

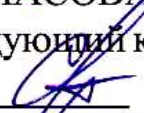
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

Факультет инженерных систем и экологии

Кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны  
водных ресурсов

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 С. В. Андreyюк

«16» декабря 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 А. А. Волчек

«16» 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ И  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ»**

для специальности:

1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство»

Составители: Белов С.Г. – доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ, канд. техн. наук, доцент,  
Таратенкова М.А. – старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета университета 29.12.2022 г.,  
протокол № 3.

рет. в УМК 22/23-В1

## ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ

Электронный учебно-методический комплекс содержит:

### 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Конспект лекций по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

### 2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Методические рекомендации к выполнению практических занятий по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

2.2 Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

### 3 РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1 Вопросы к экзамену по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

### 4 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1 Учебная программа дисциплины «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Цели ЭУМК**

- повышение эффективности образовательного процесса специальности 1- 74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»;
- внедрение перспективных технологий хранения и передачи информации в электронном виде.
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета.

### **Структура ЭУМК**

содержит теоретический, практический, вспомогательный раздел и раздел по контролю знаний студентов.

### **Рекомендации по организации работы с ЭУМК**

Необходим IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации.

# 1 Теоретический раздел

## Конспект лекций по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

### I Раздел Сельскохозяйственное водоснабжение

Тема 1 Введение в сельскохозяйственное водоснабжение

Тема 2 Водопотребление

Тема 3 Системы и схемы сельскохозяйственного водоснабжения

Тема 4 Транспортирование и распределение воды

Тема 5 Водозаборные сооружения систем сельскохозяйственного водоснабжения

Тема 6 Сельскохозяйственное обводнение территории

Тема 7 Водоснабжение пастбищ

Тема 8 Улучшение качества воды

### II Раздел Насосные станции

Тема 9 Общие сведения о насосах и насосных станциях

Тема 10 Центробежные насосы

Тема 11 Осевые насосы

Тема 12 Схемы и состав сооружений насосных станций мелиоративных систем

Тема 13 Водозаборные сооружения насосных станций

Тема 14 Основное и вспомогательное оборудование насосных станций

Тема 15 Здания мелиоративных насосных станций

Тема 16 Здания мелиоративных насосных станций

## Раздел I Сельскохозяйственное водоснабжение

### Тема 1 Введение в сельскохозяйственное водоснабжение

*Цели и задачи учебной дисциплины. Понятие о водоснабжении. Хозяйственное и санитарно-гигиеническое значение водоснабжения. Закон республики Беларусь о питьевом водоснабжении.*

**Система водоснабжения** - это комплекс инженерных сооружений предназначенных для забора воды, улучшения ее качества до требований потребителя, подачи и распределения ее среди потребителей.

**Системы водоснабжения классифицируются по ряду признаков:**

- *По назначению:*
  1. Хозяйственно-питьевые;
  2. Противопожарные;
  3. Производственные;
  4. Сельско-хозяйственные
  5. Объединенные.
- *По виду источника водоснабжения:*
  1. Из поверхностных источников;
  2. Из подземных источников;
  3. Со смешанным питанием.
- *По территориальному признаку:*
  1. Местные
  2. Централизованные  
Групповые.
- *По видам обслуживаемых объектов:*
  1. Городские;
  2. Поселковые;
  3. Промышленные;
  4. Железнодорожные.
- *По способу подачи воды:*
  1. Самотечные;
  2. Напорные;
  3. Комбинированные.
- *По характеру использования воды:*
  1. Прямоточные;
  2. С повторным использованием;
  3. Обратные;
  4. Комбинированные
- *По месту расположения водонапорной башни:*
  1. С проходной башней;
  2. С контррезервуаром;
  3. Безбашенная;
- *По категории надежности:*
  1. Первой;
  2. Второй;
  3. Третьей;

**Закон Республики Беларусь** от 9 января 2019 года «О внесении изменений и дополнений в некоторые законы Республики Беларусь по вопросам питьевого водоснабжения»

**ВОДНЫЙ КОДЕКС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ** 30 апреля 2014 г. № 149-З

Настоящий Кодекс регулирует отношения, возникающие при владении, пользовании и распоряжении водами и водными объектами, и направлен на охрану и рациональное (устойчивое) использование водных ресурсов, а также на защиту прав и законных интересов водопользователей.

**Санитарные правила и нормы 2.1.4.** «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы СанПиН 10–124 РБ 99»

Санитарные правила и нормы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» устанавливают гигиенические требования к качеству питьевой воды, а также правилами контроля качества воды, производимой и подаваемой централизованными системами питьевого водоснабжения населенных мест.

Гигиенические требования к качеству питьевой воды при нецентрализованном водоснабжении установлены СанПиН 8–38–98 РБ 98.

**СНБ 4.01.01-03.** Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования.

Настоящие строительные нормы распространяются на проектирование строящихся и реконструируемых централизованных и нецентрализованных систем питьевого водоснабжения населенных пунктов, отдельных групп и одиночных объектов, расположенных на территории республики, и устанавливают общие требования к системам питьевого водоснабжения, их классификацию и категории надежности, проектные нормы водопотребления, требования по выбору системы и схемы питьевого водоснабжения, порядок определения расчетных расходов питьевой воды, общие положения и требования по выбору, размещению и расчету элементов систем питьевого водоснабжения.

**СН 4.01.01-19.** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

Настоящие строительные нормы распространяются на наружные сети и сооружения систем водоснабжения населенных пунктов и объектов производства.

Настоящие строительные нормы применяются при проектировании вновь строящихся и реконструируемых систем водоснабжения.

**СН 2.02.02-2019** Противопожарное водоснабжение.

Строительные нормы устанавливают требования к проектированию противопожарного водоснабжения населенных пунктов, территорий предприятий, зданий и сооружений

## **Тема 2 Водопотребление**

*Норма водопотребления. Удельное водопотребление в сельских населенных пунктах, фермах и других сельхозпредприятиях. Графики часовых и суточных расходов воды. Коэффициенты неравномерности водопотребления. Определение расчетных суточных и часовых расходов воды.*

**Норма водопотребления** - количество воды, которое расходуется одним потребителем за какой-то период времени.

**Основные виды потребителей воды в населенном пункте:**

Население, которое использует воду на хозяйственно-питьевые нужды;

Промышленное предприятие - использует воду на технологические нужды, хозяйственно-питьевые нужды работающих, на душевые нужды и уборку помещений;

Нужды пожаротушения

Расходы воды на полив зеленых насаждений, мойку улиц и площадей;

Предприятий местной промышленности – химчистки, прачечные, столовые, бани, рестораны и т.д.

**Норма водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды** – объем воды в литрах, используемый в средние за год сутки одним человеком. Зависит эта норма от степени благоустройства и климатических условий.

**Степень благоустройства здания** – степень насыщенности санитарно-техническим оборудованием в соответствии с нормативными требованиями.

**Нормы расхода воды на нужды промышленного предприятия**

Норма водопотребления на технологические нужды зависит от вида выпускаемой продукции и технологии ее производства.

Норма расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды работающих составляет для цехов с тепловыделением 84 кДж на 1 кв. м в час 45 л/см-чел., для других 25 л/см-чел.

Норма расхода воды на душевые нужды составляет 500 л на 1 душевую сетку в час, продолжительность пользования душем 45 минут.

**Норма расхода воды на тушение пожара**

Пожара подразделяются:

- Возникающие в населенном пункте (наружные и внутренние)
- На промышленном предприятии (с/х предприятии).

Нормы расхода воды на тушение одного пожара определяются по СНБ «Противопожарное водоснабжение». При определении нормы расхода воды следует учитывать общее количество людей, проживающих в населенном пункте.

Нормы расхода воды на промышленных предприятиях зависят от класса функциональной пожарной опасности зданий, количества этажей и строительного объема здания.

**Норма расхода воды на полив зеленых насаждений**

Норма расхода на полив приведены в СНБ «Водоснабжение питьевое».

**Расчет суточных объемов воды на хозяйственно-питьевые нужды**

Объем воды отбираемый из водопроводной сети за сутки величин непостоянная, а изменяется в течении года. Различают сутки среднего, наибольшего и наименьшего водопотребления.

Среднесуточное водопотребление определяется по формуле:

$$Q_{сут.ср.} = \frac{q_{x/n} \cdot N}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

$q_{x/n}$  – норма водопотребления;

$N$  – количество жителей.

Расчетные расходы наибольшего и наименьшего водопотребления:

$$Q_{сут \max} = Q_{ср.сут} \cdot K_{сут \max}$$

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

Расход воды на технологические нужды:

$$Q_{\text{сут пр}} = \sum_{i=1}^n q_{\text{пр } i} \cdot N_{\text{пр } i}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

$q_{\text{пр}}$  - норма расхода воды на выпуск единицы продукции, куб. м;

$N_{\text{пр } i}$  - количество единиц выпускаемой продукции в смену, ед.

Расход воды на хоз-питьевые нужды:

$$Q_{\text{сут х-п}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{\text{х-п гор.}} \cdot N_{\text{гор}}}{1000} + \frac{\sum_{i=1}^n q_{\text{х-п хол.}} \cdot N_{\text{хол}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

$q_{\text{х-п гор.}}$ ,  $q_{\text{х-п хол.}}$  - норма расхода воды на одного работающего в горячих и холодных цехах соответственно, л/см на человека;

$N_{\text{гор}}$ ,  $N_{\text{хол}}$  - количество работающих в холодных и горячих цехах в смену, чел.

Расход воды душевые нужды:

$$Q_{\text{душ}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{\text{душ}} \cdot N_{\text{чел } i}}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

$q_{\text{душ}}$  - норма расхода воды на принятие душа одним человеком, л;

$N_{\text{пр } i}$  - количество человек, пользующихся душем, чел.

**Определение расходов воды на полив зеленых насаждений**

$$Q_{\text{полив}} = 10 \sum_{i=1}^n q_{\text{полив } i} \cdot F_{\text{пл } i} \cdot m, \quad \text{м}^3/\text{сут}$$

$q_{\text{полив}}$  - норма расхода воды на полив в л/ кв. м на 1 поливку ;

$F_{\text{пл } i}$  - площадь полива, га;

$m$  - количество поливок

$$Q_{\text{полив}} = \frac{q_{\text{полив}} \cdot N_{\text{общ}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

$q_{\text{полив}}$  - норма расхода воды на полив на одного жителя, л/сут.

### **Режим водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды**

Количество отбираемой воды из системы на хозяйственно-питьевые нужды изменяется в течении суток. В дневное время водопотребление увеличивается в ночное снижается. Условно принято считать, что водоотбор в течение часа остается постоянным.

Основным расчетным режимом является режим отбора максимального расхода в сутки наибольшего водопотребления.

Максимальный часовой расход:

$$q_{\text{ч max}} = k_{\text{ч max}} \cdot \frac{Q_{\text{сут max}}}{24}$$

$$k_{\text{ч max}} = \alpha_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{max}}$$



Определив коэффициент часовой неравномерности, принимается типовой график распределения расходов воды по часам суток.

$\alpha_{\text{макс}}$  и  $\alpha_{\text{мин}}$  – коэффициенты, учитывающие степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия.  $\alpha_{\text{макс}} = 1,2-1,4$ .

$\beta_{\text{макс}}$  и  $\beta_{\text{мин}}$  – коэффициенты, учитывающие количество жителей в населенном пункте.

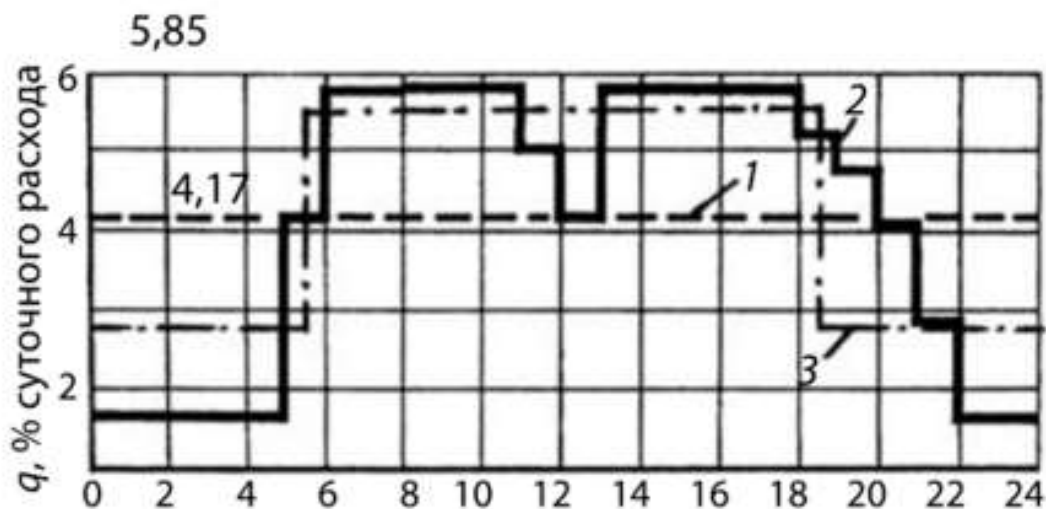


Рисунок 2.1. Ступенчатые графики потребления и подачи воды

1 — равномерная подача воды насосами насосной станции I подъема; 2 — неравномерное потребление воды по часам суток; 3 — неравномерная (двухступенчатая) работа насосов насосной станции II подъема

### Тема 3 Системы и схемы сельскохозяйственного водоснабжения

*Системы сельскохозяйственного водоснабжения. Схема водоснабжения и состав водопроводных сооружений. Локальные, централизованные и групповые системы водоснабжения.*

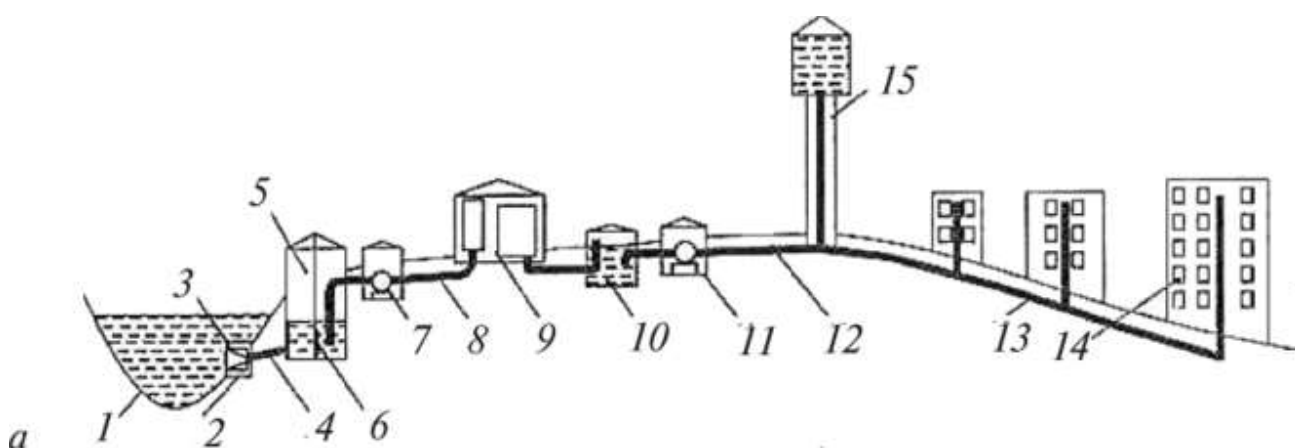


Рисунок 3.1. Схема системы водоснабжения из поверхностного источника

1 — источник водоснабжения; 2 — оголовок; 3 — водоприемные окна с решетками; 4 — самотечная линия; 5 — береговой колодец; 6 —



рыбозащитная сетка; 7- насосная станция первого подъема; 8 — водоводы первого подъема; 9 — водоочистная станция; 10 — резервуар чистой воды; 11 — насосная станция второго подъема; 12 — водоводы второго подъема; 13 — водопроводная сеть населенного пункта; 14 — водопотребители; 15 — водонапорная башня.

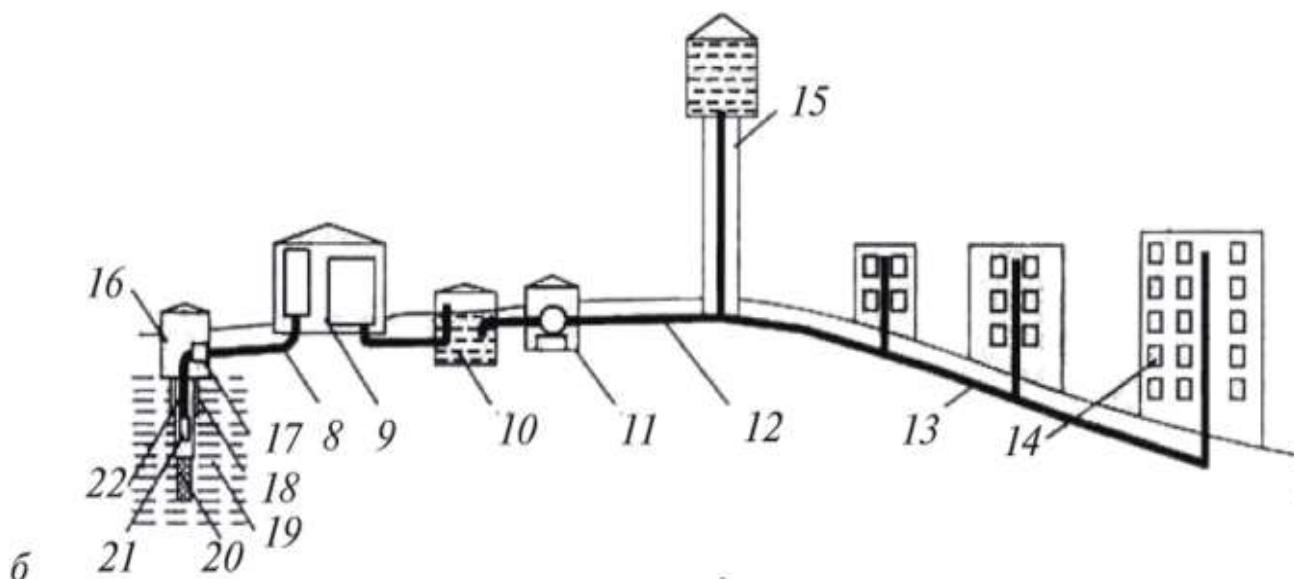


Рисунок 3.2. Схема системы водоснабжения из подземного источника  
16— павильон над трубчатым колодезем; 17— водомерный узел; 18 — колонна обсадных труб; 19 — водоносный горизонт; 20— фильтр трубчатого колодца; 21 — погружной насос с электродвигателем; 22 — водоподъемная труба

#### **Тема 4 Транспортирование и распределение воды**

*Основные способы транспортирования воды. Водопроводные трубы и способы их соединения. Водопроводная арматура и фасонные части.*

*Прокладка трубопроводов и сдача их в эксплуатацию. Разводящие водопроводные сети. Конструкции разводящих сетей и схемы трассировки.*

*Расчетные напоры и расходы водопроводной сети. Определение экономически наиболее выгоднейшего диаметра труб. Водоводы, их назначение и классификация. Проектирование и расчет водоводов. Запасные и запасно-регулирующие сооружения. Выбор местоположения конструкции и определение емкости водонапорных башен и подземных резервуаров. Внутренние водопроводы. Основы проектирования и расчета внутреннего водопровода в зданиях и животноводческих помещениях.*

#### **Типы и состав водопроводных сетей.**

Требования, предъявляемые к водопроводным сетям. Водопроводная сеть предназначена для транспортирования воды от источника к месту потребления. Она является практически единственным элементом системы водоснабжения и состоит из магистральных и распределительных линий.

В зависимости от планировки населенного пункта схема начертания распределительной сети труб может быть:

- тупиковой;

- кольцевой;
- комбинированная

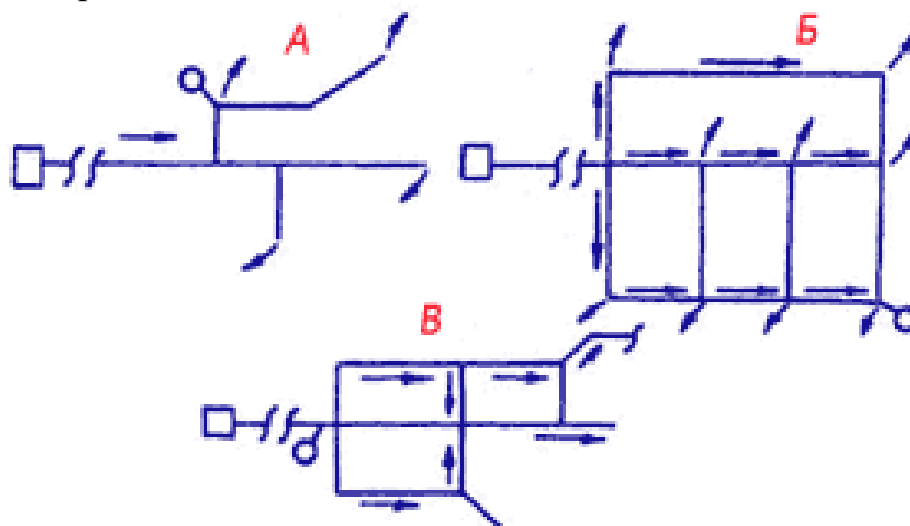


Рисунок 4.1. Схемы водопроводных сетей:

А — тупиковая;

Б — кольцевая;

В — комбинированная

В соответствии с действующими строительными нормами водопроводные сети должны проектироваться кольцевыми. Кольцевая сеть по сравнению с другими типами имеет большую протяженность, а соответственно и большую стоимость, но главное ее преимущество – ее надежность. Перемычки на водоводах следует проектировать для повышения надежности работы водоводов.

При отсутствии перемычек в случае аварии необходимо по одной нити подать аварийный расход воды равный 70 %.

