \pi}}, \text{ м,}$$

где  $v_{ц.}$  – скорость движения воды в цилиндрической части смесителя, равная 0,025 м/с.

2. Диаметр подводящего трубопровода

$$d_{н.мп.} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{v_{н.мп.} \cdot \pi}}, \text{ м}$$

где  $v_{н.мп.}$  – скорость движения воды в подводящем трубопроводе, равная 1,0...1,5 м/с.

3. Диаметр отводящего трубопровода

$$d_{om.mp.} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{v_{om.mp.} \cdot \pi}}, \text{ м}$$

где  $v_{om.mp.}$  – скорость движения воды в отводящем трубопроводе, равная 0,8...1,2 м/с.

#### 4. Объем смесителя

$$W = q \cdot t = W_u + W_k, \text{ м}^3,$$

где  $W_u$  – объем цилиндрической части смесителя,  $\text{м}^3$ ;

$W_k$  – объем конической части смесителя,  $\text{м}^3$ .

$$W_k = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_k \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{2} \right)^2 + \left( \frac{d_{n.mp.}}{2} \right)^2 + \frac{d_u \cdot d_{n.mp.}}{4} \right], \text{ м}^3,$$

где  $h_k$  – высота конической части смесителя, м;

$$h_k = \frac{d_{ц} - d_{n.mp.}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \text{ м},$$

где  $\alpha$  – угол между образующими конуса, равный 30...40°.

Откуда объем цилиндрической части смесителя

$$W_u = q \cdot t - W_k, \text{ м}^3.$$

#### 5. Высота цилиндрической части смесителя

$$h_u = \frac{W_u}{f_u} = \frac{W_u \cdot v_u}{q}, \text{ м}.$$

#### 6. Высота отводящего желоба

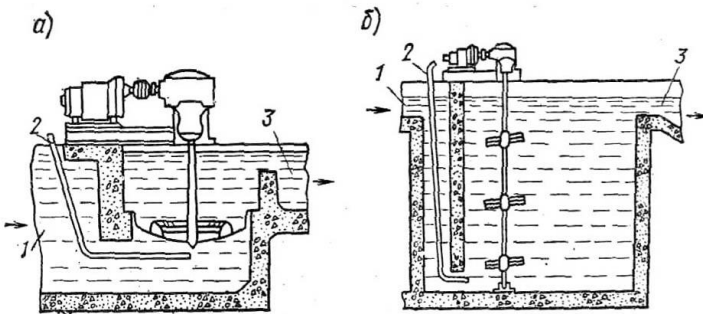
$$h_{жс} = \frac{q}{2 \cdot v_{жс} \cdot b_{жс}}, \text{ м},$$

где  $v_{жс}$  – скорость движения воды в желобе, принимается 0,4...0,6 м/с;

$b_{жс}$  – ширина желоба, равная 0,3 м.

**Механические смесители** основаны на механическом перемешивании воды с введенным в нее реагентом. Применяются для обеспечения лучшего регулирования процесса смешивания. Время пребывания воды в пропеллерном смесителе составляет 10...15 с, а в лопастном смесителе – 30...60 с.

Потери напора при прохождении воды через механический смеситель крайне малы и при расчетах их можно не учитывать.



#### Механические смесители:

а) пропеллерный; б) лопастной.

1 – подвод воды; 2 – трубка для подвода реагента; 3 – отвод воды.

### 5. Отстойники, назначение и типы

Осаждение взвешенных частиц происходит под действием силы тяжести. Все современные конструкции отстойников, применяемые для осветления воды, являются проточными, так как осаждение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа к выходу.

В зависимости от направления движения воды различают три основных типа отстойников:

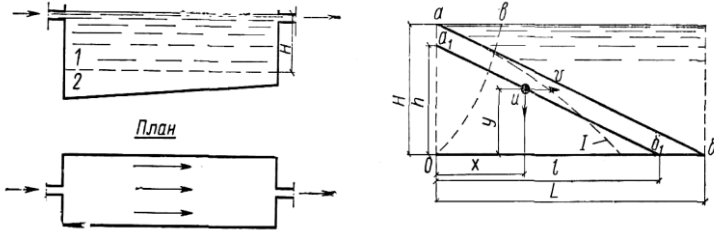
- горизонтальные;
- вертикальные;
- радиальные.