При проектировании в соответствии с нормами тупиковые сети допускается устраивать при диаметре наружной сети более 100 мм в населенном пункте с количеством жителей до 3 000 человек расходом воды на пожаротушение. Строительство тупиковой сети обходится дешевле, однако их применение ограничено из-за недостаточной надежности.

Комбинированные – комбинация кольцевой и тупиковой сети

#### **Требования предъявляемые к водопроводным сетям:**

1. Водопроводная сеть должна подавать нужное количество воды всем категориям водопотребителей под требуемым напором;
2. Обладать нужно пропускной способностью;
3. Быть надежной;
4. Обладать экономичностью;
5. Быть долговечной;
6. Быть ремонтпригодной.

### Схемы питания разводящих сетей:

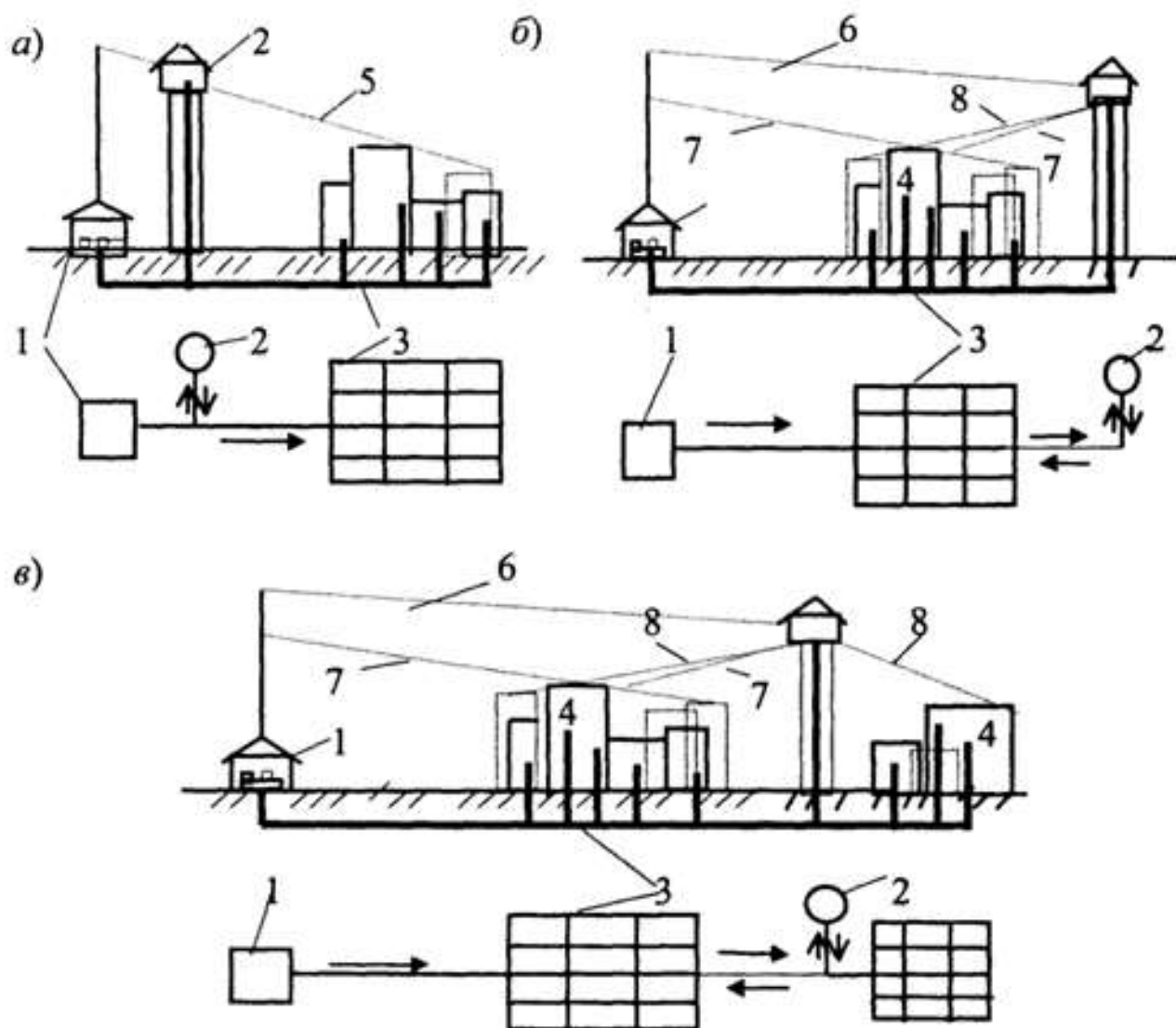


Рисунок 4.2 Схемы питания разводящих сетей

а - односторонняя через башню; б - сеть с контррезервуаром; в - комбинированная:

1 - насосная станция НС-II; 2 - водонапорная башня; 3 - разводящая сеть труб;

4 - объект водоснабжения; 5 - линия пьезометрического напора в сети; 6 - то же при транзите воды в башню; 7 - то же при питании сети от НС-II и от башни; 8 - то же при питании только от башни.

### Зонирование системы водоснабжения

Зонирование систем водоснабжения осуществляется по параллельной или последовательной схемам.

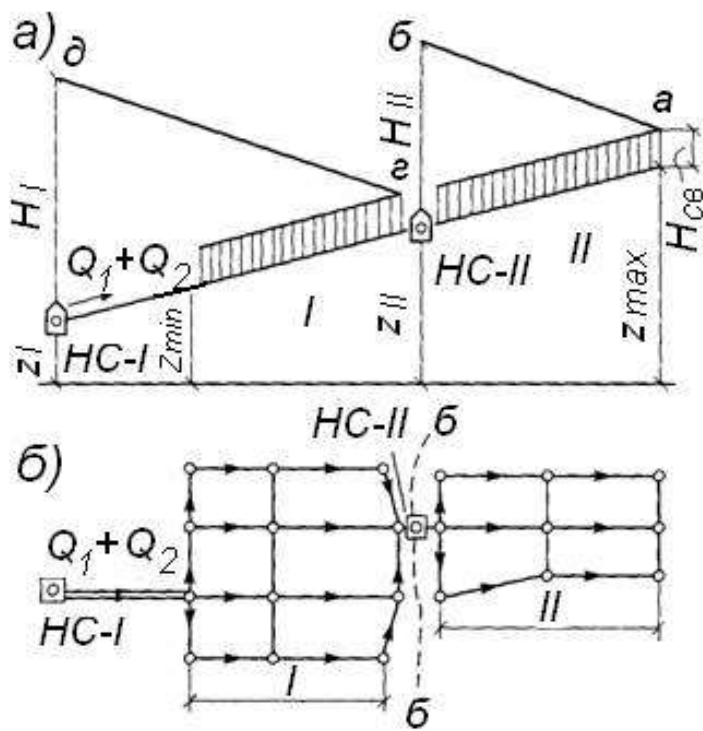


Рисунок 4.3 Схема последовательного зонирования  
*а*- пьезометрический профиль; *б*-план; граница *б—б* между зонами *I* и *II*

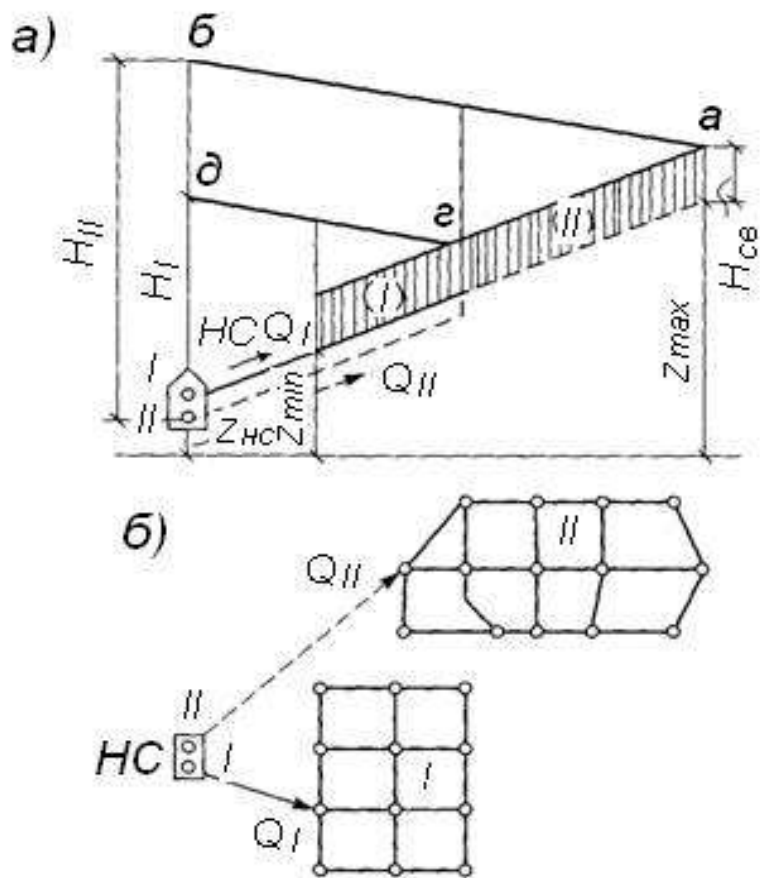


Рисунок 4.4 Схема параллельного зонирования  
*а*- пьезометрический профиль; *б*-план

## Основные принципы трассировки водопроводных сетей.

При начертании сети труб на плане населенного пункта необходимо стремиться к охвату всех водопотребителей и обеспечению бесперебойности и надежности подачи воды при возможно наименьшей стоимости.

1. Количество магистральных трубопроводов должно быть не менее двух;
2. Магистральные линии должны соединяться перемычками, при этом длина линии не должна превышать 800-1000 м, длина перемычки 600-800 м;
3. Магистральные трубопроводы стоит трассировать по кратчайшему расстоянию к наиболее крупным потребителям;
4. Магистральные трубопроводы должны быть распределены равномерно по всей территории;
5. При трассировке следует учитывать наличие естественных и искусственных препятствий. Если не получается их обойти, то пересекать их нужно под углом в  $90^\circ$  ;
6. Магистральные трубопроводы следует прокладывать по проездам улиц желательно вне твердых покрытий;

Водопроводную сеть следует проектировать кольцевой, стремясь к тому, чтобы диаметры магистральных трубопроводов были примерно одинаковы

## Расчетная схема отдачи воды. Понятие об удельных, путевых, узловых и линейных расходах

Фактическая картина распределения воды кольцевой водопроводной сети весьма сложная и изменчивая во времени. Она зависит от объемов водопотребления и мест водоотбора, которые постоянно изменяются.

Удельный расход – это расход воды, приходящийся на единицу длины трубопровода.

$$q_{уд} = Q_{max\ ч.} / \sum L_{расч}, \text{ л/с на м}$$

где  $Q_{max\ ч.}$  – расход воды, отбираемой в час максимального водопотребления на всем протяжении кольцевой сети, л/с.

Путевой расход - это расход, л/с, который отбирается потребителем по длине расчётного участка.

$$q_{пут}^i = q_{уд} \cdot L_p^i$$

Узловой расход – это расход воды, л/с, отбираемый из данного узла. Узловой расход определяется как полусумма путевых расходов прилегающих к данному узлу.

$$q_{узн}^i = 0,5 \sum q_{пут}^i + Q_{соср.}$$

где  $\sum q_{пут}^i$  – сумма путевых расходов на участках, прилегающих к данному узлу, л/с;

$Q_{соср.}$  – сосредоточенный расход отбираемый из данного узла.

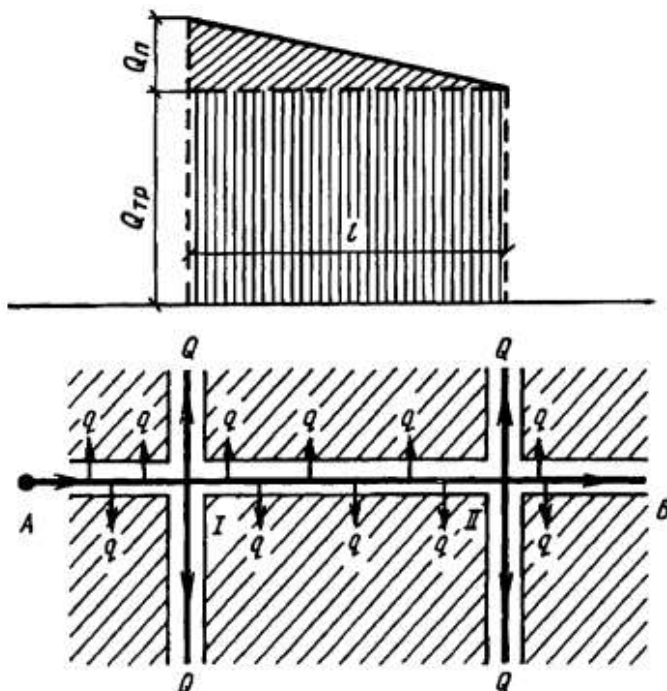


Рисунок 4.5. Схема отбора воды из сети и распределения расходов по длине участка

### Основные принципы и методы определения диаметров водопроводных труб с учетом экономического фактора

Определение диаметров труб на расчетных участках является задачей имеющей множество решений.

#### 1 способ

При проектировании водопроводных сетей следует учитывать капитальные затраты (единовременные затраты на строительство водопроводной сети) и эксплуатационные затраты (на электроэнергию, зарплату персонала, текущий ремонт, расходные материалы).

С учетом капитальных вложений и эксплуатационных затрат назначаются такие диаметры. Оптимальным диаметром является тот, у которого приведенные затраты имеют минимальное значение.

Поскольку скорость движения воды обратно пропорциональна диаметру на основании опыта эксплуатации принято считать оптимальные значения скоростей:

Для труб диаметром до 350 мм – оптимальная скорость 0,7-1,2 л/с;

Для труб диаметром от 350 до 500 мм – оптимальная скорость 1,2-2,0 л/с;

Для труб диаметром более 500 мм – оптимальная скорость более 2,0 л/с.

Задавшись экономическими значениями, вычисляется потребная площадь живого сечения трубы для пропуска линейного расхода.

#### Определение потерь напора в водопроводной сети

При проектировании наружных водопроводных сетей учитывают, что основная часть потерь напора приходится на потери по длине. Местные потери принимаются в пределах 5-10 % от общих потерь по длине.

$$h_{\text{общ}} = (1,05 \div 1,10) h_l$$

$$h_m = (0,05 \div 0,10)h_1$$

$$h_1 = kAlq^2$$

$k$  – коэффициент учитывающий область гидравлического режима работы трубопроводы;

$A$  – удельное сопротивление;

$L$  – длина участка.

Потери по длине могут быть найдены по таблицам Шевелев, в которых приведены гидравлические уклоны для различного диаметра и различной пропускной способности.

### Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети

Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети сводится к определению диаметров (экономически наиболее выгодных) труб на расчетных участках и вычислению потерь напора.

По значению потерь напора определяют требуемые напоры насосов 2-го подъема, а также высоту водонапорной башни. Эта задача сводится к задаче с  $2k$ -неизвестными, где  $k$  – количество участков водопроводной сети. Для нахождения этих неизвестных можно записать  $p-1$  уравнение.

Алгебраическая сумма расходов для каждого узла водопроводной сети должна быть равна нулю (первый закон Кирхгофа):

$$\sum_{i=1}^p Q_i = 0$$

Для каждого кольца алгебраическая сумма потерь напора равна нулю (второй закон Кирхгофа):

$$\sum_{j=1}^m h_j = 0$$

Согласно теореме Эйлера о соотношении числа крайних вершин, ребер и граней многогранников для любой конфигурации кольцевой сети можно записать:

$$K = p + m - 1$$

То есть получается количество уравнений  $k$  в два раза меньше, чем неизвестных.

Задача такого уровня решается методом постепенного приближения.

Увязка многокольцевой сети методом Лобачева-Кросса:

$$h_{1-2} = kAlq_{1-2}^2 = S_{1-2}q_{1-2}^2$$

$$h_{2-3} = kAlq_{2-3}^2 = S_{2-3}q_{2-3}^2$$

.....

На основании второго закона Кирхгофа для каждого кольца можно записать:

$$h_{1-2} + h_{2-3} - h_{4-5} - h_{3-6} = 0$$

$$h_{3-4} + h_{3-6} - h_{4-5} - h_{5-6} = 0$$

Принято считать, что потери напора на участках с движением воды совпадающим с движением часовой стрелки принимают со знаком «+», если



не совпадает – то «-».

$$h_{1-2} + h_{2-3} - h_{4-5} - h_{3-6} = \Delta h_1$$

$$h_{3-4} + h_{3-6} - h_{4-5} - h_{5-6} = \Delta h_2$$

$$\left\{ \begin{aligned} S_{1-2} \cdot q_{1-2}^2 + S_{2-3} \cdot q_{2-3}^2 - S_{3-6} \cdot q_{3-6}^2 - S_{1-6} \cdot q_{1-6}^2 &= \Delta h_1 \\ S_{3-4} \cdot q_{3-4}^2 + S_{3-6} \cdot q_{3-6}^2 - S_{4-5} \cdot q_{4-5}^2 - S_{5-6} \cdot q_{5-6}^2 &= \Delta h_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\left\{ \begin{aligned} S_{1-2} \cdot (q_{1-2} - \Delta q_{k1})^2 + S_{2-3} \cdot (q_{2-3} - \Delta q_{k1})^2 - S_{3-6} \cdot (q_{3-6} + \Delta q_{k1})^2 - S_{1-6} \cdot (q_{1-6} + \Delta q_{k1} + \Delta q_{k2})^2 &= \Delta h_1 \\ S_{3-6} \cdot (q_{3-6} + \Delta q_{k2} + \Delta q_{k1})^2 + S_{3-4} \cdot (q_{3-4} + \Delta q_{k2})^2 - S_{4-5} \cdot (q_{4-5} - \Delta q_{k2})^2 - S_{5-6} \cdot (q_{5-6} - \Delta q_{k2})^2 &= \Delta h_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta q_k = \mp \frac{\Delta h}{2 \sum S q^2} \text{ - поправочный расход кольца}$$

### Гидравлический расчет тупиковых разветвленных сетей (типы задач и методы решения)

Тупиковые сети применяются для систем водоснабжения населенных пунктов с количеством жителей до 5000 человек, с диаметром труб до 100 мм и расходом на наружное пожаротушение до 10 л/с.

При расчете тупиковых водопроводных сетей встречаются задачи двух типов:

1. По известному расходу на участке необходимо определить диаметр и потери напора на участках;
2. По известным потерям напора и расходу следует определить диаметры участков.

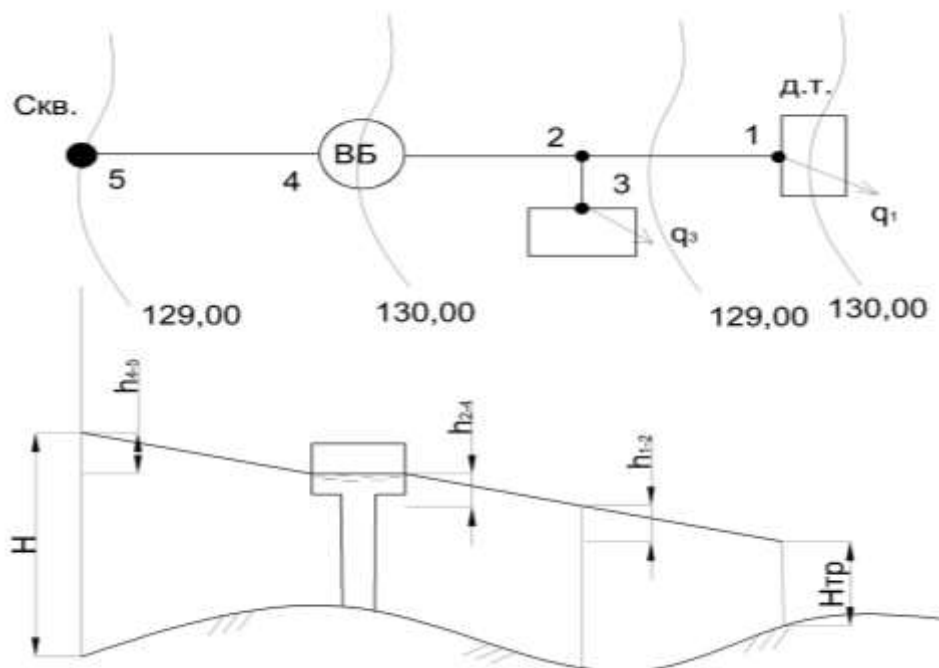


Рисунок 4.6. Схема тупиковой сети

В тупиковой сети направления движения воды определено, что позволяет определить расходы на участках однозначно. Расчет тупиковой сети в точности совпадает с кольцевой до узловых расходов.

$$q_{1-2} = q_1$$

$$q_{4-2} = q_1 + q_3$$

$$q_{2-3} = q_3$$

$$q_{5-4} = q_1 + q_3$$

Зная расходы определяем диаметры трубопроводов и потери напора:

$$h_{1-2} = kA_{1-2} l_{1-2} q_{1-2}^2$$

$$h_{4-2} = kA_{4-2} l_{4-2} q_{4-2}^2$$

$$h_{4-5} = kA_{4-5} l_{4-5} q_{4-5}^2$$

Далее вычисляются пьезометрические отметки для узлов магистрали:

$$Z_{п.л.(1)} = Z_3 + H_{тр(1)}$$

$$Z_{п.л.(2)} = Z_{п.л.(1)} + h_{1-2}$$

При расчете ответвление пьезометрическая отметка в конце рассчитывается по формуле:

$$Z_{п.л.(3)} = Z_{з(3)} + H_{тр(3)}$$

$$Z_{п.л.(3)} < Z_{п.л.(2)}$$

**Требуемое и избыточное давление водопроводной сети.**

**Построение пьезометрических линий при подаче максимального расхода**

Система водоснабжения должна подавать не только нужное количество воды потребителю, но и обеспечивать требуемое давление в сети.