В отстойниках по высоте различают зону осаждения и зону накопления и уплотнения осадка.

**Горизонтальный отстойник** – прямоугольный, вытянутый в сторону движения воды резервуар, в котором осветляемая вода движется в направлении, близком к горизонтальному вдоль отстойника.

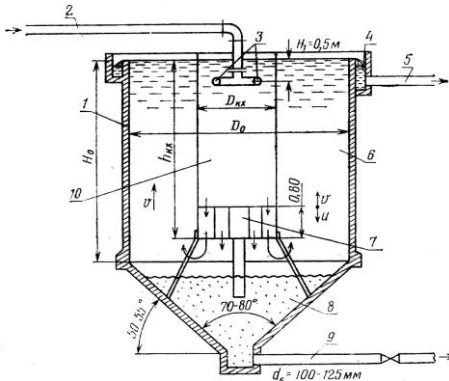
Применяются при обработке воды с расходом более  $30000 \text{ м}^3/\text{сут}$  с мутностью до  $1500 \text{ мг/л}$  и цветностью  $120^\circ$ .

Горизонтальная скорость движения воды в отстойнике при коагулированной смеси –  $3 \dots 8 \text{ мм/с}$ , при некоагулированной –  $1 \dots 2 \text{ мм/с}$ .



**Горизонтальный отстойник.**

**Вертикальный отстойник** – обычно круглый в плане и в очень редких случаях квадратный резервуар значительной глубины, в котором обрабатываемая вода движется снизу вверх. Скорость восходящего потока зависит от расчетной гидравлической крупности  $u_0$  и должна быть меньше или в пределе равна ей. Применяются для обработки воды в объеме до 5000 м<sup>3</sup>/сут.



**Вертикальный отстойник с встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования:**

1 – отстойник; 2 – труба, подводящая воду из смесителя; 3 – сопла; 4 – отводящий круговой желоб; 5 – труба, отводящая воду на фильтры; 6 – зона осаждения; 7 – гаситель; 8 – осадочная часть; 9 – труба для выпуска осадка; 10 – водоворотная камера хлопьеобразования.

**Радиальный отстойник** – круглый в плане железобетонный резервуар, высота которого невелика по сравнению с его диаметром. Вода в отстойнике движется от центра к периферии в радиальном направлении, близком к горизонтальному. Радиальные отстойники устраиваются диаметром до 60 м, с глубиной отстойника у стенки в пределах 1,5...2,5 м. Уклон днища отстойника – 0,04.

## 6. Осветлители со взвешенным осадком

**Осветлители**, как и отстойники, предназначены для предварительного удаления взвешенных веществ из воды перед фильтрованием. Слой взвешенного осадка в осветлителе (контактная среда) состоит из твердых частиц – продуктов физико-химического процесса обработки воды. Твердые частицы



фильтром.

Осветленная вода из конической части осветлителя переходит в цилиндрическую, где находится защитный слой воды, предупреждающий возможность попадания в бортовые переливные желоба зерен шлама при подъеме всей или части поверхности взвешенного осадка в результате резких колебаний расхода воды и ее температуры. Из бортового кольцевого желоба вода по трубе поступает на следующее по технологической схеме очистки воды устройство.

В слое взвешенного шлама идет непрерывное накопление поступающих туда с сырой водой частиц взвеси. Если систематически не удалять из осветлителя шлам в таком же количестве, в каком он поступает, то поверхность взвешенного фильтра будет подниматься и в конечном итоге шлам начнет переливаться в бортовой желоб, то есть осветление воды прекратится. Для удаления избыточного шлама служит устройство для отбора осадка, через которое шлам проваливается в шламоуплотнитель. Здесь он оседает, уплотняется, концентрация его увеличивается, и освобождающаяся от шлама вода поднимается в желоб.

Периодически шлам из шламоуплотнителя сбрасывается по трубе в канализацию.

## 7. Фильтры, назначение и типы

Водоочистные сооружения, на которых осуществляется процесс фильтрования, называются фильтрами.

Фильтрование является одним из основных методов кондиционирования воды, позволяющим довести качество ее до требований ГОСТа на питьевую воду. В процессе фильтрования из раствора выделяются не только диспергированные частицы, но и коллоиды.

Сущность метода заключается в пропуске жидкости, содержащей примеси, через фильтрующий материал, проницаемый для жидкости и не проницаемый для твердых частиц. При этом процесс сопровождается значительными затратами энергии. Однако допускать большие потери напора в технике водоочистки можно лишь при обработке небольших количеств воды. Это определяет место фильтровальных сооружений в технологической схеме. В большинстве случаев фильтрование является последним этапом осветления воды и производится после ее предварительного осветления в отстойниках или осветлителях.

Фильтры **по виду фильтрующей среды** делятся на:

- тканевые или сетчатые;
- каркасные или намывные;

- зернистые.

Из вышеперечисленных трех групп фильтров наиболее значительной является последняя. Фильтры этой группы в технике водоснабжения применяются наиболее широко.

Фильтры с зернистой загрузкой можно классифицировать по ряду основных признаков:

1) **по скорости фильтрации:**

- медленные (0,1...0,3 м/ч);
- скорые (5...12 м/ч);
- сверхскорые (36 ... 100 м/ч);

2) **по давлению, под которым они работают:**

- открытые (или безнапорные);
- напорные;

3) **по направлению фильтрующего потока:**

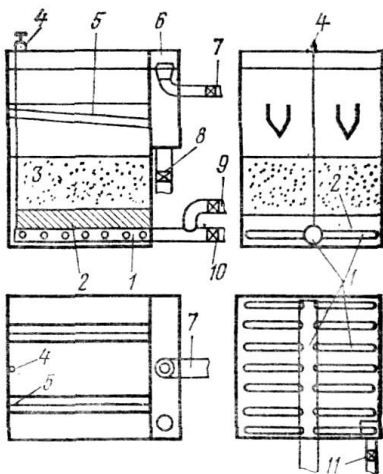
- однопоточные (обычные скорые фильтры);
- двухпоточные;
- многопоточные;

4) **по крупности фильтрующего материала:**

- мелкозернистые;
- среднезернистые;
- крупнозернистые;

5) **по количеству фильтрующих слоев:**

- однослойные;
- двухслойные;
- многослойные.



**Схема скорого фильтра:**

1 – трубчатая распределительная система большого сопротивления; 2 – слой поддерживающей загрузки; 3 – слой фильтрующей загрузки; 4 – воздушник; 5 – сборные желоба; 6 – боковой карман; 7 и 10 – соответственно подача исходной и отвод фильтрованной воды; 9 и 8 – соответственно подача и отвод промывной воды; 11 – опорожнение фильтра.

Коагулированная и прошедшая отстойник или осветлитель вода поступает на фильтр. Сначала вода поступает в боковой карман, а из него – в резервуар фильтра. Высота слоя воды над поверхностью загрузки должна быть не менее 2 м. В процессе фильтрования вода проходит фильтрующий и поддерживающий слой, а затем поступает в распределительную систему, из нее в резервуар чистой воды. Максимальная потеря напора в фильтрующей загрузке допускается 2,5...3 м.

При промывке фильтров путем переключения соответствующих задвижек промывная вода поступает в распределительную систему и далее в фильтрующий слой, который она проходит снизу вверх и расширяет (взвешивает). Дойдя до верхней кромки промывных желобов, промывная вода вместе с вымытыми ею из фильтрующего материала загрязнениями переливается в желоба, а из них в боковой карман и отводится в водосток.

Фильтрующий слой выполняют из отсортированного материала, чаще всего речного кварцевого песка крупностью от 0,5 до 2,0 мм. Могут быть применены и другие материалы, удовлетворяющие санитарным требованиям и обладающие достаточной химической стойкостью и механической прочностью (дробленый антрацит, керамзит, керамическая крошка, дробленый мрамор, полимеры и др.).

Поддерживающий слой (0,45...0,5 м), на котором лежит фильтрующий слой, укладывают с той целью, чтобы мелкий фильтрующий материал не вы-

мывался из фильтрующего слоя и не уносился вместе с фильтруемой водой через отверстия распределительной системы. Поддерживающий слой в свою очередь состоит из слоев гравия или щебня разной крупности, постоянно увеличивающийся сверху вниз от 2...5 до 20...40 мм. Толщина каждого слоя также увеличивается сверху вниз.