Требуемое давление – давление, обеспечивающее нормальную работу водоразборных устройств:

$$P_{тр} = 0,1 + 0,04(n-1), \text{ МПа}$$

$n$  – этажность застройки.

Избыточное давление – давление, существующее в настоящее время в определяемой точке сети.

$$P_{тр} \leq P_{изб}$$

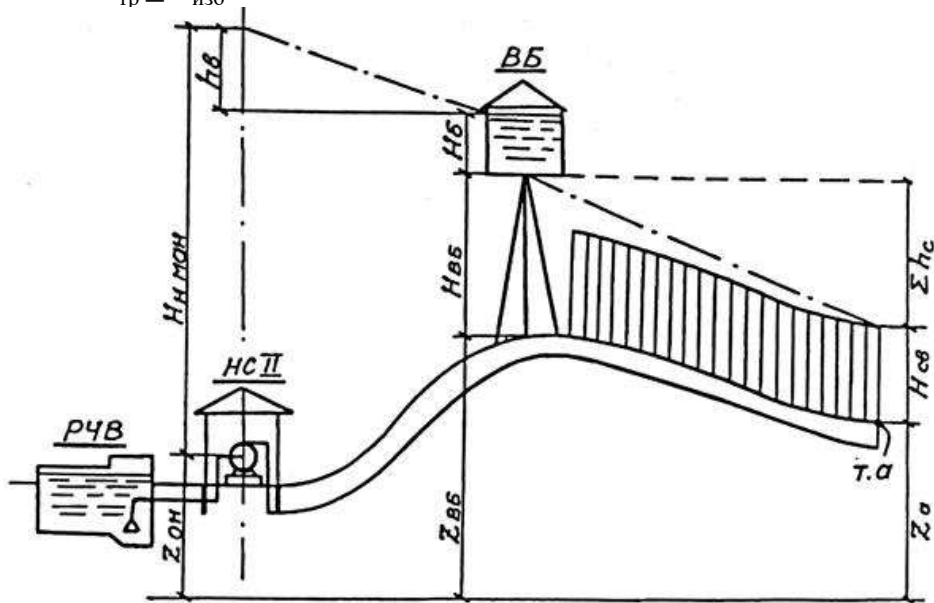


Рисунок 4.6. Построение пьезометрических линий при подаче максимального расхода для случая, когда башня находится в начале сети

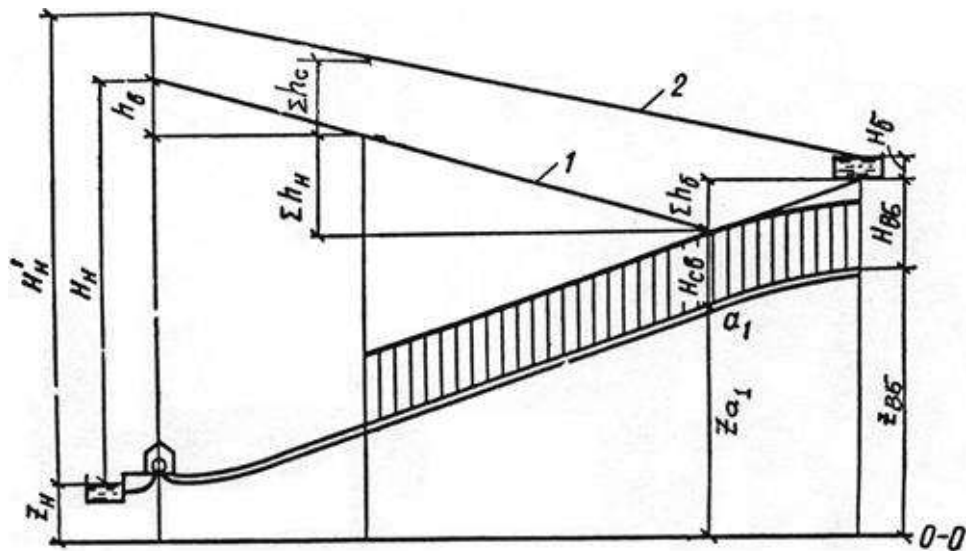


Рисунок 4.7. Построение пьезометрических линий при подаче максимального расхода для случая, схемы водоснабжения с контррезервуаром

### Виды регулирующих и запасных емкостей

Емкости используемые в системах водоснабжения могут быть классифицированы следующим образом:

- **По функциональному признаку:**

1. Регулирующие;
2. Запасные;
3. Запасно-регулирующие.

- **По способу подачи воды в сеть:**

1. Напорные, которые обеспечивают напор, необходимый для непосредственной подачи воды в водопроводную сеть;
2. Безнапорные, из которых воду нужно забирать насосами.

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

- Водонапорные башни;
- Напорные резервуары;
- Водонапорные колонны;
- Пневматические водонапорные установки

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 водопроводной сети.

Правильный выбор размеров регулирующих емкостей, их числа и места расположения в системе водоснабжения имеет большое экономическое значение.

Запасные емкости способствуют повышению надежности систем водоснабжения.

Разделение полной расчетной регулирующей емкости между башнями и резервуарами и их правильное размещение на местности могут в значительной степени снизить неравномерность нагрузки сети в отдельные моменты ее работы в результате изменений водопотребления.

## Устройство и конструкция РЧВ

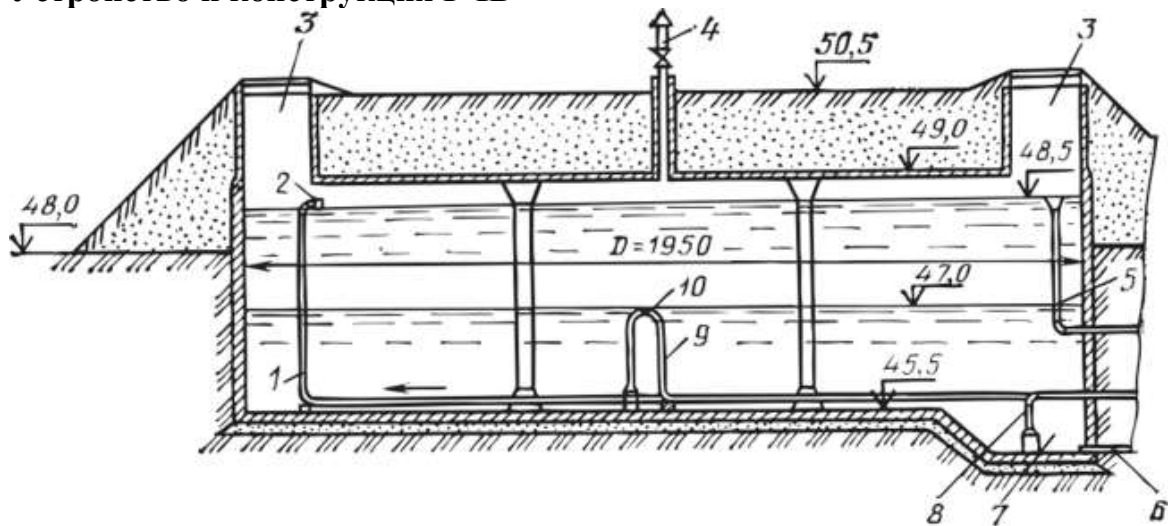
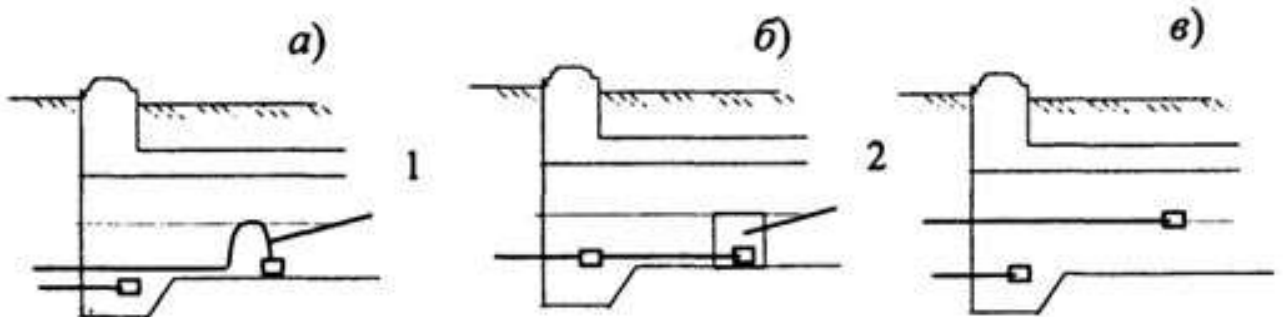


Рисунок 4.8 Схема резервуара чистой воды

1 — подающая труба; 2 — поплавковый клапан; 3 — лазы; 4, 5, 6 — вентиляционная, переливная и спускная трубы; 7 — приямок; 8, 9 — всасывающая труба пожарного и хозяйственного насосов; 10 — отверстие для срыва вакуума.

Сохранение неприкосновенности противопожарного запаса воды в резервуаре может быть обеспечено различными способами: устройством сифона с отверстиями в верхней части (а), цилиндрического всасывающего колодца (б) или размещением напорных труб на разных отметках (в).



### Конструирование резервуаров

В настоящее время РЧВ устраивают круглыми и прямоугольными в плане.

Круглые резервуары проектируют вместимостью до 2 000 куб.м .

Прямоугольные вместимостью до 10 000 куб. м.

Количество проектируемых резервуаров не менее 2-х

$$W_{\text{РЧВ}} = \frac{W_{\text{полн}}}{n}$$

$$F_{\text{РЧВ}} = \frac{W_{\text{РЧВ1}}}{h}$$

$$D = \sqrt{\frac{4F_{\text{РЧВ}}}{\pi}}$$

Для прямоугольных резервуаров конструктивно назначаем ширину  $b$  РЧВ, затем определяем длину  $l$ :

$$l = \frac{F_{\text{РЧВ1}}}{b}$$

Таким образом, при проектировании прямоугольных резервуаров ширину

резервуара назначают кратной 1,5 м.

Диаметр подводящего трубопровода к РЧВ принимается исходя из экономически выгодных скоростей, которые лежат в пределах:

0,7-1,2 м/с – для трубопроводов диаметром до 400 мм;

1,2-2,0 м/с – для трубопроводов диаметром более 400 мм.

Диаметр грязевой трубы принимается 150 мм.

Диаметр всасывающих трубопроводов принимают также исходя из экономически выгодных скоростей.

### Расчет полной вместимости РЧВ.

В соответствии с нормативными документами РЧВ должны храниться следующие объемы воды:

1. Регулирующий;
2. Противопожарный;
3. На собственные нужды водоочистной станции.

$$W_{\text{РЧВ}} = W_{\text{рег}} + W_{\text{пож}} + W_{\text{ос}}$$

*Определение регулирующего объема*

Существует три способа определения регулирующего объема РЧВ:

1. Табличным методом

Часы суток	Подача, %		Поступление воды, %		Остаток в РЧВ, %
	НС I	НС II	в РЧВ	из РЧВ	
0-1	4,17	2,17	2,0	-	2,0
1-2	4,17	5,17	-	1,0	1,0
...	...	...	...	...	...
23-24	4,17	2,17			
	100	100			

$$W_{\text{рег}} = P \cdot Q_{\text{сут max}} / 100$$

2. С помощью интегральных графиков работы НС I и НС II:

$$W_{\text{рег}} = (P_1 + P_2) \cdot Q_{\text{сут max}} / 100$$

3. С помощью аналитических зависимостей

*Определение объема на собственные нужды станции:*

$$W_{\text{ос}} = (0,01 \div 0,015) Q_{\text{сут}}$$

*Определение объема на пожаротушение:*

$$W_{\text{пож}} = \frac{3 \cdot 3600}{1000} \cdot Q_{\text{пож}} + W_{\text{хоз}} - 3Q_{\text{НС I}}$$

$Q_{\text{пож}}$  – расчетный расход на тушение пожара, л/с.

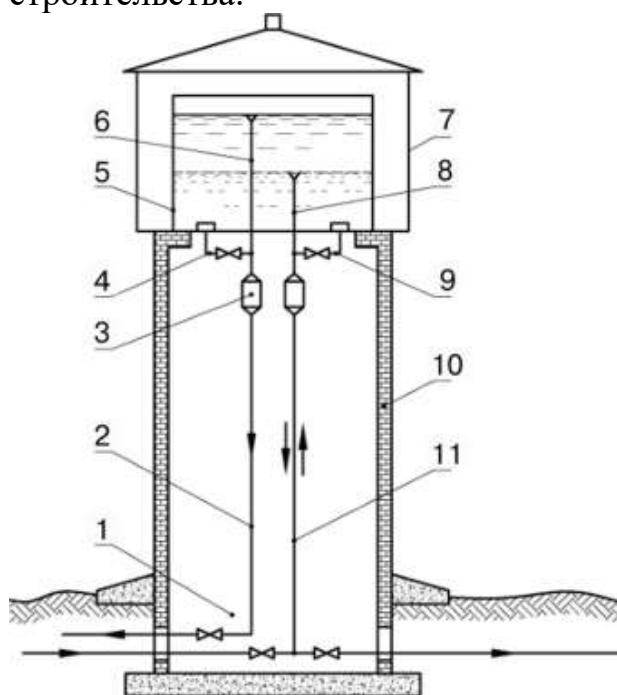
$Q_{\text{НС I}}$  – подача насосной станции I – го подъема, м<sup>3</sup>/ч.

## Устройство и конструкция водонапорной башни

Водонапорная башня (ВБ) предусмотрена для регулирования расходов и напоров в системе водоснабжения. В населенных пунктах устанавливается одна или несколько ВБ.

В ВБ хранится регулирующий объем и противопожарный запас. Необходимость в регулирующем объеме обусловлена несовпадением режимов подачи воды насосной станции II-го подъема и водопотреблением. В часы, когда подача насосной станции превышает отбор воды, ее избыток поступает в водонапорную башню. В часы, когда водопотребление превышает подачу насосной станции, вода из башни поступает потребителю. Водонапорные башни применяются в сравнительно небольших системах при больших значениях коэффициентов часовой неравномерности.

При проектировании водонапорную башню следует размещать в самой высокой точке земли, это снижает ее высоту и, тем самым, стоимость строительства.



1 — фундамент и подвальное помещение; 2 — сбросная труба; 3 — сальниковые компенсаторы; 4—труба забора воды на противопожарные нужды;

5 — бак; 6 — переливная труба; 7 — шатер; 8 — труба для забора воды из бака на хозяйственно-питьевые нужды; 9 — грязевая труба; 10 — ствол; 11 — подающе-отводящая труба

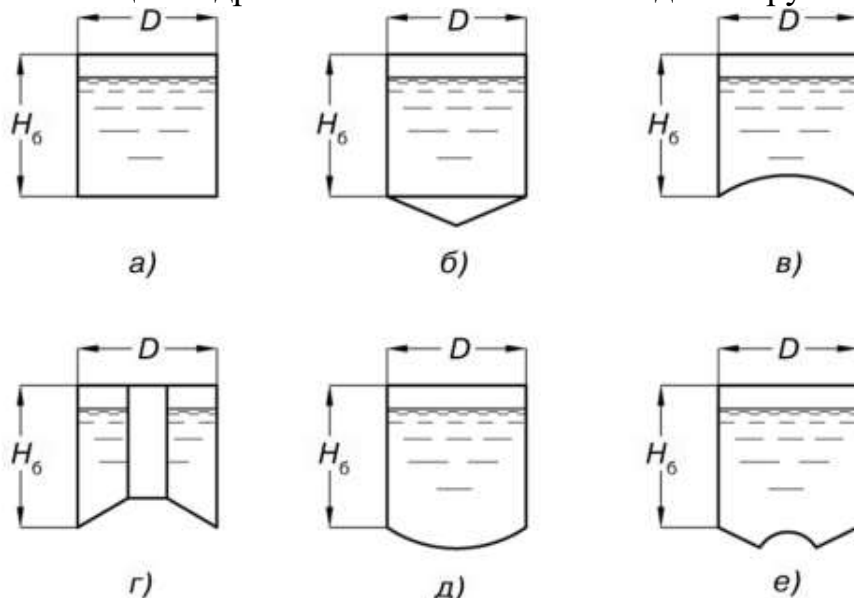
Рисунок 4.10 Схема водонапорной башни.

Ствол башен изготавливается из кирпича, монолитного или сборного железобетона.

Баки водонапорных башен изготавливают в основном из листовой стали или железобетона. Стальные баки по сравнению с железобетонными имеют сравнительно небольшую массу, не дают течи, но подвержены коррозии, поэтому их необходимо регулярно окрашивать.

Если башня расположена в районах с отрицательными температурами, то требуется устройство шатра, предотвращающего замерзание воды. Допускается устройство бесшатровой башни, но с утеплением.

Соотношение размеров цилиндрических баков выбирают с учетом технических и экономических факторов. Чем выше бак и меньше его диаметр, тем меньше размеры опорной части, но с увеличением высоты бака возрастают высота подъема воды, увеличиваются колебания напора в сети и затраты электроэнергии на подачу воды в бак. Оптимальное соотношение высоты цилиндрической части бака к его диаметру—0,6... 1.



- а — с плоским днищем:
- б — с коническим днищем:
- в — с вогнутым днищем:
- г—с шахтой в днище резервуара;
- д — с выпуклым днищем:
- е — бак системы Интце

Рисунок 4.11. Основные типы баков водонапорных башен.

### Конструирование водонапорной башни

1. Полный объем бака башни:

$$W_{\text{полн}} = W_{\text{рег}} + W_{\text{пож}}$$

2. Принимается форма бака башни.

3. задается отношение основных размеров:  $h:d$

4. Вычисляется высота противопожарной призмы

$$h_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot W_{\text{пож}}}{\pi d^2}$$

5. Диаметр подающего трубопровода определяется исходя из расхода поступающего в водонапорную сеть из башни в час максимального водопотребления, исходя из экономически выгодных скоростей;

6. Диаметр трубы для забора противопожарного расхода определяется исходя из расхода воды на тушение пожара;



7. Диаметр переливного трубопровода принимается на 2-3 сортамента меньше подводящего трубопровода, но не менее 100 мм;
8. Диаметр грязевой трубы принимается в пределах 100-200 мм, в зависимости от емкости;
9. Расстояние между шатром и баком должно быть не менее 0,7 м;
10. Высота столба определяется на основании гидравлического расчета сети.

#### 5. Расчет вместимости водонапорной башни

##### Определение регулирующего объема

Существует три способа определения регулирующего объема бака башни:

##### 1. Табличным методом

Часы суток	Подача НС II, %	Водопотребление, %	Поступление воды, %		Остаток в баке, %
			в бак	из бака	

$$W_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{сут max}} + Q_{\text{с max}}}{100}$$

$Q_{\text{с max}}$  - максимальный остаток воды в баке, %

##### 2. При помощи интегрального графика

Необходимо построить интегральный график водопотребления

$$W_{\text{рег}} = \frac{P_1 + P_2}{100} Q_{\text{сут max}}$$

$P_1$  – максимальное превышение НС II над водопотреблением, %

$P_2$  – максимальное превышение водопотребления над НС II, %

##### 3. Аналитическая зависимость

$$W_{\text{рег}} = Q_{\text{сут max}} \left[ 1 - k_{\text{н}} + (k_{\text{ч}} - 1) \frac{k_{\text{н}}^{k_{\text{ч}}}}{k_{\text{ч}}^{k_{\text{ч}} - 1}} \right]$$

$$k_{\text{н}} = \frac{q_{\text{НС}}}{q_{\text{ч ср}}}$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{q_{\text{ч max}}}{q_{\text{ч ср}}}$$

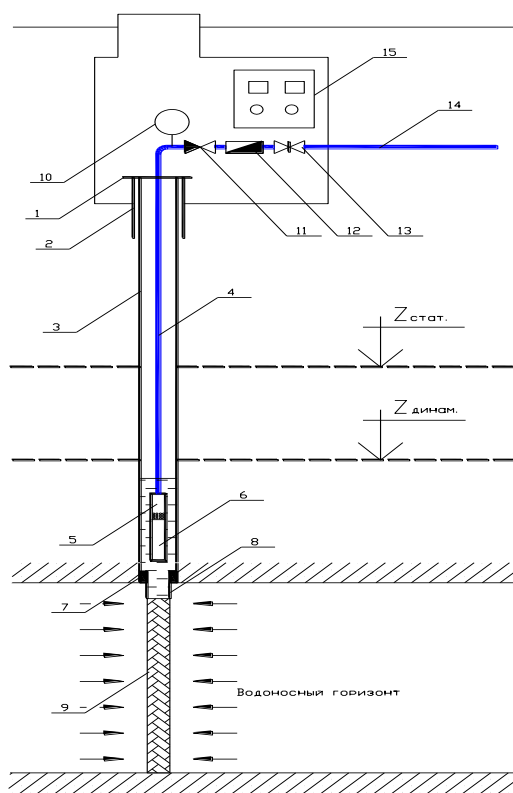
## Тема 5 Водозаборные сооружения систем сельскохозяйственного водоснабжения

*Подземные воды, как источник водоснабжения. Типы сооружений для забора подземных вод. Приток воды к колодцам в напорном и безнапорном водоносных пластах. Шахтные колодцы. Горизонтальные водозаборы. Лучевые водозаборы. Каптажные камеры. Сооружения для забора воды из поверхностных источников. Поверхностные источники водоснабжения. Общие условия добывания воды из рек. Выбор местоположения и типа*

*водоприемника. Оборудование берегового водоприемника. Водозабор из водохранилищ и озер*

*Водозаборные сооружения из подземных источников.* Для забора подземных вод в системах коммунального, производственного и сельскохозяйственного водоснабжения применяют водозаборные скважины (трубчатые колодцы), водозаборные шахтные колодцы, лучевые водозаборы, сооружения для каптажа ключей и другие.

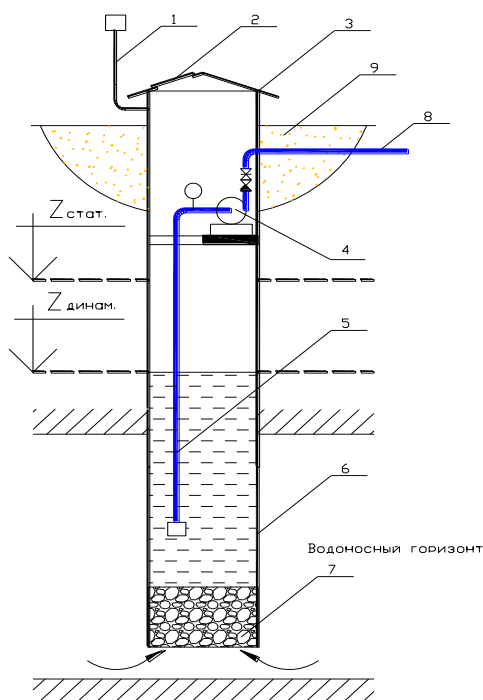
*Водозаборные скважины.* Особенностью этих сооружений является небольшой диаметр скважины при большой глубине, которая может достигать нескольких сот метров и более. Водозаборные скважины или как их часто называют трубчатые колодцы получили широкое распространение в системах водоснабжения различного назначения.



1 – оголовок; 2 – защитная обсадная труба; 3 – эксплуатационная обсадная труба;  
4 – водоподъемная труба; 5 – погружной насос; 6 – электродвигатель насоса;  
7- сальник; 8 – надфильтровая труба; 9 – фильтр; 10 – манометр; 11 – обратный клапан; 12 – водомер (счетчик воды); 13 – задвижка; 14 – напорный трубопровод; 15 – электрический щит управления.  
Рисунок 5.1. Схема водозаборной скважины (трубчатого колодца).

*Водозаборные шахтные колодцы.* Шахтные колодцы применяют для забора сравнительно небольших количеств подземных вод залегающих на глубине до 30 метров из водоносных горизонтов небольшой мощности. В отличие от трубчатых колодцев диаметр шахтных составляет 1000...2000 мм, а глубина

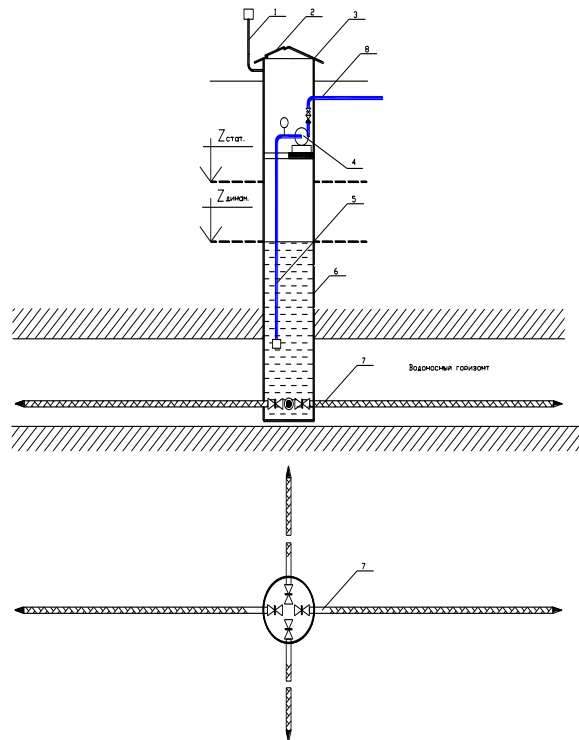
редко превышает 30 м. Традиционно они широко распространены в сельской местности.



1 – вентиляционная труба; 2 – люк; 3 – павильон; 4 – насос; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – ствол колодца; 7 – гравийный фильтр; 8 – напорный трубопровод; 9 – «замок» из утрамбованной глины.

Рисунок 5.2. Схема водозаборного шахтного колодца.

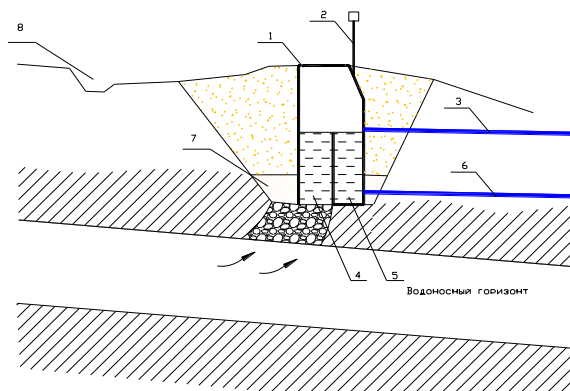
*Лучевые водозаборы.* Лучевые водозаборы представляют собой своеобразную комбинацию трубчатых и шахтных колодцев в которой трубчатые колодцы (лучи) расположены горизонтально или наклонно, применяют их для захвата воды с глубины до 20 м.



1 – вентиляционная труба; 2 – люк; 3 – павильон; 4 – насос; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – ствол колодца; 7 – лучи (дрены); 8 – напорный трубопровод.

Рисунок 5.3 Схема лучевого водозабора.

*Сооружения для каптажа источников (родников).* Каптаж источников (родников) представляет собой сооружение для захвата подземных вод, выходящих на дневную поверхность. Применяются такие сооружения для систем водоснабжения небольших объектов. Каптаж источников во избежание их загрязнения осуществляется до их выхода на поверхность.



1 – каптажная камера; 2 – вентиляционная труба; 3 – переливная труба; 4 – отстойная часть камеры; 5 – водозаборная часть камеры; 6 – водоотводящая труба; 7 – утрамбованный глинистый грунт; 8 – нагорная канава.

Рисунок 5.3 Схема каптажной камеры.

### **Сооружения для забора воды из поверхностного источника**

Вода из поверхностных источников водоснабжения в основном забирается на технологические нужды промышленных предприятий, где она используется как растворитель для приготовления растворов, например в гальванике, в

покрасочном производстве. Вода широко применяется для охлаждения технологического оборудования или как теплоноситель в теплоснабжении. Область использования воды в промышленном производстве весьма широка. Исходя из гидрологических условий, водозаборные сооружения располагаются в таких местах, где не осаждаются наносы и большая глубина реки, то есть у вогнутых берегов, при этом учитывается, что вогнутые берега реки подвержены размыву и разрушению, а прямые участки ненадежны из-за образования на них перекатов. Выбираемый участок русла не должен располагаться на перекате и не должен иметь резких местных сужений, перепадов, быстрин.

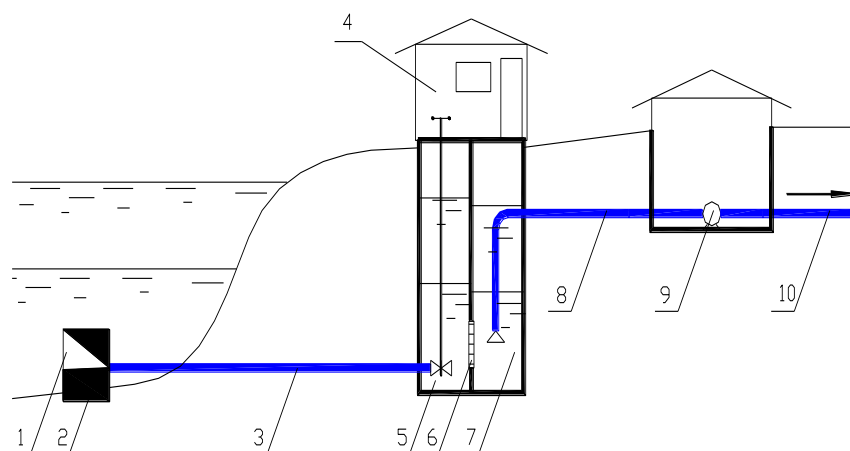
Водозаборные сооружения нельзя располагать у выпуклого берега, где происходит осаждение наносов, в местах возможного образования шуги и подводного льда, в акватории движения судов, плотов, в створе движения наносов, в зонах зимовья рыбы и т.д.

У места водозабора должны быть спокойные и благоприятные топографические формы берега без крутых косоголов, заливаемых пойм, оврагов и т.д. Водозаборы нельзя располагать в зоне затопления наземных сооружений паводковыми водами, в сейсмических и других районах, где возможны оползневые явления, в результате которых происходит разрушение сооружений.

Большое значение при выборе места расположения водозабора имеют санитарные условия. Место забора воды для водопровода питьевого назначения должно находиться выше по течению реки от населенных пунктов, животноводческих ферм, выпусков сточных вод, стоянок судов и барж.

#### **Русловой водозабор раздельного типа с самотечными линиями**

Условия применения: пологий берег, сложенный слабыми породами, отсутствие у берега достаточных глубин, широкая пойма. Насосная станция первого подъема отнесена на возвышенное место для предотвращения затопления.

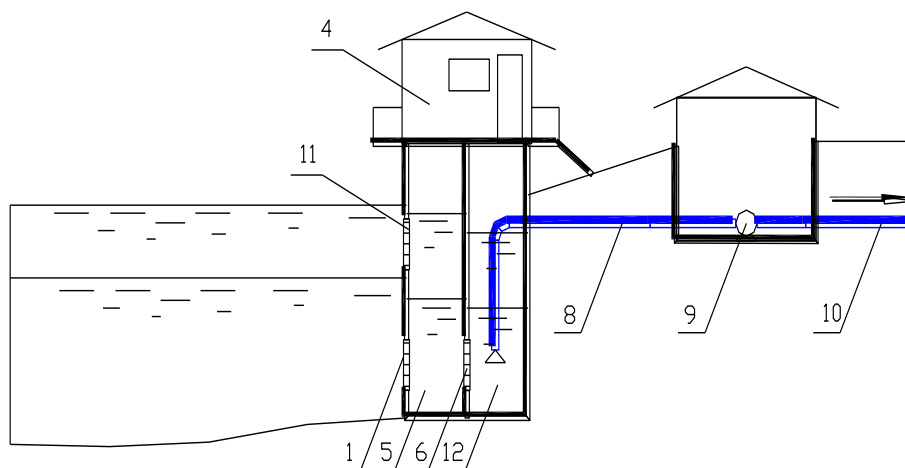


1 – водоприемные окна с сороудерживающими решетками; 2 – оголовок; 3 – самотечная линия; 4 – береговой колодец; 5 – водоприемная камера

берегового колодца; 6 – сетка; 7 – всасывающая камера берегового колодца; 8 – всасывающие трубопроводы насосов первого подъема; 9 – насосы первого подъема; 10 – водоводы первого подъема.

Рисунок 5.5 Русловой водозабор раздельного типа с самотечными линиями  
**Береговой водозабор раздельного типа**

Условия применения: высокий крутой берег, наличие достаточных глубин у берега, амплитуда колебания уровней воды до 10 м, небольшая производительность, насосы с высотой всасывания более 3...4 м



1 – водоприемные окна с сороудерживающими решетками; 2 – оголовок; 3 – самотечная линия; 4 – береговой колодец; 5 – водоприемная камера берегового колодца; 6 – сетка; 8 – всасывающие трубопроводы насосов первого подъема; 9 – насосы первого подъема; 10 – водоводы первого подъема. 11 – верхние водоприемные окна; 12 – всасывающая камера берегового колодца;

Рисунок 5.6 Береговой водозабор раздельного типа.

### Тема 6 Сельскохозяйственное обводнение территории

*Основные понятия и задачи обводнения. Формы обводнения. Центры обводнения. Обводнение обширных территорий.*

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

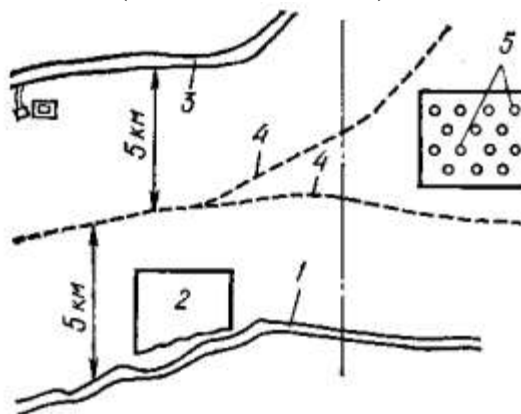
Сельскохозяйственное обводнение проводят в основном для удовлетворения потребностей в воде сельского хозяйства. Однако в большинстве случаев экономически целесообразно одновременно с этим обеспечивать водой промышленные предприятия и железнодорожные станции, находящиеся на обводняемой территории.

Сельскохозяйственное обводнение должно удовлетворять потребности в воде на хозяйственно-питьевые, коммунальные, культурно-бытовые и противопожарные нужды; водопой животных на пастбищах и

скотопригонных трактах; полив зеленых насаждений и огородов в пределах населенных пунктов.

По степени удовлетворения потребностей в воде всех видов водопотребителей следует различать три основных формы обводнения территории: экстенсивное, неполное или ограниченное, и полное.

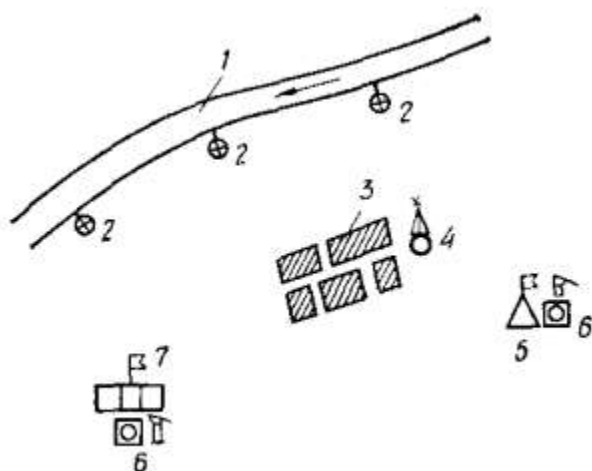
При экстенсивном обводнении территории осуществляется только строительство сети водоисточников – прудов, колодцев, каналов и т.д. Предполагается обводнение каждым водоисточником зоны, охватываемой принятым радиусом обводнения (обычно 5-10 км).



1 - река; 2 – населенный пункт, находящийся в пятикилометровой полосе вдоль реки; 3 – обводнительный канал; 4 – границы условно обводняемой зоны; 5 – шахтные колодцы.

Рисунок 6.1 Схема экстенсивного обводнения, осуществляемого без учета перспектив развития полного обводнения

При неполном или ограниченном обводнении территории строят как сеть водоситочников, так и дополнительные сооружения и устройства, облегчающие или создающие возможность использования этой сети для водоснабжения.



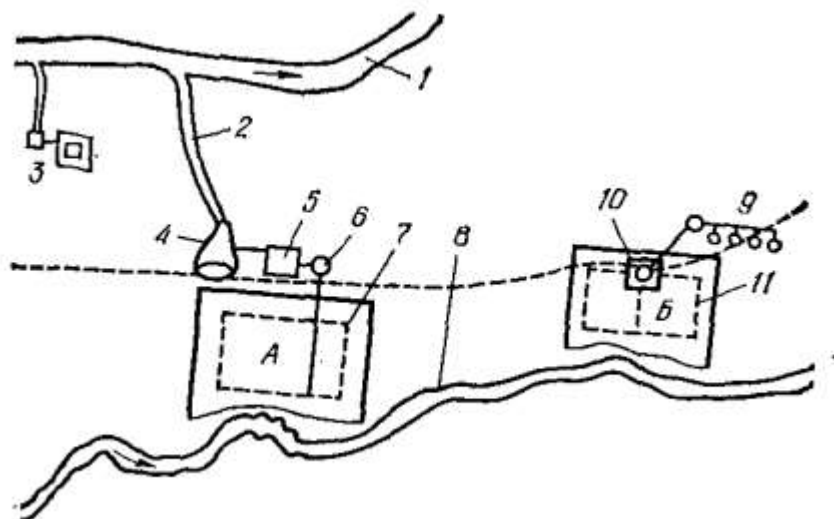
1 - канал; 2 – водозаборные сооружения; 3 – населенный пункт; 4 – буровая скважина с ветронасосной установкой; 5 – водопой скота; 6 – шахтный колодец; 7 – животноводческая ферма.

Рисунок 6.2 Схема неполного обводнения

Полное обводнение удовлетворяет все потребности в воде



потребителей, находящихся на обводняемой территории.



1 – магистральный обводнительный канал; 2 – отводной канал; 3 – водопойный пункт; 4 – водохранилище; 5 – водоочистные сооружения; 6 – напорный резервуар; 7 – разводящая сеть труб; 8 – река; 9 – группа колодцев; 10 – водонапорный резервуар с водозабором; 11 – разводящая сеть труб в населенном пункте Б.

Рисунок 6.3 Схема неполного обводнения, осуществляемого как первая очередь полного.

#### **Направления и очередность обводнительных мероприятий.**

Направления и очередность обводнительных мероприятий определяются прежде всего интересами водопотребителей. Конечной целью обводнения являются непосредственно водоснабжение. Пути достижения этой цели: 1) полное обводнение. 2) осуществляется экстенсивное или ограниченное обводнение с дальнейшим переходом на полное по частям. 3) экстенсивное обводнение и повышение общей обводнительной системы без перспективного перехода на полное. При устройстве водопровода все колодца должны быть ликвидированы или замещены группой колодцев за пределами территории.

Основная задача обводнения заключается в обеспечении водой всех центров водопотребления, которые являются в данном случае также центрами обводнения. Центры обводнения могут быть первичными и зональными. К первичным относятся населенные пункты, фермы, водопойные пункты, полевые станы, кошары, базы и т. п. В каждом из них непосредственно снабжаются водой все потребители, находящиеся в обслуживаемых ими районах водоснабжения. Размещение первичных центров обводнения и районов водоснабжения определяется потребностями водопотребителей, технологией сельскохозяйственного производства и т. д. Одновременно следует учитывать возможность получения в проектируемых центрах обводнения достаточного количества воды надлежащего качества. Эта возможность определяется технико-экономическими соображениями и местными природными условиями. В тех случаях, когда на территории первичного района водоснабжения нет водных ресурсов или их по тем или

иным соображениям нельзя использовать в качестве источника водоснабжения, группа первичных центров обводнения может получать воду из зонального центра обводнения. Общая территория всех первичных районов водоснабжения, получающих воду из одного зонального центра обводнения, называется зоной обводнения этого центра. Из зонального центра в первичные центры обводнения вода может быть подана, в зависимости от местных условий, по каналам, водоводами, подвозкой в автоцистернах или бочках и т. п. Размещение зональных центров обводнения определяется на основе технико-экономических соображений (метод наимыгоднейшей централизации), а также в зависимости от местных естественноисторических условий.

В ряде случаев обводнительные мероприятия проводят на обширных территориях, занимаемых не одним, а несколькими землепользователями. Обводнение всей территории может осуществляться по одной из систем: децентрализованной, централизованной и комбинированной. Наимыгоднейшая система должна быть выбрана на основе технико-экономического сравнения ряда вариантов обводнения, составленных как по системам с различной степенью централизации, так и с забором воды из различных источников при разных методах ее транспортирования (трубы, каналы).

Таким образом, обводнение обширной территории — сложная водохозяйственная проблема, при решении которой возникает необходимость согласовывать задачи обводнения с интересами других отраслей водного хозяйства. Это достигается при выполнении следующих работ: подсчете водопотребности, когда учитывают потребность в воде не только водоснабжения, но и орошения, водного транспорта и т. д.; составлении водохозяйственного баланса; определении возможностей использования водоисточников; решении вопросов транспортирования воды (каналы, трубопроводы); разрешении вопросов энергетики систем обводнения и орошения.

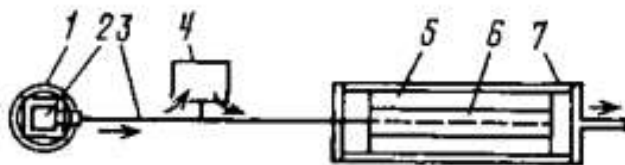
## **Тема 7 Водоснабжение пастбищ**

*Устройство и оборудование водопойных пунктов. Их размещение на пастбище. Определение потребности в воде. Резервуары водопойные площадки. Полевое водоснабжение*

Обводнение пастбищ заключается в снабжении водой животноводческих центров, в устройстве и эксплуатации водопойных пунктов.

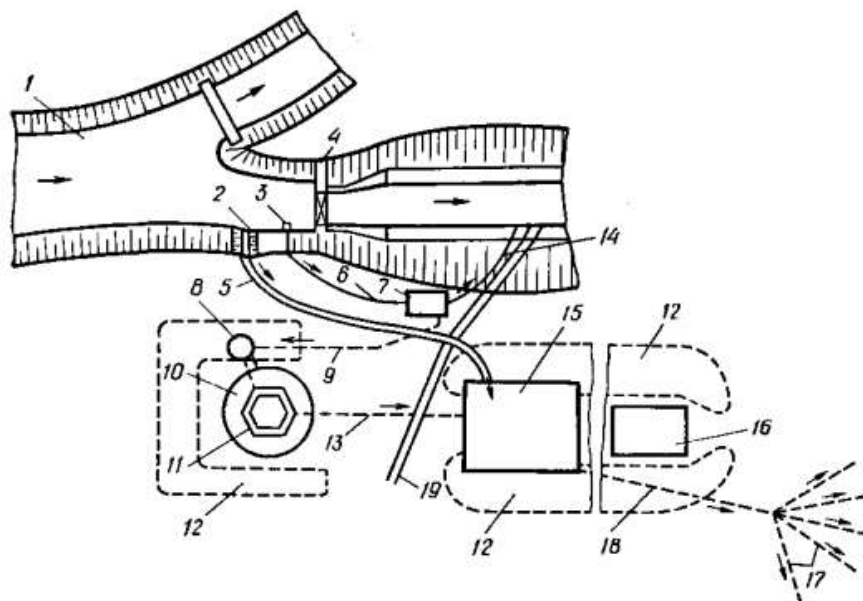
В состав благоустроенного водопойного пункта входят: водозаборное сооружение (водоисточник), водоподъемная установка, водоочистные сооружения, резервуар и водопойная площадка. Водоподъемная установка необходима лишь в тех случаях, когда невозможна подача воды из водоисточника самотеком на водопойную площадку. Водоочистные устройства (простейшего типа) обязательны при неудовлетворительном качестве воды в водоисточнике. Основное количество воды в водопойном пункте расходуется в течение небольшого отрезка времени, отводимого на

водопой. Водопойные пункты могут быть расположены у шахтных и трубчатых колодцев, у пруда и канала. Конструктивная схема водопойного пункта мало зависит от вида животных, пользующихся им. Изменяются лишь размеры и форма конструкций водопойных площадок.