### **Медленный фильтр.**

**В медленных фильтрах** осветления воды достигают в основном за счет пленочного фильтрования. Мелкозернистая фильтрующая загрузка, имеющая мелкие поры, вначале задерживает на своей поверхности наиболее крупные частицы. Последние, заклиниваясь в порах, сужают их сечение, благодаря чему начинает задерживаться более мелкая взвесь. Этот процесс быстро прогрессирует, в порах задерживаются все более и более мелкие частицы, а затем коллоиды и даже бактерии. Так на поверхности фильтра образуется фильтрующая пленка с очень тонкими порами. После этого качество фильтрата становится весьма высоким. Задержанные пленкой бактерии и органические вещества обуславливают возникновение в ней биологических процессов, включая развитие низших организмов, поглощающих бактерии. Зерна песка обрастают студенистой массой, являющейся хорошим сорбентом. В результате биологических процессов большинство (до 99%) бактерий, находящихся в воде, задерживается пленкой и погибает.

При медленном фильтровании взвеси в основном (до 90...95%) задерживаются на пленке и в самом верхнем слое фильтра толщиной около 2...3 см. В глубь песка вследствие небольшой скорости фильтрования и малого размера пор взвесь переносится в небольшом количестве, поэтому накопление их в толще фильтрующего слоя идет очень медленно. В связи с этим при очистке медленных фильтров очищают только верхний слой песка. Часто этот слой просто удаляют, после чего фильтр снова может фильтровать воду. Вследствие малой скорости фильтрования накопление загрязнений в медленном фильтре протекает замедленно. При небольшой мутности воды чистка фильтра необходима через 1...2 месяца.

На дне фильтра устраивают дренаж на который укладывают поддерживающий слой из гравия с уменьшающейся крупностью зерен, и поверх него насыпают фильтрующий слой из кварцевого песка.

Фильтрующий слой насыпают из чистого промытого кварцевого песка с размером зерен 0,3...1 мм.

## **8. Обеззараживание воды**

При осветлении и обесцвечивании воды коагулированием с последующим отстаиванием и фильтрованием из нее удаляется значительная часть (90 ... 95%) бактерий. Однако среди оставшейся части могут оказаться и болезне-

творные бактерии и вирусы, поэтому профильтрованную воду, если она используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения, обязательно обеззараживают. Использование подземной воды в большинстве случаев возможно без обеззараживания.

Известно много методов обеззараживания воды, которые можно классифицировать на четыре основные группы:

- термический;
- при помощи сильных окислителей;
- олигодинамия (воздействие ионов благородных металлов);
- физический (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей).

Из перечисленных методов наиболее широко применяются методы второй группы. В качестве окислителей используется хлор, диоксид хлора, озон, йод, марганцовокислый калий, перекись водорода, гипохлорит натрия и кальция. В свою очередь из перечисленных окислителей на практике отдают предпочтение хлору, озону, гипохлорит натрия.

#### **Хлорирование воды**

Под действием хлора или его производных бактерии, находящиеся в воде, погибают. Хлор действует и на органические вещества окисляя их, поэтому хлорирование является также хорошим средством, предотвращающим размножение в воде микроорганизмов. Для эффекта хлорирования необходимо хорошее перемешивание, а затем не менее чем 30-минутный контакт хлора с водой, прежде чем вода поступит к потребителю.

Трудности, связанные с транспортировкой и хранением токсичного хлора, являются недостатком метода хлорирования воды. Опасность утечки хлора из базисных складов на станциях, расположенных вблизи населенных пунктов, является во многих случаях препятствием для применения этого метода обеззараживания воды.

Одним из наиболее перспективных способов хлорирования питьевых и сточных вод в сельских и малонаселенных местностях является использование гипохлорита натрия ( $\text{NaClO}$ ), получаемого на месте потребления путем электролиза растворов поваренной соли.

#### **Озонирование воды**

Озон является одним из наиболее сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы. Преимущество озонирования состоит в том, что под действием озона одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, а также устраняются запахи и привкусы воды и вообще улучшаются ее вкусовые качества. Озон не изменяет натуральные свойства воды, так как его избыток через несколько минут превращается в кислород.

### **Обеззараживание воды бактерицидными лучами**

Возможность обеззараживания воды ультрафиолетовым облучением известна давно, но долгое время этот метод по экономическим соображениям не применялся в водоснабжении. Появление более совершенных и мощных источников бактерицидного излучения вновь вызвало интерес к этому методу обеззараживания воды.