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

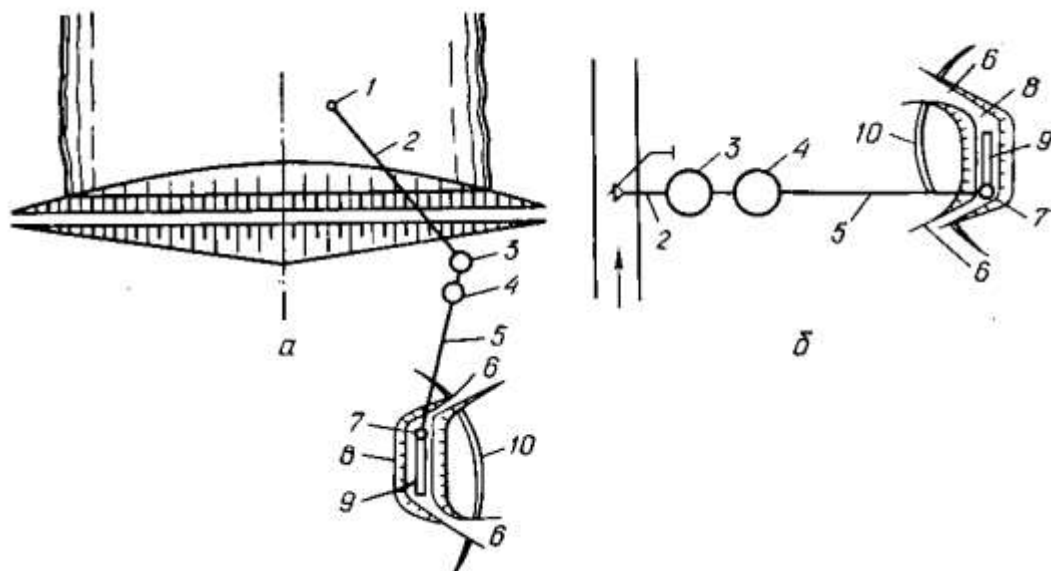
Рисунок 7.1 План водопойного пункта у шахтного колодца



1 — канал ; 2 — водозабор из канала для подъема воды в купальный бассейн; 3 — водозабор к тарану ; 4 — перегородивающее устройство в канале ; 5 — лоток в купальный бассейн ; 6 — труба из канала в таран; 7 — гидравлический таран; 8 — резервуар ; 9 — труба от канала к резервуару; 10 — водопойная площадка; 11 — корыта; 12 — лесопосадки; 13 — труба, отводящая излишнюю воду в купальный бассейн; 14 — труба для отвода сбросной воды из тарана в канал; 15 — купальный бассейн; 16 — стойбище; 17 — инфильтрационные борозды; 18 — сброс воды из купального бассейна; 19 — канава для отвода от купальни поверхностного стока с водопойной площадки.

Рисунок 7.2 План водопойного пункта с купальной и стойбищем для крупного рогатого скота у канала.

Поверхность водопойных площадок планируют с уклоном в сторону водоотводных канавок и закрепляют сверху покрытием из местных материалов. Водопойные площадки делают в виде вытянутого прямоугольника или круглые. Форму площадки выбирают такую, при которой объем планировочных и земляных работ будет в данных условиях наименьшим.



1 - водоприемник; 2 и 5 — самотечные линии; 3 — колодец-фильтр; 4 — резервуар чистой воды; 6 — дороги; 7 — смотровой колодец; 8 — водопойная площадка; 9 — водопойные корыта; 10 — нагорная канава.  
Рисунок 7.3 Водопойный пункт у пруда (а) и канала (б)

### Тема 8 Улучшение качества воды

*Показатели качества воды и требования к качеству. Методы улучшения качества воды. Технологическая схема очистки воды, фильтры, осветлители с взвешенным осадком, контактные осветлители.*

*Безреагентные фильтры. Обеззараживание вода озонированием и бактерицидными помпами. Опреснение и очистка воды от нитратов.*

Природная вода представляет собой многокомпонентную систему, в состав которой входят: газы, органические и минеральные вещества, находящиеся в истинно растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии, а также микроорганизмы.

1. Содержание в воде кислорода зависит от температуры и давления и находится в чистом виде в пределах до 14,6 мг/л. Чем больше  $t$ , тем меньше растворенного  $O_2$  в воде. Уменьшению содержания  $O_2$  в воде способствует коррозия труб.

2. Угольная кислота, растворенная в воде встречается в виде молекулы  $H_2CO_3$ , растворенного газа  $CO_2$  в виде гидрокарбонатных  $HCO_3^-$  и карбонатных  $CO_3^{2-}$ . Угольная кислота, растворенная в воде состоит из свободной угольной кислоты  $CO_2$  и связанной углекислоты  $Ca(HCO_3)_2$ ,  $CaCO_3$ . Чем меньше pH, тем больше в воде содержания  $CO_2$  и угольной кислоты в виде  $H_2CO_3$ . В поверхностных водах содержание угольной к-ты определяется растворимостью углекислого газа из воздуха и составляет до 20 мг/л. В подземных водах свободная угольная к-та появляется в результате процессов разложения органических соединений. Концентрация в подземных водах составляет до 2200 мг/л.

3. Содержание сероводорода  $H_2S$  встречается в подземных

источниках, образуется при разложении минеральных солей, т.е. гипса, серного колчедана.  $H_2S$  может появиться и в поверхностных источниках в результате протекания гнилостных процессов или в результате сброса в водоем неочищенных СВ. В зависимости от рН  $H_2S$  может быть в виде растворимого газа  $H_2S$ , гидросульфид ионов  $HS^-$  или в виде сульфит ионов  $S^{2-}$ .

4. Азот появляется в природных водах в результате разложения органических соединений, но в очень малых количествах. Растворимость азота в воде зависит от  $t$ , но она меньше, чем растворимость  $O_2$ .

5. Метан  $CH_4$  встречается чаще в подземных водах в количестве до 30 мг/л. Образуется в результате разложения клетчатки под воздействием микробов.

6. Взвешенные вещества могут проявляться в виде грубодисперсных частиц. Образуются в результате вымывания из пород глинистых частиц, гниения и разложения сине-зеленых водорослей в результате образуется соединения, которые называются коллоидами. По своему гранулометрическому составу взвешенные вещества различаются и характеризуются гидравлической крупностью  $U$ , мм/с – скорость осаждения частиц взвеси.

7. Содержание органических в-в в воде представляется в виде почвенного и торфяного гумуса – это органические вещества природного происхождения.

8. Ионы, содержащиеся в воде в большом количестве в виде катионов:  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ; и анионов  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^{2-}$ ,  $S^{2-}$  и др.

9. Содержание солей (минерализация природных вод). Общая минерализация – сумма катионов, анионов (мг/л). По солесодержанию воды: пресные (до 1 мг/л), минерализованные (1-25 мг/л), с морской соленостью (25-50 мг/л), рассолы (более 50 мг/л). На практике для проверки минерализации составляют балансовое уравнение: сумма концентраций катионов растворимых в воде должна быть равна сумме концентраций растворенных в воде анионов.

$$\frac{[Ca^{2+}]}{20,04} + \frac{[Mg^{2+}]}{12,16} + \frac{[Na^+]}{23} + \frac{[K^+]}{39} + \frac{[Fe^{2+}]}{28} = \frac{[SO_4^{2-}]}{48,03} + \frac{[Cl^-]}{35,46} + \frac{[HCO_3^-]}{61,03} + \frac{[SiO_3^{2-}]}{38,06} + \frac{[NO_3^-]}{62}$$

10. Содержание железа в поверхностных водах в форме  $Fe^{3+}$  в количестве 0,3-0,5 мг/л, а в подземных водах  $Fe^{2+}$  в количестве от 3 до 20 мг/л.

11. Содержание токсических и радиоактивных в-в характеризуются следующим выражением:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

12. где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – содержание токсических или радиоактивных в-в в воде, мг/л; ПДК – предельно допустимая концентрация в-в.

13. Активная реакция воды  $pH = -\lg[H^+]$ . Если  $pH = 1-3$  – кислые природные воды, 4-6 – слабокислые природные воды, 7 – нейтральные, 8-10 –

слабощелочные, 11-14 – щелочные.

14. 14 Азотсодержащие в-ва – это соли аммония  $\text{NH}_4$ , нитриты, нитраты. Образуются в оде в результате восстановления нитритов и нитратов гумусовыми веществами, железом или в результате разложения белковых соединений, вносимых со СВ в водоем. Если в питьевой воде больше азотсодержащих в-в 50 мг/л, то это приводит к нарушению окислительной функции человека.

15. 15 Содержание в воде кремния в виде кремниевой кислоты и поликремниевой кислоты.

16. 16 Содержание в воде йода и фтора должно быть:  $\text{I} \geq 10^{-8}$  мг/л,  $\text{F} \approx 1$  мг/л – во избежание заболеваний щитовидной железы.

### **Требования к качеству природных вод, используемых для х-п водоснабжения**

Качество х-п воды определяется в соответствии с СанПиН 10-124РБ-99 «Вода питьевая». Вода природная для х-п целей должна быть безопасна в эпидемическом отношении. В ней не должны присутствовать болезнетворные бактерии, вирусы и простейшие микроорганизмы. Вода должна соответствовать нормативам по микробиологическим, паразитологическим и санитарно-токсикологическим показателям. Они характеризуют нормативы для веществ, которые встречаются в природных водах. К воде в процессе ее обработки добавляют реагенты: коагулянты, флокулянты, а также в процессе сброса промывных и других видов СВ.

Органолептические показатели характеризуют нормативы для веществ, встречающихся в природных водах, добавляемых в виде реагентов к обрабатываемой природной воде и поступающей со СВ п/п. В таблице 3 СанПиНа приведены ПДК вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки.

#### **Методы улучшения качества воды**

#### **Классификация методов обработки воды. Критерий выбора методов очистки.**

Методы водоподготовки классифицируются на следующие основные группы:

1. Характеризуют улучшение органолептических свойств воды: - осветление, снижение мутности; - обесцвечивание, снижение Ц до 20 град; - дезодорация, удаление запахов до 2х баллов.

2. Обеспечение эпидемиологической безопасности: - хлорирование; - озонирование; - УФ-облучение; - обеззараживание с помощью бактерицидных ламп; - смешанные.

3. Кондиционирование минерального состава: - фторирование или обесфторивание; - обезжелезивание; - деманганация (удаление  $\text{Mn}^{2+}$ ); умягчение или обессоливание.

Метод обработки воды выбирают на основании изучения состава и свойств воды в источнике и сопоставление с требованиями СН 4.01.01-2019 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

К основным технологическим приемам обработки вод из

поверхностных источников относятся:

- микрофильтрация – пропускание воды через микрофильтры или сетки для удаления грубых примесей, планктона;

- обработка окислителем (хлор, и его соединения, озон и др.) для повышения эффективности последующей очистки, обработка коагулянтом (например, сульфатом алюминия), вызывающим укрупнение частиц загрязнений и ускоренное выпадение их в виде осадка, обработка другими реагентами;

- отстаивание – очистка воды в отстойниках, при этом происходит выпадение взвешенных веществ с образованием осадка;

- фильтрование – удаление из воды нерастворенных примесей путем пропускания её через зернистые или пористые среды;

- обеззараживание (дезинфекция) – уничтожение в воде возбудителей инфекционных заболеваний химическими (введением хлора и его производных, озона и др.) и физическими (обработка ультрафиолетовыми лучами, ультразвуком и др.) способами.

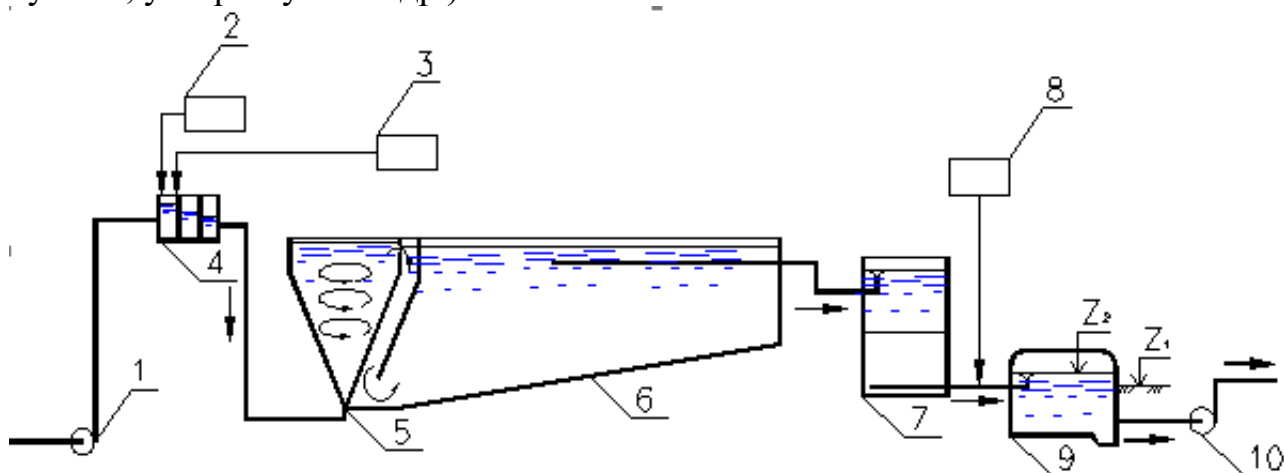


Рисунок 8.1 Технологическая схема двухступенчатого реагентного осветления и обесцвечивания воды с горизонтальными отстойниками.

1 – насосы 1-го подъема, 2 – цех реагентного хозяйства, 3 – ввод окислителя, 4 – смеситель, 5 – камера хлопьеобразования, 6 – горизонтальный отстойник, 7 – скорый безнапорный фильтр, 8 – ввод дезинфектанта, 9 – резервуары чистой воды, 10 – насосы 2-го подъема.

## II Раздел Насосные станции

### Тема 9 Общие сведения о насосах и насосных станциях

*Краткий исторический обзор развития насосостроения. Определение насосов и их классификация. Понятия: насосная установка, насосная станция, энергетический узел машинного водоподъема. Технические параметры, характеризующие работу насосов: подача, напор, мощность, полезная мощность, коэффициент полезного действия, высота всасывания (геометрическая, вакуумметрическая)*

#### Классификация насосов

**Насосом** называется гидравлическая машина для создания потока жидкой среды.

Насосы по принципу действия бывают динамические и объемные.

К динамическим относятся такие насосы, в которых жидкость движется под силовым воздействием в камере, имеющей постоянное сообщение с входным и выходным патрубками.

По виду силового воздействия на жидкость динамические насосы делятся на лопастные насосы и насосы трения.

Лопастные насосы осуществляют преобразование энергии за счет динамического взаимодействия между потоком жидкости и лопастями вращающегося рабочего колеса, которое является их рабочим органом. По виду рабочих органов лопастные насосы подразделяются на центробежные, диагональные и осевые.

Насосы трения создают поток жидкой среды за счет сцепления частиц жидкости с рабочим органом или рабочим телом насоса. По виду рабочего органа (тела) они подразделяются на вихревые, шнековые, вибрационные, струйные и эрлифты.

К объемным относятся насосы, в которых жидкость перемещается путем периодического изменения объема заполняемой ею камеры, попеременно сообщаемой с входным и выходным патрубками.

По форме движения рабочих органов объемные насосы делятся на возвратно-поступательные и роторные (вращательные).

Возвратно-поступательные насосы по виду рабочих органов подразделяются на поршневые, плунжерные, диафрагменные, шланговые.

Роторные насосы по виду рабочих органов подразделяются на зубчатые, винтовые, шибберные, роторно-поршневые.

### **Технические параметры насосов**

Работу насоса принято характеризовать техническими параметрами, к числу которых относятся: подача, напор, мощность, коэффициент полезного действия и высота всасывания.

*Подача насоса (Q)* – это объем (масса) жидкой среды, подаваемой насосом в единицу времени. Размерность: м<sup>3</sup>/с; м<sup>3</sup>/ч; л/с; м<sup>3</sup>/мин.

*Напор насоса (H)* – это приращение удельной энергии потока жидкой среды при прохождении ее через рабочие органы насоса. Размерность: м (водного столба).

*Мощность насоса (N)* – это мощность, потребляемая насосом для создания определенных подачи (Q) и напора (H). Размерность: Вт (кВт).

*Полезная мощность насоса (N<sub>п</sub>)* – это мощность, сообщаемая насосом перекачиваемой жидкой среде. Размерность: Вт (кВт).

*Коэффициент полезного действия насоса (η)* – это отношение полезной мощности к мощности насоса. Размерность: доли единицы, проценты.

*Геометрическая высота всасывания насоса* – это разность отметок оси насоса и свободной поверхности перекачиваемой среды в источнике.

*Вакууметрическая высота всасывания насоса* – это разность атмосферного и полного вакууметрического давления на входе в насос, выраженная в метрах столба жидкости.

Допустимая геометрическая высота всасывания насоса – это такая



геометрическая высота всасывания, при которой исключается возникновение явления кавитации в насосе.

## **Тема 10 Центробежные насосы**

*Принцип работы и основные схемы центробежных насосов. Геометрические параметры рабочего колеса. Классификация центробежных насосов.*

*Движение жидкой среды в рабочем колесе центробежного насоса.*

*Параллелограммы и треугольники скоростей. Основное уравнение работы центробежного насоса (уравнение Л.Эйлера). Влияние угла выхода потока из рабочего колеса насоса на его напор. Формы лопаток рабочего колеса насоса. Явление кавитации в насосах. Подобие насосов и формулы пересчета основных технических параметров. Коэффициент быстроходности насосов.*

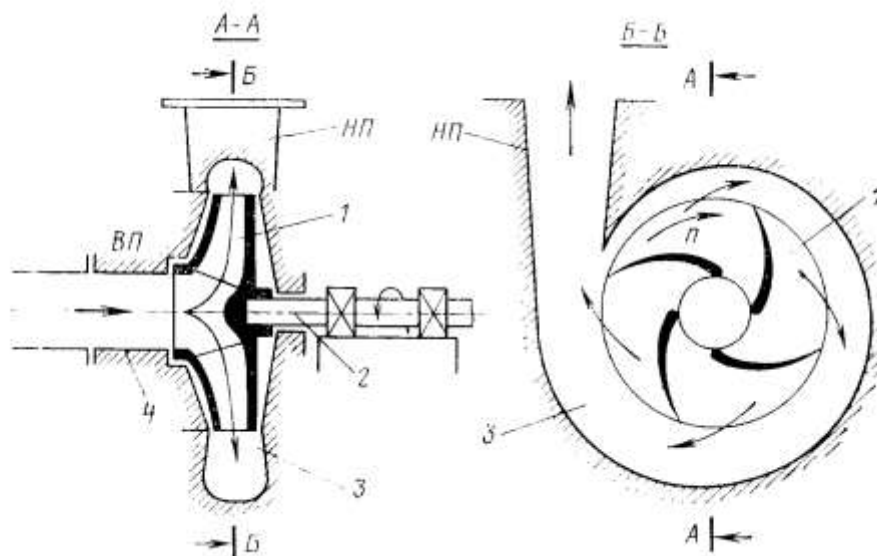
*Характеристики насосов (теоретические, действительные, графические, аналитические). Влияние изменения частоты вращения рабочего колеса насоса на его характеристики. Влияние срезки (обточки) рабочего колеса на его характеристики. Сводные графики полей  $Q$ - $H$  насосов. Работа насосов в системе трубопроводов. Характеристика трубопровода (сети трубопроводов). Подбор насоса. Два метода регулирования подачи центробежных насосов. Совместная работа группы центробежных насосов при их параллельном включении. Совместная работа группы центробежных насосов при их последовательном включении. Насосы, применяемые в области мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении*

### **Схема и принцип работы центробежного насоса**

Наиболее широкое применение в системах водоснабжения и водоотведения, а также в области мелиорации получили центробежные насосы. Это объясняется простотой конструкции, широким диапазоном подачи и напора, высоким КПД и удобством эксплуатации.

В центробежных насосах передача энергии перекачиваемой жидкой среде осуществляется за счет взаимодействия лопаток рабочего колеса с потоком.

Центробежный насос состоит из рабочего колеса 1 с криволинейными лопастями, насаженного на вал 2, и корпуса 3, в котором располагается рабочее колесо. Жидкость подается в насос через сужающийся входной патрубок 4 (конфузор) к центральной части рабочего колеса и выбрасывается из него в камеру корпуса, имеющего спиральную форму, и переходящую в расширяющийся напорный патрубок 5 (диффузор).



Рабочее колесо вращается по часовой стрелке, при этом жидкость увлекается лопастями и отбрасывается под действием центробежной силы к периферии. Динамическое воздействие лопастей на поток приводит к увеличению полной энергии жидкости в напорном патрубке по сравнению с полной энергией во всасывающей трубке, то есть, к созданию напора. Чем больше частота вращения рабочего колеса, тем больше создаваемый напор.

### Классификация центробежных насосов

Центробежные насосы классифицируются по следующим признакам:

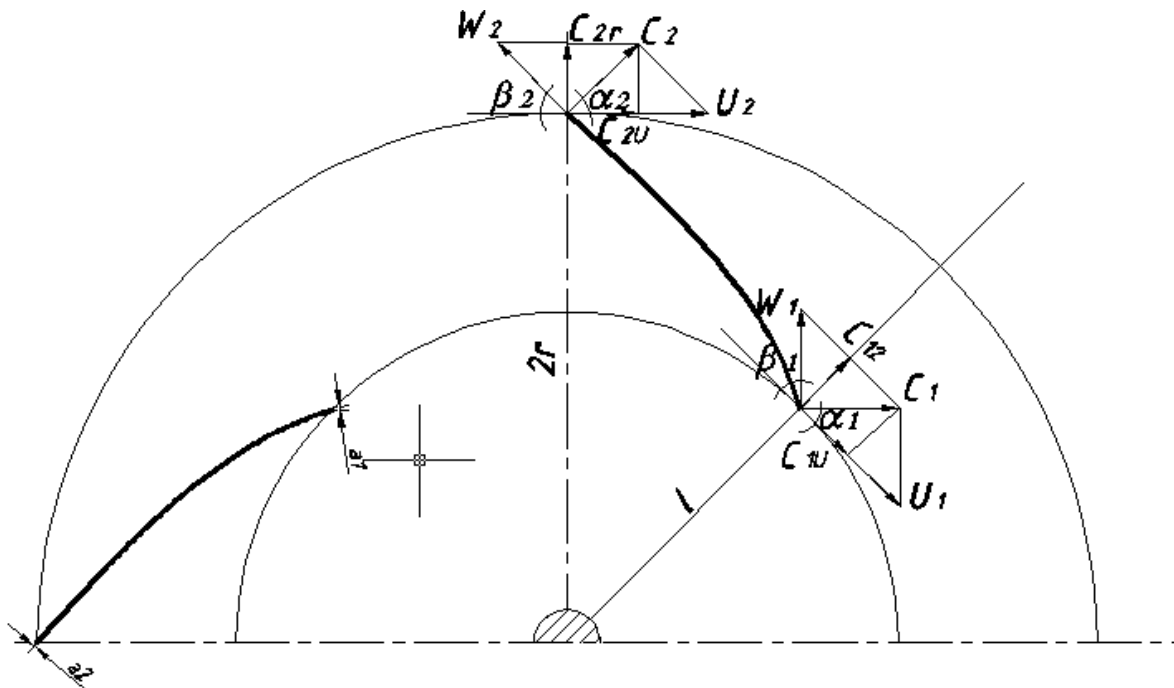
1. По числу ступеней (рабочих колес) – на одноступенчатые и многоступенчатые;
2. По числу сторон подвода жидкости к рабочему колесу – с односторонним входом и с двухсторонним входом;
3. По создаваемому напору – на низконапорные ( $H < 20\text{м}$ ), средненапорные ( $H = 20 \dots 60\text{м}$ ), и высоконапорные ( $H > 60\text{м}$ );
4. По коэффициенту быстроходности – на тихоходные ( $n_s = 50 \dots 80$ ), нормальной быстроходности ( $n_s = 80 \dots 150$ ), и быстроходные ( $n_s > 150$ );
5. По роду перекачиваемой жидкости – на насосы общего назначения (чистая неагрессивная жидкость с температурой до  $105^\circ\text{C}$ ), для сточных вод (жидкость с механическими включениями и температурой до  $100^\circ\text{C}$ ), теплофикационные (чистая неагрессивная жидкость с температурой выше  $105^\circ\text{C}$ ), химические (для перекачивания агрессивных жидкостей), песковые (для подачи пескопульпы), грунтовые (для перекачивания гидромассы из размельченного грунта, горных пород, золы, шлака);
6. По расположению вала – на горизонтальные и вертикальные;
7. По условиям монтажа – на наземные и погружные;
8. По способу соединения с двигателем – на приводные (со шкивом или редуктором) и моноблочные (рабочее колесо установлено на конце вала электродвигателя).

### Движение жидкой среды в рабочем колесе центробежного насоса. Треугольники скоростей

Жидкая среда к рабочему колесу центробежного насоса подводится в

осевом направлении. Попав в межлопаточные каналы колеса, каждая частица жидкой среды принимает участие в сложном движении. С одной стороны частица жидкой среды вращается вместе с рабочим колесом, и это движение характеризуется вектором окружной скорости  $\vec{U}$ , направленным перпендикулярно к радиусу вращения. С другой стороны эта же частица перемещается относительно колеса, и это движение характеризуется вектором относительной скорости  $\vec{W}$ , направленным по касательной к линии тока в относительном потоке (по касательной к поверхности лопатки колеса). Абсолютное движение частицы характеризуется вектором абсолютной скорости  $\vec{C}$ , равным геометрической сумме векторов окружной и относительной скоростей, т.е.  $\vec{C} = \vec{U} + \vec{W}$ . Таким образом, в любой точке межлопаточного канала колеса можно построить параллелограмм скоростей.

При рассмотрении кинематики потока жидкой среды в рабочем колесе принято строить параллелограммы (или треугольники) скоростей на входной 1 и выходной 2 кромках лопатки.

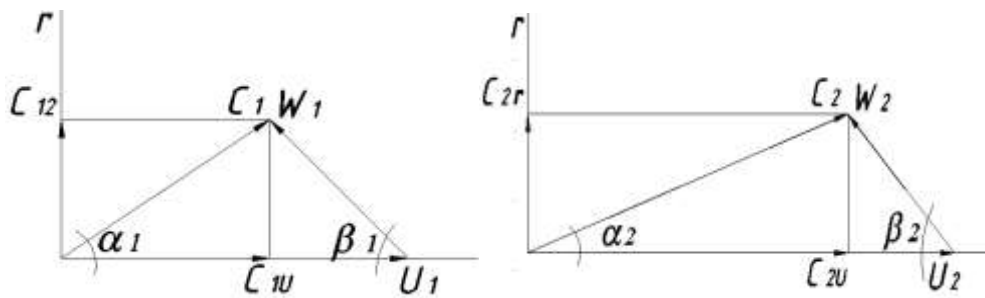


### Схема рабочего колеса и параллелограммы скоростей

На рис 2.1. представлены:  $r_1$  и  $r_2$  - радиусы входа и выхода;  $a_1$  и  $a_2$  - толщина лопатки на входе и выходе по образующей колеса;  $U_1$  и  $U_2$  - окружные скорости на входе и выходе;  $W_1$  и  $W_2$  - относительные скорости на входе и выходе;  $C_1$  и  $C_2$  - абсолютные скорости на входе и выходе;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - углы между векторами абсолютных и окружных скоростей на входе и выходе;  $\beta_1$  и  $\beta_2$  - углы между векторами относительных скоростей и продолжением векторов окружных скоростей на входе и выходе;  $C_{1u}$  и  $C_{2u}$  - проекции абсолютных скоростей на направление окружных скоростей на входе и выходе;  $C_{1r}$  и  $C_{2r}$  - проекции абсолютных скоростей на направление

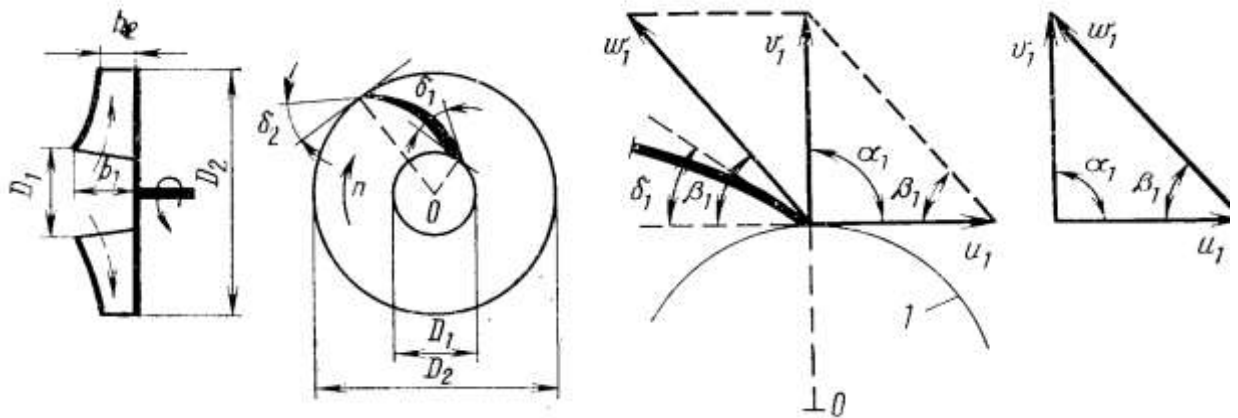
радиуса.

Треугольники скоростей строятся вне схемы рабочего колеса:



### Зависимость скорости потока жидкости от геометрических параметров рабочего колеса. Идеальная и действительная подача

Рассмотрим рабочее колесо центробежного насоса с радиальным входом ( $\alpha_1 = 90^\circ$ ).



Обозначим через  $D_1$  и  $D_2$  – соответственно диаметр входа в рабочее колесо и диаметр выхода из рабочего колеса, через  $b_1$  и  $b_2$  – соответственно ширину лопастей на входе и выходе рабочего колеса, через  $a_1$  и  $a_2$  - толщину лопатки на входе и выходе по образующей колеса.

Построим треугольник скоростей на входе в рабочее колесо при радиальном входе, выбрав за направление радиуса – вертикальную ось, а за направление окружной скорости – горизонтальная ось.

Если известна подача насоса  $Q$ , то среднее значение абсолютной скорости потока жидкой среды на входе в рабочее колесо можно определить по формуле:

$$v_1 = \frac{Q}{F_1} = \frac{Q}{\pi D_1 b_1 \Psi_1}, \text{ м/с}$$

где  $F_1$  – площадь входа в рабочее колесо насоса, которая равна произведению длины окружности входа на ширину лопастей на входе. Коэффициент  $\Psi_1$  учитывает стеснение потока лопастями на входе в рабочее колесо.  $\Psi_1$  всегда  $< 1$ . Данный коэффициент определяется по формуле:

$$\Psi_1 = \frac{\pi D_1 - z \frac{a_1}{\sin \beta_1}}{\pi D_1}$$

Окружная скорость на входе в рабочее колесо зависит от его частоты вращения:

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}, \text{ м/с}$$

где  $n$  – частота вращения, об/мин.

Если известны абсолютная и окружная скорости, по теореме Пифагора из треугольника скоростей можно рассчитать относительную скорость:

$$v_1 = \sqrt{v_{1r}^2 + u_1^2}$$

Аналогично определяются скорости на выходе из рабочего колеса:

$$v_2 = \frac{Q}{\pi D_2 b_2 \Psi_2}, \text{ м/с} \quad \Psi_2 = \frac{\pi D_2 - z \frac{a_2}{\sin \beta_2}}{\pi D_2} \quad u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}, \text{ м/с}$$

Идеальная подача насоса определяется как произведение площади каналов на входе или выходе из рабочего колеса на радиальную составляющую абсолютной скорости:

$$Q_n = \pi D_1 b_1 \Psi_1 v_{1r} = \pi D_2 b_2 \Psi_2 v_{2r}, \text{ м}^3/\text{с};$$

При радиальном входе  $v_{1r} = v_1$ , поэтому  $Q_n = \pi D_1 b_1 \Psi_1 v_1$ .

Действительная подача насоса отличается от теоретической объемными потерями:

$$Q = Q_n \eta_o,$$

где  $\eta_o$  – объемный КПД насоса.

### Основное уравнение работы центробежного насоса

Из курса теоретической механики для момента количества движения известно, что для выделенной массы производная по времени от момента количества движения относительно некоторой оси равна сумме моментов всех внешних сил, действующих на эту массу относительно той же оси:

$$\frac{\partial(m v_u r)}{\partial t} = \sum M_0$$

где  $m$  – масса жидкости,  $v_u$  – окружная компонента скорости,  $r$  – радиус,  $\sum M_0$  – сумма моментов внешних сил, действующих на выделенную массу, относительно оси  $0$ .

Для установившегося осредненного потока внутри выделенного объема произведение  $v_u r$  в соответствии с законом постоянства момента скорости не изменяется во времени:  $v_u r = const$ , поэтому

$\partial(v_u r) = v_{2u} r_2 - v_{1u} r_1$ , а протекающая за время  $\partial t$  масса жидкости:  
 $m = \rho Q \partial t$ .

В этих условиях закон момента количества движения примет вид:

$$\rho Q (v_{2u} r_2 - v_{1u} r_1) = \sum M_0$$

где  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости;

$Q$  – подача насоса.

Моменты внешних сил относительно оси вращения рабочего колеса, действующие на выделенный объем жидкости, складываются из момента, передаваемого лопастями насоса, и момента сил трения, который ввиду незначительности можно не учитывать. Силы давления действуют нормально к ограничивающим поверхностям, поэтому не дают момента относительно оси вращения. Поэтому сумма моментов внешних сил, действующих на выделенный объем жидкости, сводится к крутящему моменту  $M$ , передаваемому жидкости лопастями рабочего колеса:

$$M = \rho Q (v_{2u} r_2 - v_{1u} r_1)$$

Полученный результат показывает, что момент, развиваемый рабочим колесом, пропорционален массовому расходу жидкости и изменению ее момента скорости.

Зная момент, развиваемый рабочим колесом, и угловую скорость, получаем мощность, которую развивает рабочее колесо, воздействуя на жидкость:  $N = M\Omega$ , Нм/с=Дж/с=Вт.

Если принять, что энергия, передаваемая рабочим колесом протекающей через него жидкости равна  $H_T$ , то мощность, получаемая жидкостью, составит:  $N = \rho g Q H_T$ , Вт. Приравнявая обе мощности, получим:

$$M\Omega = \rho g Q H_T = \Omega \rho Q (v_{2u} r_2 - v_{1u} r_1)$$

Если учесть, что  $r\Omega = u$  – окружная скорость, то получим выражение для определения теоретического напора насоса:

$$H_T = \frac{1}{g} (v_{2u} u_2 - v_{1u} u_1)$$

Данная формула называется основным уравнением насоса, или уравнением Эйлера. При этом скорости  $v_{2u}$  и  $v_{1u}$  определяются из соответствующих треугольников скоростей:

$$v_{2u} = v_2 \cos \alpha_2 \text{ и } v_{1u} = v_1 \cos \alpha_1.$$

Действительный напор, развиваемый насосом, всегда меньше теоретического напора за счет гидравлических потерь напора в рабочем колесе и в элементах подвода и отвода жидкости. Часть потерь происходит из-за вихреобразования в межлопаточном пространстве рабочего колеса, при этом увеличение числа лопастей снижает данное явление. Влияние числа лопастей учитывается специальным коэффициентом, определяемым по формуле:

$$\sigma_z = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{z} \frac{\sin \beta_2}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}}$$

Обычно у центробежных насосов  $z = 2..12$ ,  $\beta_2 = 15...40^\circ$ ,  $\frac{r_1}{r_2} = 0,4..0,7$ ,  $\sigma_z = 0,3...0,9$ .

Другие потери учитываются гидравлическим КПД --  $\eta_{\Gamma}$ , а окончательная формула для определения действительного напора центробежного насоса имеет вид:

$$H = \frac{\sigma_z \eta_{\Gamma}}{g} (v_{2u} u_2 - v_{1u} u_1)$$

Приращение удельной энергии жидкости при прохождении ее через рабочее колесо складывается из статической и динамической составляющих:

$$H = H_c + H_d$$

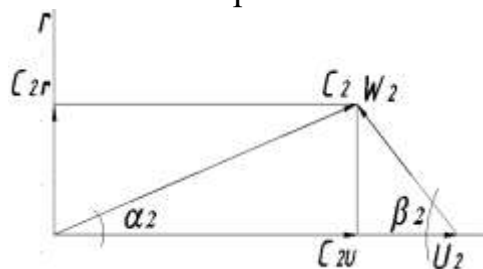
Данные составляющие можно определить по формулам:

$$H_c = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g}; \quad H_d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

Влияние формы лопаток рабочего колеса на напор насоса

Угол выхода потока из рабочего колеса центробежного насоса ( $\beta_2$ ) сильно влияет на развиваемый напор. Это следует из основного уравнения центробежного насоса, поскольку в данную формулу входит не сама абсолютная скорость  $v_2$ , а ее проекция на горизонтальную ось  $v_{2u}$ .

Из треугольника скоростей на выходе из рабочего колеса следует, что при одинаковых значениях окружной скорости (одинаковых  $D_2$  и  $n$ ) с возрастанием  $\beta_2$  увеличивается окружная составляющая абсолютной скорости  $v_{2u}$ , и следовательно – напор насоса.



По форме лопатки рабочего колеса по отношению к направлению вращения подразделяют на три вида: загнутые назад, с радиальным выходом и загнутые вперед.



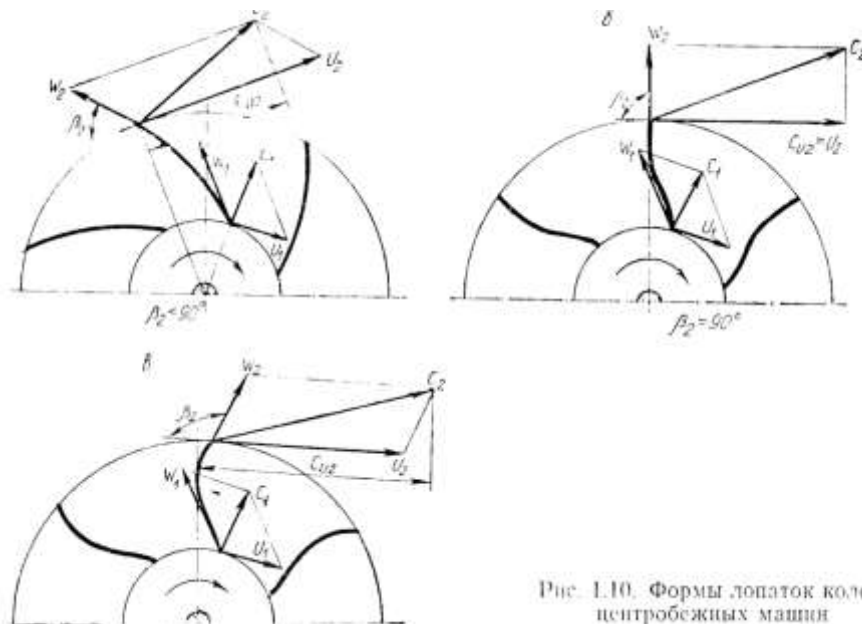


Рис. 1.10. Формы лопаток колес центробежных машин

Хотя рабочее колесо с лопатками, загнутыми вперед при всех прочих равных условиях создает наибольший напор, оно может работать в очень узком интервале окружных скоростей и имеет низкий КПД. Это объясняется тем, что с увеличением  $\beta_2$  также растет абсолютная скорость  $v_2$ , а это увеличивает гидравлические потери на выходе из рабочего колеса, так как потери пропорциональны квадрату скорости. Также данная форма лопаток при взаимодействии с потоком жидкости приводит к интенсивному вихреобразованию, и как следствие – к срыву потока и неустойчивому режиму работы. Поэтому наиболее часто лопатки рабочих колес центробежных насосов изготавливают загнутыми назад, при этом увеличивается устойчивость работы насоса при различных режимах и снижаются потери, соответственно растет КПД. Увеличения напора, при необходимости, достигают путем увеличения частоты вращения рабочего колеса.

### Коэффициент быстроходности насоса

Центробежные насосы могут выполняться различного размера и работать в широком диапазоне частот вращения, подач, напоров и мощности. Для того, чтобы характеризовать тип насоса, используют показатели, приведенные к единым (стандартным) условиям. Наиболее важным из таких показателей является коэффициент быстроходности.

Коэффициент быстроходности данного насоса ( $n_s$ ) – это частота вращения геометрически подобного насоса, имеющего такой размер, что при напоре 1 м он дает подачу 75 л/с, то есть передает потоку жидкости полезную мощность 1 л.с. (735,5 Вт):

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}},$$

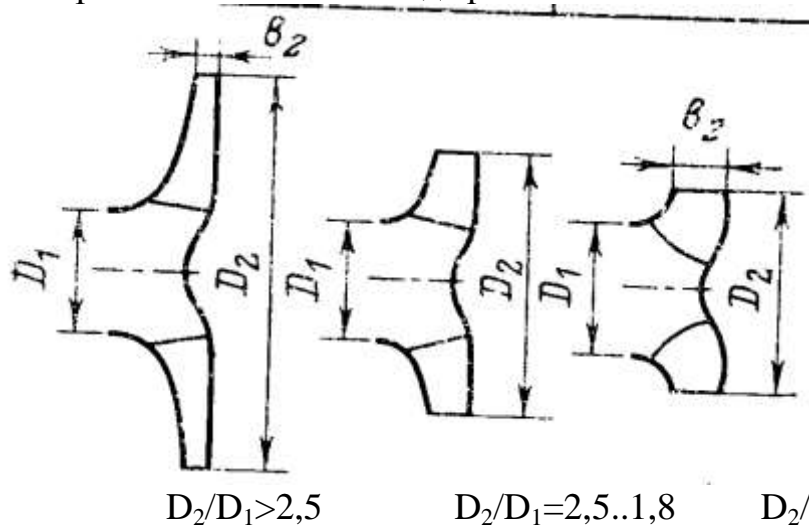
где:  $Q$  – подача,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  – напор, м;  $n$  – частота вращения рабочего колеса, об/мин. Подача и напор при определении коэффициента быстроходности должны соответствовать максимальному КПД при рабочей частоте вращения. Для насосов с двусторонним входом вместо  $Q$  подставляется  $Q/2$ ,



а для многоступенчатых насосов вместо  $N$  подставляется  $N/Z$ , где  $Z$  – число ступеней.

Центробежные насосы в зависимости от коэффициента быстроходности делятся на три группы: тихоходные ( $n_s < 80$ ), нормальной быстроходности ( $80 < n_s < 150$ ), и быстроходные ( $n_s > 150$ ). Тихоходные насосы используют при относительно малых подачах и высоких напорах, быстроходные наоборот – при высоких подачах и небольших напорах.