Обеззараживание воды бактерицидными лучами имеет ряд преимуществ перед хлорированием. Природные вкусовые качества и химические свойства воды не изменяются. Бактерицидное действие лучей протекает во много раз быстрее, чем хлора; после облучения воду сразу можно подавать потребителям. Бактерицидные лучи уничтожают не только вегетативные виды бактерий, но и спорообразующие. Эксплуатация установок для обеззараживания воды бактерицидными лучами проще, чем эксплуатация хлорного хозяйства.

## Лекция 9: Обводнение и групповые водопроводы

Вопросы лекции:

1. Полевое и пастбищное водоснабжение
2. Групповые сельскохозяйственные водопроводы

### 1. Полевое и пастбищное водоснабжение

Одна из первоочередных задач сельскохозяйственного освоения земель для интенсивного производства продукции растениеводства и животноводства является обеспечение водой и улучшение водоснабжения хозяйств.

Под **обводнением** понимается комплекс поисковых и гидротехнических работ, имеющих целью повышение водообеспеченности безводных или маловодных территорий для их освоения и более интенсивного использования. В соответствии с планами развития хозяйства в данном районе определяют потребность в воде и проектируют систему мероприятий для обеспечения водой всех потребителей этого района. Осуществляют основные гидротехнические работы по строительству водохранилищ, каналов и прочих сооружений, обеспечивающих получение на данной территории достаточного объема воды.

(Обводнением называется совокупность водохозяйственных мероприятий, обеспечивающих удовлетворение хозяйственно-бытовых и производственных потребностей в воде всех потребителей находящихся на данной обводняемой территории.)

**На полях**, занятых посевами сельскохозяйственных культур, потребность в воде возникает во время проведения различных сельскохозяйственных работ – пахоты, посева, ухода за растениями, внесения удобрений (подкормки), уборки урожая и т. п.

Люди, животные и машины, работающие на полях, получают воду из полевых пунктов водоснабжения, которые обычно совмещают с полевыми станами. Некоторым водопотребителям, работающим на полях, вода из полевых пунктов водоснабжения доставляется транспортом.

Расход воды для нужд полевого водоснабжения зависит от характера проводимых работ и числа занятых на них людей, животных и машин. Эти данные можно получить из производственного плана работы хозяйства. Если на полевом участке практикуется выпас продуктивного скота по стерне, то учитывается потребление воды скотом.

В состав полевого пункта водоснабжения в общем случае входят: водисточник, водозаборное устройство, водоподъемное оборудование, запасной бак с водоразборными устройствами, водоочистная установка. Если источника воды на полевом стане нет, то практикуют доставку воды из ближайшего

источника или водопровода в автоцистернах.

**На пастбищах**, занимающих значительные земельные площади, основными потребителями воды являются животные и люди (бригады пастухов). Потребности в воде людей невелика, но требования к качеству воды более высокие, чем допускается для животных, На пастбищах могут находиться также временные рабочие, выполняющие работы по заготовке кормов и т.п.

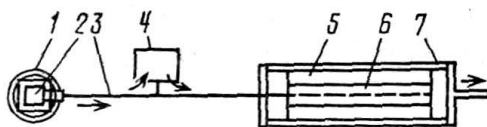
Животных на пастбищах содержат отдельными группами (стадами). Крупный рогатый скот формируется в гурты по 100 голов. За каждым гуртом закрепляют пастбища, площадь которых определяют по их кормовой продуктивности. Для правильного использования пастбища гуртовые участки, разбивают на более мелкие – загоны, поочередно используемые скотом.

Для поения животных на пастбищах организуют водопойные пункты. Стада животных, передвигающихся при пастьбе по пастбищу, 1...3 раза в день возвращаются к водопойному пункту для утоления жажды и отдыха. Поэтому животные не могут далеко отходить от водопойного пункта и пасутся, не выходя за пределы некоторого радиуса, который называется **радиусом водопоя** (или отгона).

Его величину надо знать как для нарезки выпасных участков, так и для размещения водопойных, пунктов на пастбищах. Чем меньше животные удаляются при пастьбе от водопойного пункта, тем регулярнее получают воду, меньше тратят времени и сил на переходы, продуктивность их становится выше и, наоборот, большие перегоны скота от водопойного пункта на пастбище и обратно утомляют животных, отнимают время от пастьбы, скот нерегулярно получает воду; это ведет к потере массы и снижению продуктивности животных. Оптимальным считают такой радиус водопоя, при и котором при приемлемых затратах на строительство сети водопойных пунктов достигается высокая продуктивность животных.

Водопойный пункт размещают по возможности в центре выпасного участка. Если это невозможно, то его можно разместить в другом, более подходящем месте, соблюдая правило, чтобы границы участка не выходили за пределы допустимого радиуса водопоя.

Водопойные пункты располагают в доступном, незатопляемом и незаболочиваемом месте с удобными подходами для скота. Их нельзя располагать вблизи скотопогонов и дорог общего пользования, скотомогильников и всех источников загрязнения воды. Площадь отдыха скота относят от них на 150...200 м.



План водопойного пункта у шахтного колодца:

1 – колодец; 2 – водоподъемник; 3 – трубопровод; 4 – резервуар; 5 – водопойная площадка; 6 – корыта; 7 – водоотводная канава.

## 2. Групповые сельскохозяйственные водопроводы

Сельскохозяйственное водоснабжение имеет специфические особенности, которые определяют основные требования к системам водоснабжения:

- производство ведется на обширных земельных угодьях, что вызывает рассредоточение хозяйственных центров по площади землепользования;
- потребители воды перемещаются по территории для выполнения производственных операций;
- неравномерное водопотребление, обусловленное агроклиматическими факторами.

Рассредоточенность разнообразных объектов водоснабжения по территории хозяйства обуславливает возможность устройства систем водоснабжения с различной степенью централизации. Различают следующие системы сельскохозяйственного водоснабжения: **децентрализованную, централизованную и комбинированную.**

При **децентрализованной** системе водоснабжение каждого хозяйственного или производственного центра осуществляется обособленно, независимо от других объектов, при этом в каждом центре устраивают локальный водопровод или местные системы водоснабжающих сооружений для забора, подъема, очистки и разбора воды потребителями.

При **централизованной** системе водоснабжение всех центров осуществляется единой водопроводной системой (**групповым водопроводом**), при этом водозаборные, водоподъемные и очистные сооружения рассчитаны на подачу воды всем потребителям, находящимся в зоне действия системы, и работают по согласованному графику. Вода транспортируется к различным объектам по трубопроводам, а к отдельным небольшим водопотребителям может подвозиться в автоцистернах из ближайших водоразборных пунктов.

**Комбинированная** система водоснабжения – промежуточная между децентрализованной и централизованной, при этой системе водоснабжение некоторых объектов осуществляется централизованно, другие же объекты могут снабжаться водой обособленно.

**Групповыми сельскохозяйственными водопроводами** называют централизованные системы водоснабжения, которые подают воду по трубам в населенные пункты и на другие объекты в пределах хозяйства, района, области и более обширного региона.

Современные **групповые сельскохозяйственные водопроводы** – сложные инженерные системы, в состав которых входят водозаборные узлы, насосные и очистные станции, резервуары, водонапорные, запасно-регулирующие емкости, сеть разветвленных магистральных водоводов, различные вспомогательные сооружения электроснабжения, связи, телесигнализации и телеуправления, станции противокоррозионной защиты водоводов, ремонтно-эксплуатационные участки, диспетчерские пункты и т.д.

## Лекция 10: Изыскания и проектирование систем сельскохозяйственного водоснабжения

Вопросы лекции:

1. Особенности и порядок проектирования систем сельскохозяйственного водоснабжения. Изыскания, стадии проектирования

### 1. Особенности и порядок проектирования систем сельскохозяйственного водоснабжения. Изыскания, стадии проектирования

Особенностью систем сельскохозяйственного водоснабжения является распродоточенность сравнительно небольших объектов водоснабжения на значительной площади земельных угодий. Это обстоятельство во многом определяет порядок проектирования данных систем и сооружений.

Проектно-изыскательские работы включают **проектные** (разработка чертежей, расчеты конструкций, составление спецификаций и смет, пояснительных записок к проектам) и **изыскательские** (топографо-геодезические и гидрографические, инженерно-гидрологические и метеорологические, инженерно-геологические, мелиоративные) работы, а также работы по линейным изысканиям (изыскания трасс каналов, коллекторов и водопроводов, магистральных трубопроводов) и др.