Коэффициент быстроходности определяет форму рабочего колеса насоса. Тихоходное колесо имеет выходной диаметр ( $D_2$ ) намного больше входного ( $D_1$ ), и имеет относительно малую ширину лопаток на выходе ( $b_2$ ). С увеличением быстроходности разница в диаметрах на выходе и входе сокращается, а ширина лопаток на выходе растет.



Коэффициент быстроходности также влияет на КПД насоса. Для обычных центробежных насосов максимальные КПД соответствуют значениям  $n_s = 140 \dots 220$ , при этом чем больше подача (и соответственно размер насоса), тем выше КПД.

#### **Кавитация в насосах. Допустимая высота всасывания**

При работе насоса во входной части рабочего колеса абсолютное давление ниже атмосферного, то есть образуется вакуум. Иногда давление в потоке может снизиться до давления насыщенных паров жидкости, при этом из жидкой среды начинают выделяться пузырьки пара. Увлекаясь далее потоком в область высокого давления, пар конденсируется и пузырьки захлопываются. Конденсация пара в пузырьках происходит очень быстро, при этом возникают гидравлические удары, и как следствие – ударные волны. Данное явление называется кавитацией.

Кавитация вызывает увеличение гидравлических потерь, возникновение шумов и вибраций, интенсивный износ обтекаемой поверхности. Поверхность становится пористой, шероховатой – происходит кавитационная эрозия. Кроме этого при кавитации резко снижается напор и КПД насоса. Поэтому при расчете режима работы насосной установки учитывают недопустимость ее работы в кавитационном режиме.

Для недопущения возникновения явления кавитации при расположении насоса выше отметки уровня воды в источнике, откуда жидкая среда должна перекачиваться, определяют допустимую высоту всасывания насоса.

Различают геометрическую и вакуумметрическую высоту всасывания. Геометрическая высота всасывания равна разности отметок оси насоса и воды в источнике:

$$H_{г.вс.} = \nabla_{о.н.} - \nabla_{и.}, \text{ м}$$

Теоретически предельная геометрическая высота всасывания составляет около 10 метров:

$$H_{г.вс.} = \frac{p_a}{\rho g}, \text{ м}$$

Однако, в реальных условиях ее предельное значение ниже, поскольку энергия, создаваемая насосом на всасывающей стороне, выраженная в метрах столба жидкости – вакуумметрическая высота всасывания, тратится не только на поднятие жидкости на геометрическую высоту, но и на преодоление потерь напора во всасывающем трубопроводе:

$$H_{г.вс.} = H_{вак.} - h_{вс.}, \text{ м}$$

Вакуумметрическая высота всасывания при работе насоса также не достигает максимально возможного значения, поскольку давление во всасывающем патрубке насоса не равно нулю, а часть энергии при всасывании жидкости тратится на создание динамического напора в насос:

$$H_{вак.} = \frac{p_a}{\rho g} - \left( \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right), \text{ м}$$

С учетом этого:

$$H_{г.вс.} = \frac{p_a}{\rho g} - \left( \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - h_{вс.}$$

где:  $p_a$  – значение атмосферного давления с учетом высоты над уровнем моря;  $p_1$  – давление на входе в рабочее колесо насоса;  $v_1$  – скорость на входе в рабочее колесо насоса;  $h_{вс.}$  – потери во всасывающем трубопроводе.

Как ранее отмечалось, при расчете режима работы насоса необходимо исключить условие возникновения кавитации. Для этого необходимо, чтобы полный напор на всасывающей стороне насоса был больше напора насыщенного пара при данной температуре на значение кавитационного запаса:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_{п.}}{\rho g} + \Delta h$$

где:  $p_{п.}$  – давление насыщенных паров жидкости;  $\Delta h$  -- кавитационный запас.

С учетом этого определяется допустимая геометрическая высота всасывания:

$$H_{г.вс.} = \frac{p_a}{\rho g} - \frac{p_{п.}}{\rho g} - \Delta h - h_{вс.}, \text{ м}$$

Кавитационный запас приводится в справочных пособиях по насосам.

### Теоретические характеристики центробежных насосов

Характеристиками центробежных насосов называют зависимости напора, мощности и КПД насоса от его подачи при постоянной частоте вращения рабочего колеса:

$$H = f_1(Q); N = f_2(Q); \eta = f_3(Q)$$

Характеристики насосов обычно представляют в виде графических зависимостей. Различают теоретические и рабочие характеристики.

Теоретические характеристики строят на основании расчетных данных, полученных с использованием формул, описывающих движение жидкости в рабочем колесе насоса. Наиболее значимой является напорная характеристика, поэтому на ее примере рассмотрим факторы, определяющие форму графических характеристик центробежных насосов.

Согласно уравнению Эйлера, теоретический напор насоса при неизменных геометрических параметрах рабочего колеса и его скорости вращения зависит от угла выхода  $\beta_2$ :

$$H_T = \frac{1}{g} v_{2u} u_2,$$

Поскольку, из треугольника скоростей  $v_{2u} = u_2 - \omega_2 \cos \beta_2$ , получим:

$$H_T = \frac{1}{g} u_2^2 \left(1 - \frac{\omega_2}{u_2} \cos \beta_2\right)$$

Подставляя в данное уравнение значение  $\omega_2$ , выраженное из треугольника скоростей через проекцию абсолютной скорости на радиус --

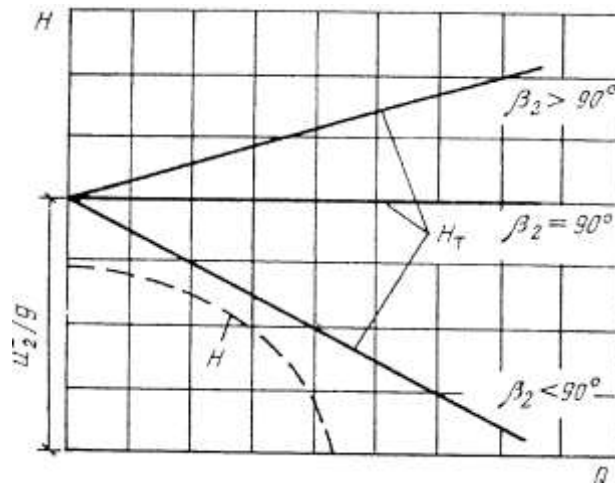
$$\omega_2 = \frac{v_{2r}}{\sin \beta_2} = \frac{Q_n}{\pi D_2 b_2 \Psi_2 \sin \beta_2}, \text{ приходим к уравнению:}$$

$$H_T = \frac{u_2^2}{g} - \frac{\operatorname{ctg} \beta_2 u_2}{\pi D_2 b_2 \Psi_2 g} Q_n$$

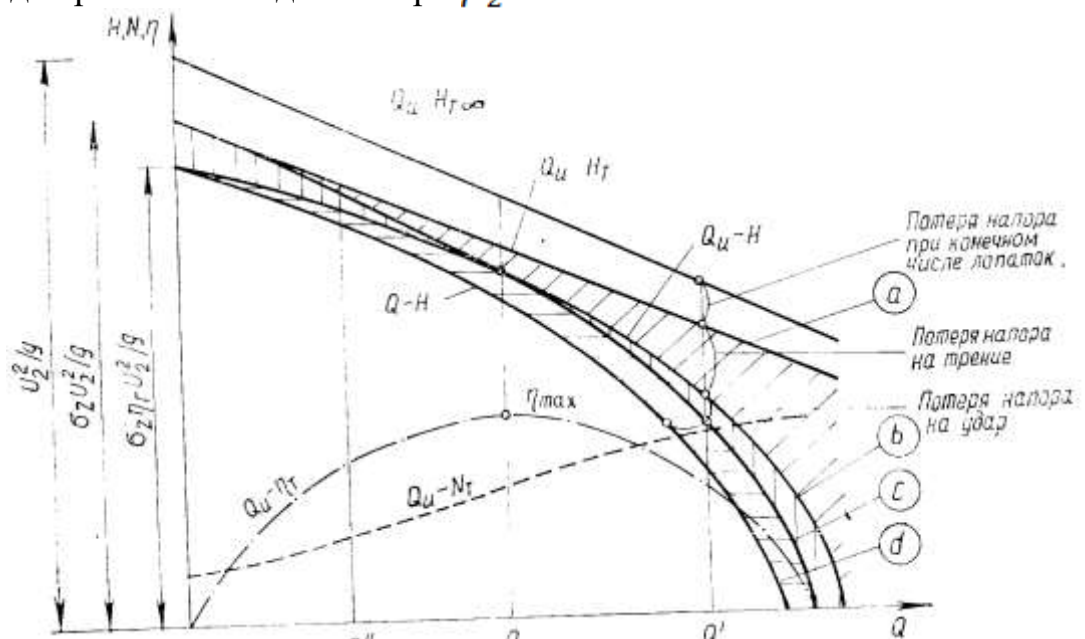
Если обозначить  $\frac{u_2^2}{g} = A_0$ , и  $\frac{\operatorname{ctg} \beta_2 u_2}{\pi D_2 b_2 \Psi_2 g} = A$ , то окончательно получим уравнение для определения теоретического напора при перекачивании идеальной жидкости насосом с бесконечно большим числом лопаток:

$$H_T = A_0 - A Q_n$$

Данное уравнение представляет собой уравнение прямой, наклон которой определяется углом выхода потока из рабочего колеса  $\beta_2$ , поэтому возможны три варианта характеристик:



Как отмечалось ранее, угол  $\beta_2$  обычно равен  $15...45^\circ$ , поэтому далее построим теоретические напорные характеристики при конечном числе лопаток для реальной жидкости при  $\beta_2 < 90^\circ$ :



На данном рисунке прямая  $a_0$  соответствует напору при бесконечном числе лопаток, прямая  $a_1$  – при конечном числе лопаток (с учетом коэффициента  $\sigma_z$ ). Характеристика  $a_2$  построена с учетом потерь на трение для реальной жидкости (пропорциональны квадрату скорости, и соответственно, квадрату расхода) – парабола с вершиной в начале координат, а  $a_3$  – также с учетом потерь на ударное вхождение лопатки в поток жидкости, при котором возникают дополнительные гидравлические потери. Обычно для уменьшения потерь на удар лопатки рабочего колеса насоса конструируют таким образом, чтобы в рабочем диапазоне подач угол отклонения потока от касательной к точке входа отклонялся не более чем на  $3..8^\circ$ , поэтому в точке максимального КПД характеристика  $a_3$  касается характеристики  $a_2$ . В характеристике  $a_4$  также учтены объемные потери, которые происходят из-за утечек жидкости через зазоры между рабочим колесом и корпусом насоса. Данные потери ведут к смещению характеристики  $a_4$  влево по сравнению с  $a_3$ , то есть один и тот же напор соответствует

меньшим подачам.

### Рабочие характеристики центробежных насосов

Теоретические характеристики, построенные расчетным путем, не могут учесть всех факторов, влияющих на работу насоса, поэтому они являются приближенными. Для построения точных характеристик проводят энергетические испытания насосов на специальных стендах. Полученные экспериментальные (рабочие) характеристики заносят в каталоги, которыми пользуются при подборе насосов.

Рабочие характеристики обычно представляют на одном рисунке следующим образом: по оси абсцисс откладывают подачу насоса, а по оси ординат – напор, мощность, КПД и кавитационный запас (или допустимую вакуумметрическую высоту всасывания). Также на рисунке кроме типа насоса обязательно указывается частота вращения рабочего колеса и его точный диаметр. На напорной характеристике обычно указывается рекомендуемый диапазон подач, в котором насос работает устойчиво. Обычно эта область выбирается такой, чтобы снижение КПД в ней по сравнению с максимальным не превышало 5...8%.

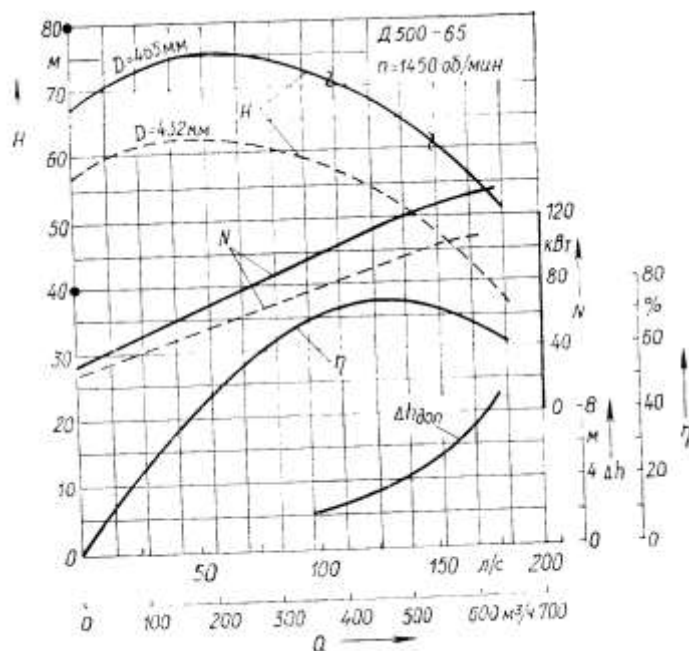
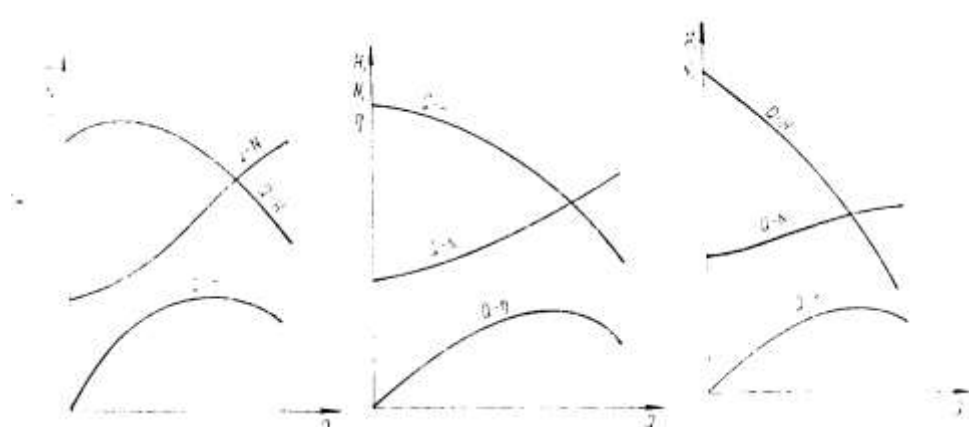


Рис. 1.17. Характеристики центробежного насоса Д500-65

Форма напорных характеристик сильно зависит от коэффициента быстроходности насоса  $n_s$ . Тихоходные насосы ( $n_s < 80$ ) как правило имеют напорные характеристики с выраженным максимумом, насосы средней быстроходности ( $n_s = 80 \dots 150$ ) имеют пологие характеристики без выраженных максимумов, быстроходные насосы ( $n_s > 150$ ) имеют круто падающие напорные характеристики.



Как видно из рисунка, характеристики КПД и потребляемой мощности также зависят от коэффициента быстроходности. У тихоходных насосов зона высоких КПД занимает более широкую область по Q. С ростом быстроходности изменение КПД по подаче становится более резким, а зона оптимальных КПД сужается. Потребляемая мощность у тихоходных насосов непрерывно увеличивается, а у быстроходных – почти не зависит от подачи. По форме напорных характеристик на первоначальном этапе подбора насоса можно приблизительно определить его пригодность для конкретной задачи: насосы с пологими характеристиками используют в системах с широким диапазоном изменения подач, а насосы с крутыми характеристиками – в системах, где не требуется менять расход перекачиваемой жидкости.

### **Влияние изменения частоты вращения рабочего колеса насоса на его характеристики**

Характеристики насоса приводятся для постоянной частоты вращения  $n_1$ , однако часто оказывается нужным определить условия работы насоса при другой частоте вращения  $n_2$ . Пересчет выполняется по формулам подобия насосов:

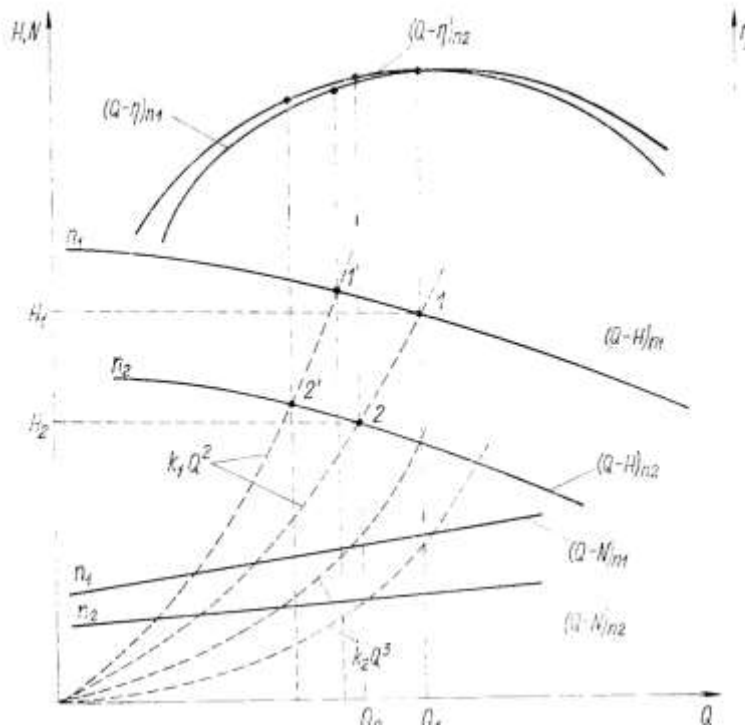
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2; \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$$

Поскольку при изменении частоты вращения диаметр рабочего колеса не меняется, т.е.  $\frac{D_1}{D_2} = 1$ , то формулы пересчета принимают вид:

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \quad Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right); \quad N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Определяя по данным формулам значения  $H_2$  и соответствующие им значения  $Q_2$  для частоты вращения  $n_2$ , получим данные для построения точек новой напорной характеристики.





При анализе результатов пересчета напорной характеристики видно, что для определенной точки характеристики  $H_1 - Q_1$ , пересчитанные значения при любой другой частоте вращения сохраняют соотношение:

$$\frac{H_1}{Q_1^2} = \frac{H_2}{Q_2^2} = \frac{H_3}{Q_3^2} \dots = k_1 = \text{const}, \text{ т.е. } H = k_1 Q^2$$

Из этого следует, что через данную точку можно построить кривую пропорциональности для различных частот вращения, которая является квадратичной параболой с вершиной в начале координат. Эта же кривая является линией одинаковых значений КПД. Поэтому при изменении частоты вращения напорная характеристика перемещается примерно параллельно самой себе вверх или вниз, а характеристика  $\eta_1 - Q_1$  – перемещается влево или вправо, поскольку по теории подобия насосов КПД при изменении частоты вращения практически не изменяется. Кривая пропорциональности для пересчета потребляемой мощности, как следует из формулы подобия, является кубической параболой:

$$N = k_2 Q^3.$$

### **Влияние изменения диаметра рабочего колеса насоса на его характеристики**

Часто при подборе насоса возникает ситуация, когда выбранный насос имеет напорную характеристику, заметно превышающую расчетную. При этом планируется эксплуатировать насос в постоянном режиме, поэтому использование дорогостоящих электронных устройств изменения частоты тока для регулировки подачи и напора является неоправданным. В таких случаях прибегают к обточке рабочего колеса. Насосы, выпускаемые заводами, имеют максимальный диаметр рабочего колеса, но возможность обточки предусматривается.

Допустимая величина обточки и формулы для пересчета рабочих характеристик зависят от коэффициента быстроходности насоса:

для  $n_s < 150$

$$\frac{Q_{об}}{Q} = \frac{D_{об}}{D}$$

$$\frac{H_{об}}{H} = \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2$$

Из данных формул следует, что:

$$\frac{H_{об}}{H} = \left(\frac{Q_{об}}{Q}\right)^2$$

$$H = \frac{H_{об} Q^2}{Q_{об}^2}$$

$$\frac{H_{об}}{Q_{об}^2} = const = k; H = kQ^2$$

для  $n_s > 150$

$$\frac{Q_{об}}{Q} = \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2$$

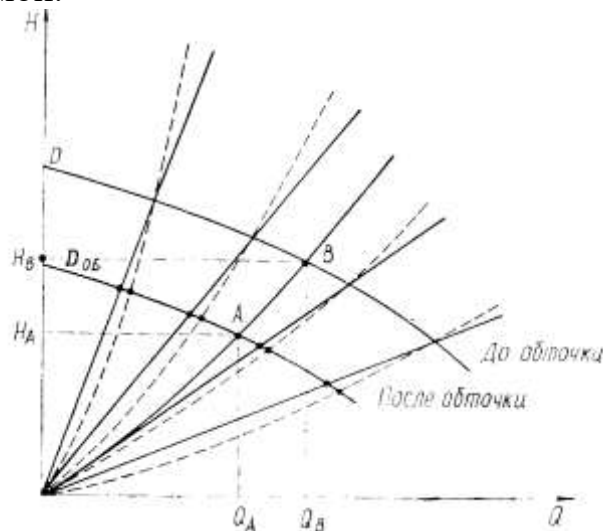
$$\frac{H_{об}}{H} = \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2$$

$$\frac{H_{об}}{H} = \frac{Q_{об}}{Q}$$

$$H = \frac{H_{об} Q}{Q_{об}}$$

$$\frac{H_{об}}{Q_{об}} = const = k; H = kQ$$

Соответственно, режимные точки при  $n_s < 150$  смещаются по параболе, а при  $n_s > 150$  – по прямой.



Для определения КПД при обточке рабочего колеса применяется формула Мууди:

$$\eta_{об} = 1 - (1 - \eta) \left(\frac{D}{D_{об}}\right)^{0,45}$$

Если диаметр колеса уменьшается не более чем на 15...20%, то КПД уменьшается незначительно – на 1..2%.