Проектирование систем сельскохозяйственного водоснабжения проводится по следующим стадиям:

- схема;
- технико-экономическое обоснование (ТЭО);
- технический проект;
- рабочие чертежи.

Последние две стадии нередко объединяются в одну – стадию **техно-рабочего проекта**.

В одну стадию проектируются объекты, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно применяемым проектам, а также технически несложные объекты. **При одностадийном проектировании выполняется техно-рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости.**

**В две стадии** осуществляется проектирование всех других объектов строительства, в том числе крупных и сложных. **При двухстадийном проектировании выполняются технический проект со сводным сметным расчетом стоимости (первая стадия) и рабочая документация со сметами (вторая стадия).**

Проектирование систем сельскохозяйственного водоснабжения осуществляется в определенной последовательности.

**Вначале разрабатываются схемы или документы, их заменяющие и технико-экономические обоснования (ТЭО)**, где обосновывается хозяйственная необходимость и экономическая целесообразность проектирования и строительства, реконструкции или расширения сооружений и систем водоснабжения и канализации.

**В схеме** определяются объекты водоснабжения, водопотребление, источники воды, примерные объемы работ и стоимость строительства, схематически рассматриваются варианты водоснабжения, дается оценка экономической эффективности намеченных мероприятий, устанавливается очередность строительства.

**Технико-экономическое обоснование включает:** исходные положения, обоснование потребности народного хозяйства в продукции предприятия и его проектной мощности и специализации, данные по обеспечению предприятия сырьем, полуфабрикатами, электроэнергией и водой. Здесь же приводится обоснование размещения предприятия, основные технические решения, состав предприятия, экономические расчеты, выводы и предложения.

В этом разделе рассчитываются также экономическая эффективность капитальных вложений, удельные капитальные затраты, удельные расходы сырья, полуфабрикатов, топлива, электроэнергии и других ресурсов, численность работников и производительность труда, ориентировочная себестоимость основных видов продукции.

**Оформляется ТЭО** в виде пояснительной записки с приложением необходимых расчетных, табличных и графических материалов.

**На основании ТЭО составляется задание на проектирование**, в котором указывается назначение и мощность объектов строительства, протяженность сетей водопровода и канализации, расчетная стоимость, очередность и сроки возведения объектов, приводятся другие исходные данные для проектирования.

Задание на проектирование составляется заказчиком при непосредственном участии проектной организации – генерального проектировщика с привлечением в необходимых случаях субподрядных специализированных проектных организаций. Заказчиком является дирекция строящегося предприятия при новом строительстве или дирекция действующего предприятия при его техническом перевооружении или реконструкции.

**Задание на проектирование** является вторым этапом предпроектной стадии. Оно составляется заказчиком проекта в соответствии с принципиальными решениями и технико-экономическими показателями, принятыми в ТЭО. Если строительство намечено осуществлять очередями, то составляется и утверждается задание на его первую очередь.

**Рабочий (технический) проект** на строительство предприятия, здания или сооружения содержит следующие основные части: общую пояснительную

записку, технико-экономическую часть с обоснованием основных показателей, генеральный план, описание технологии производства, мероприятий по обеспечению энергоресурсами и по защите окружающей среды, строительную часть, проект организации строительства (ПОС), сводный сметный расчет стоимости и др.

Здесь же решаются вопросы применения рекомендуемых ТЭО технологии производства, объемно-планировочных и конструктивных решений, определяются потребности в сырье, энергии, воде, топливе и других ресурсах, устанавливается состав проектируемой очереди строительства, рассчитываются технико-экономические показатели, определяется стоимость всего строительства (по укрупненным показателям) и др.

Рабочая документация со сметами разрабатывается после утверждения проекта со сводным сметным расчетом в соответствии с принятыми в нем решениями. В ней приводятся:

- строительные рабочие чертежи,
- детализованные чертежи металлических конструкций и технологических трубопроводов,
- чертежи установки различного оборудования с коммуникациями, сетей, сооружений, связанных с охраной природы и техникой безопасности,
- ведомости объемов строительных и монтажных работ, составленные по номенклатуре сметных нормативов,
- сметы и паспорта проектов зданий и сооружений по установленной форме и др.