Допустимое значение обточки рабочего колеса:

при  $n_s = 60...120$  – 20-15%;

при  $n_s = 120...200$  – 15-10%;

при  $n_s = 200...300$  – 10-5%.

Значение кавитационного запаса при одинаковой подаче не меняется, а мощность снижается значительно.

### Алгоритм расчета обточки рабочего колеса и построения новых характеристик

1. Определяем коэффициент быстроходности насоса  $n_s$ . В соответствии с  $n_s$  выбираем группу формул для дальнейших расчетов.
2. По соответствующей формуле определяем коэффициент  $k$  для расчетной



точки:

при  $n_s < 150$   $k = \frac{H_p}{Q_p^2}$ , при  $n_s > 150$   $k = \frac{H_p}{Q_p}$ .

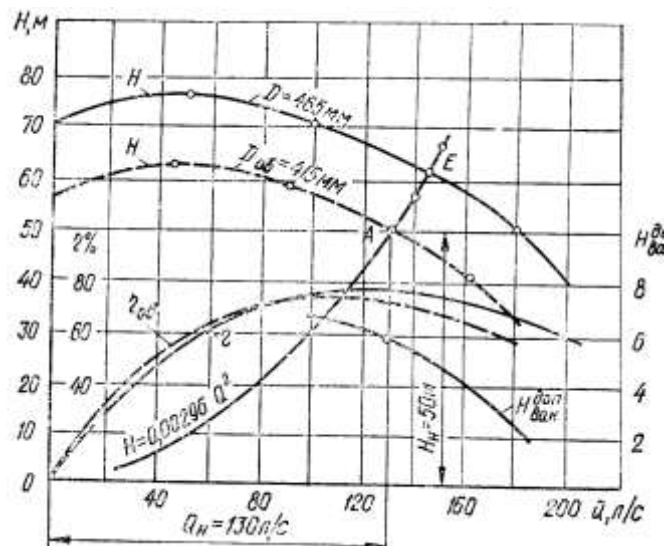
3. Задаваясь значениями  $Q$  определяем  $H$ , и по полученным точкам строим линию соответствия, проходящую из начала координат через расчетную точку до пересечения с характеристикой насоса при нормальном диаметре колеса, находим точку пересечения.

4. Определяем подачу в точке пересечения, далее по соответствующей формуле находим диаметр обточенного колеса:

при  $n_s < 150$   $D_{об} = D \frac{Q_p}{Q}$ , при  $n_s > 150$   $D_{об} = D \sqrt{\frac{Q_p}{Q}}$ .

5. Определяем процент обточки:  $\frac{D - D_{об}}{D} \cdot 100$ , %; сравниваем его с допустимым, если не превышает – значит насос можно эксплуатировать.

6. С исходной характеристики насоса с необточенным колесом снимаем значения нескольких точек и по соответствующим формулам пересчитываем их для нового диаметра. По полученным точкам строим новую напорную характеристику насоса с обточенным колесом.



### Работа центробежного насоса в системе трубопроводов

При перекачивании жидкой среды с определенным расходом в заданную точку насос должен создавать такой напор, который преодолет полную высоту подъема жидкости и гидравлические потери в трубопроводе:

$$H = H_r + \Sigma h,$$

где  $H_r$  – полная высота подъема жидкости, складывается из геометрической высоты всасывания и геометрической высоты нагнетания;

$\Sigma h$  -- суммарные потери напора в системе трубопроводов, складываются из суммарных потерь напора во всасывающих и нагнетательных трубопроводах:

$$\Sigma h = \Sigma h_{вс} + \Sigma h_{н},$$

где  $\Sigma h_{\text{вс}} = h_{\text{вс,дл}} + \Sigma h_{\text{вс,м}}$  ;  $\Sigma h_{\text{н}} = h_{\text{н,дл}} + \Sigma h_{\text{н,м}}$  – суммы потерь по длине и в местных сопротивлениях.

При расчете длинных трубопроводов потери в местных сопротивлениях, по сравнению с потерями по длине незначительны, поэтому их можно не учитывать. При этом потери напора по длине при турбулентном режиме движения жидкости определяются по формуле:

$$h_{\text{дл}} = AlQ^2 = SQ^2$$

где  $A$  – удельное сопротивление трубопровода;

$l$  – длина трубопровода;

$S$  – сопротивление трубопровода.

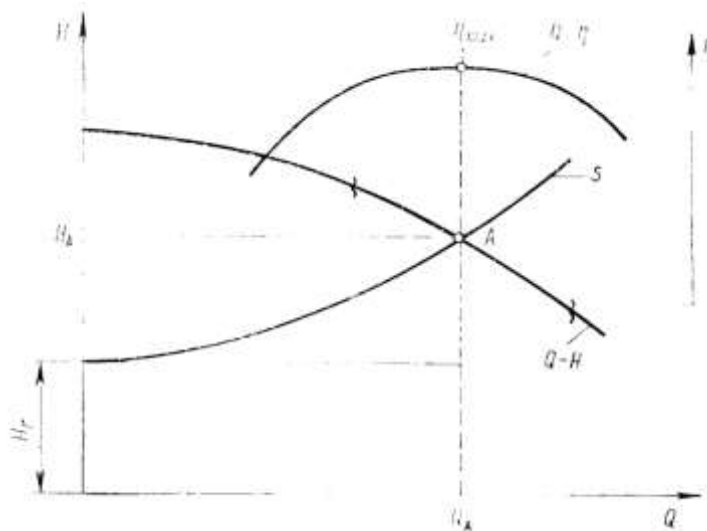
Поэтому выражение, устанавливающее зависимость требуемого напора от расхода в системе трубопроводов, имеет вид:

$$H = H_r + SQ^2$$

Данная зависимость называется характеристикой трубопровода. Она графически представляет собой параболу, не проходящую через начало координат. Для ее построения вначале определяют сопротивление трубопровода  $S$  при расчетном расходе по формуле:

$$S = \frac{\Sigma h}{Q_p^2}$$

Для конкретной системы трубопроводов насос обычно подбирают путем построения на одном графике в одинаковом масштабе напорной характеристики насоса и характеристики трубопровода. Точка пересечения данных характеристик называется рабочей точкой. Ее координаты  $Q$  и  $H$  соответствуют максимально возможной подаче данного насоса в данный трубопровод с сопротивлением  $S$ . При этом стремятся подобрать такой насос, чтобы рабочая точка находилась в области максимальных КПД насоса.



При проектировании насосных станций характеристики трубопроводов строят по предварительно определенным потерям напора при расчетном расходе. При этом сопротивление трубопровода, состоящего из  $m$  одинаковых параллельных линий, определяют по формуле:

$$S_{\text{сист}} = \frac{S}{m^2},$$

где  $S$  – сопротивление одной линии.

### Регулирование подачи центробежных насосов

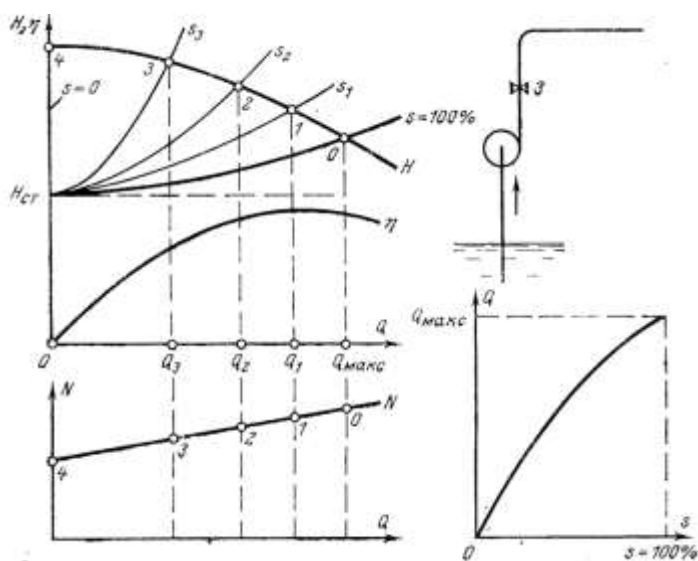
Обычно насос или группа насосов подбираются по максимальной требуемой подаче. Однако часто необходимо иметь возможность подавать в напорную линию меньший расход, то есть регулировать подачу. Поскольку фактическая подача определяется точкой пересечения напорной характеристики насоса и характеристики трубопровода, регулировать подачу можно за счет изменения характеристики насоса или характеристики трубопровода.

На практике применяют следующие способы регулирования подачи: дросселирование, изменение частоты вращения рабочего колеса, байпасирование, изменение числа работающих насосов.

1. Дросселирование, или регулирование задвижкой, установленной на напорном трубопроводе, заключается в создании дополнительного сопротивления трубопровода. При этом характеристика трубопровода примет вид:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + S_{\text{тр}} Q^2 + S_{\text{зад}} Q^2 = H_{\text{г}} + (S_{\text{тр}} + S_{\text{зад}}) Q^2$$

Величина  $S_{\text{зад}}$  растет при закрытии задвижки, при этом изменяя открытие задвижки можно плавно регулировать подачу от максимальной до нуля.



Данный способ регулирования подачи является наиболее простым и наименее экономичным. Мощность, теряемую при дросселировании, можно определить по формуле:

$$\Delta N = \frac{\rho g Q_{\text{зад}} h_{\text{зад}}}{\eta_{\text{зад}}}$$

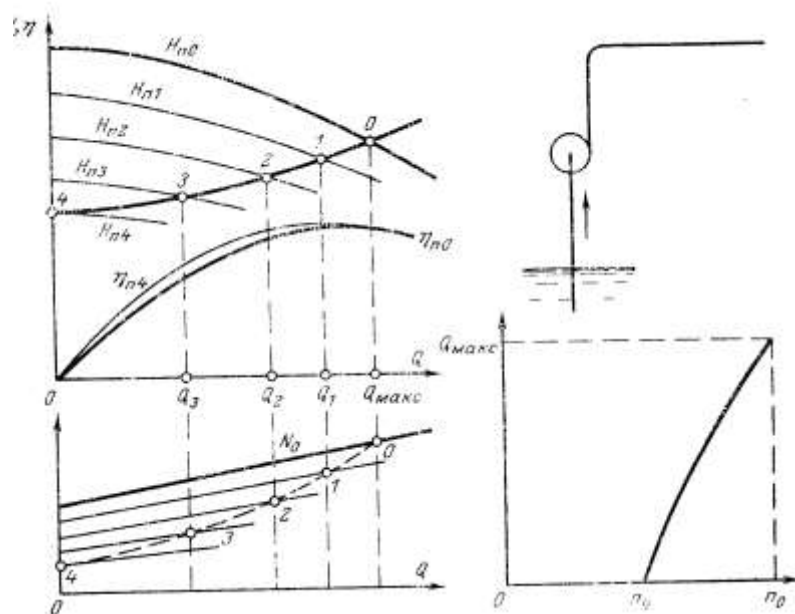
где  $Q_{\text{зад}}$  – подача насоса при прикрытой задвижке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$h_{\text{зад}}$  – потеря напора в задвижке,  $\text{м}$ ;

$\eta_{\text{зад}}$  – КПД насоса в рабочей точке при прикрытой задвижке.

Способ регулирования подачи дросселированием в основном применяют для насосов небольшой мощности.

2. Регулирование подачи изменением частоты вращения рабочего колеса в настоящее время является самым распространенным способом, поскольку в результате развития электроники появились надежные и приемлемые по цене устройства регулирования частоты переменного тока, питающего электродвигатели. При изменении частоты вращения рабочего колеса характеристика трубопровода не меняется, а характеристика насоса сдвигается вверх-вниз параллельно исходной.



Поскольку напор, создаваемый насосом при данном способе, в отличие от дросселирования, полностью расходуется на перекачивание жидкой среды, дополнительных потерь энергии не происходит, что позволяет экономить электроэнергию. Значительная экономия происходит при регулировании данным способом подачи мощных насосов, при этом дорогостоящее электронное оборудование быстро окупается. Для насосов малой мощности данный способ используют при обосновании.

3. Регулирование подачи байпасированием – перепуском части потока из напорного во всасывающий трубопровод, используется редко, в основном при запуске быстроходных насосов.

С увеличением открытия задвижки на байпасном трубопроводе расход в напорном трубопроводе снижается, а расход во всасывающем, и соответственно, подача насоса – увеличиваются. Однако при этом ухудшаются кавитационные характеристики – допустимая вакуумметрическая высота всасывания и кавитационный запас. По энергетическим показателям данный способ более эффективен для быстроходных насосов, у которых потребляемая мощность с увеличением подачи практически не меняется.

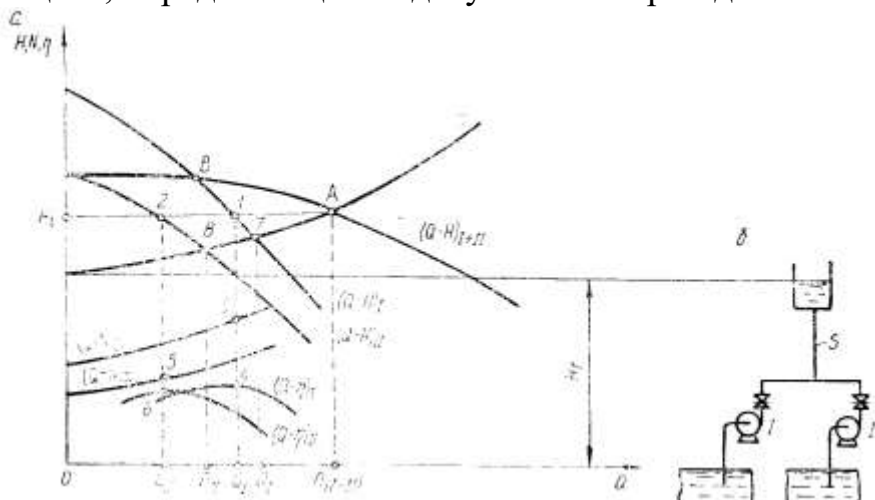
4. Регулирование подачи путем изменения числа работающих насосов, включенных параллельно, позволяет ступенчато менять подачу насосной установки. В комбинации с дросселированием данный способ позволяет регулировать подачу более плавно, но при этом энергетические показатели ухудшаются. Такое регулирование используют на насосных станциях с достаточным числом насосов.

## Параллельное включение центробежных насосов

Условием параллельной работы нескольких насосов на общий трубопровод является равенство их напоров:

$$H_I = H_{II} = \dots = H_n$$

Данное условие позволяет построить суммарную напорную характеристику для всей группы параллельно работающих насосов. Пересечение данной характеристики с характеристикой трубопровода определяет рабочую точку. Суммарная характеристика получается путем сложения абсцисс, определяющих подачу насосов при одинаковых напорах.



Анализ характеристик показывает, что общая подача группы параллельно работающих насосов на трубопровод уменьшается по сравнению с суммарной подачей этих же насосов, работающих на тот же трубопровод отдельно. При этом чем больше в группе параллельно работающих насосов, тем больше снижение их общей подачи. Поэтому чрезмерное увеличение числа параллельно включенных насосов на общий трубопровод неэффективно. Обычно параллельно включают не более 5...7 насосов. Более экономично увеличить единичную мощность насосов и уменьшить их число.

Напор, развиваемый группой насосов, включенных параллельно, выше, чем напор каждого из насосов, работающих отдельно на данный трубопровод. КПД группы параллельно работающих насосов, имеющих различную подачу, находится из соотношения:

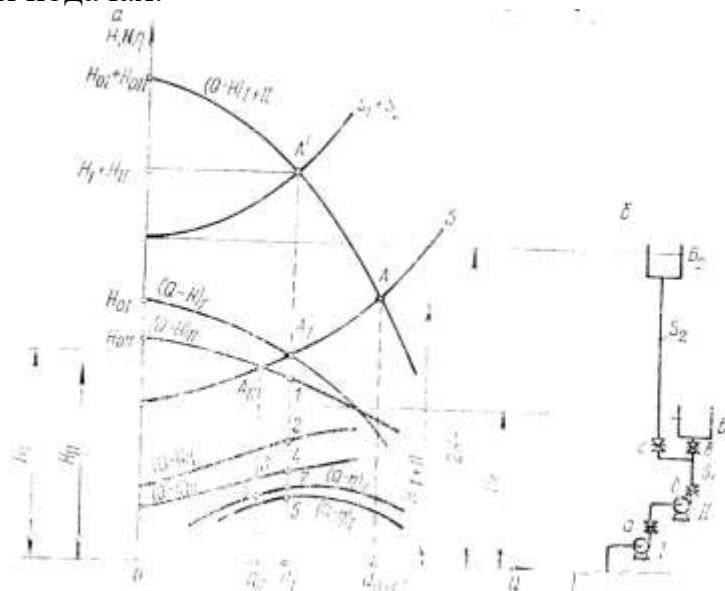
$$\eta_{\text{ср}} = \frac{\sum_m Q_i}{\sum_m \frac{Q_i}{\eta_i}}$$

где  $m$  — число параллельно работающих насосов.

## Последовательное включение центробежных насосов

Насосы могут включаться последовательно для увеличения напора в сети. Для этого напорный патрубок первого насоса соединяется со всасывающим патрубком второго насоса. При последовательном соединении можно использовать насосы с различным напором, но поскольку расход жидкости не меняется, данные насосы должны иметь близкие расчетные подачи. Суммарную напорную характеристику при последовательном включении насосов получают путем сложения ординат напоров насосов при

их одинаковых подачах.



Рабочая точка последовательно включенных насосов на общий трубопровод находится на пересечении с характеристикой трубопровода, при этом в рабочей точке увеличивается не только напор, но и подача.

Значение КПД для всей группы последовательно включенных насосов можно определить по формуле:

$$\eta_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2}{\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2}}$$

Если последовательно соединяются несколько одинаковых насосов, то КПД сохраняется, а общий напор будет равен:

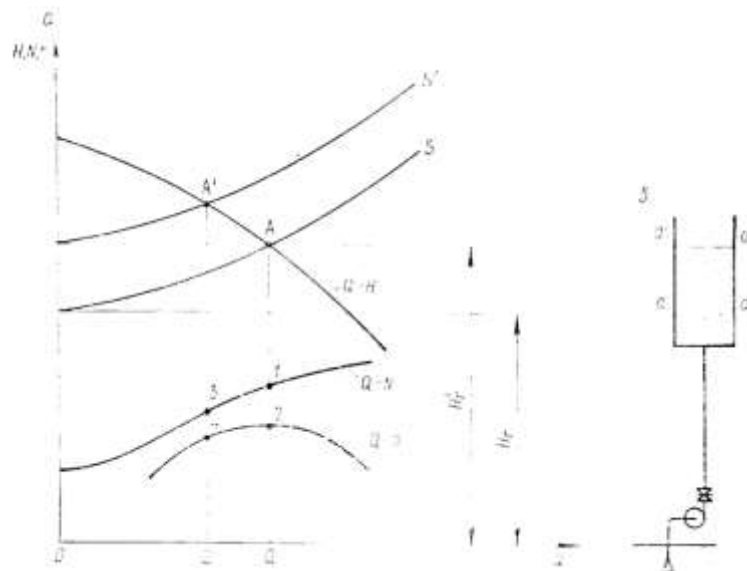
$$H_m = mH,$$

где  $m$  – число насосов,  $H$  – напор одного насоса.

Корпуса и другие части насосов рассчитаны на определенное давление, поэтому при последовательном включении насосов необходимо проверить предельно допустимое давление во входном патрубке последнего насоса, и сравнить его с расчетным. Данная величина указывается в технических характеристиках насоса.

### **Влияние изменения геометрической высоты подъема жидкой среды на работу насоса**

Геометрическая высота подъема может изменяться за счет колебания уровня воды в источнике или напорно-регулирующих сооружениях (резервуары чистой воды, водонапорные башни и т.д.). Изменение геометрической высоты подъема может вызвать смещение характеристики трубопровода, и как следствие, работу насоса в неэкономичном режиме. Рассмотрим схему насосной установки с напорным баком и построим характеристики насоса и трубопровода.



Когда геометрическая высота подъема определяется уровнем  $a - a'$ , режим работы насоса определяется точкой  $A$ . При увеличении уровня в напорном баке до  $a' - a'$  характеристика трубопровода сместится вверх, и рабочая точка переместится в положение  $A'$ . Это приведет к уменьшению подачи насоса, снижению мощности и работе в области низких значений КПД. Поэтому при проектировании насосных станций со значительными колебаниями геометрической высоты подъема жидкой среды предусматривают возможность изменения напорной характеристики путем включения дополнительных насосов или изменением частоты вращения рабочего колеса.

### Тема 11 Осевые насосы

*Схема и принцип работы осевых насосов. Элементы теории, подача и напор осевых насосов. Характеристики, регулирование подачи и маркировка осевых насосов*

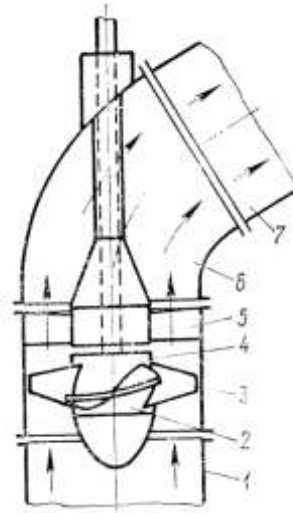
#### Схема и принцип работы осевых насосов

В осевые насосы имеют рабочее колесо пространственного типа – формы пропеллера (коэффициент быстроходности осевых насосов находится в пределах от 500 до 1500), при этом диаметр входа в рабочее колесо и диаметр выхода из него равны:

$$D_2/D_1=1$$

Поэтому жидкая среда перемещается вдоль оси насоса.





1 – всасывающая труба; 2 – рабочее колесо; 3 – лопасти; 4 – втулка; 5 – спрямляющий аппарат; 6 – колено; 7 – напорный трубопровод.

Жидкая среда из всасывающей трубы поступает в рабочее колесо (к входным кромкам лопастей) в своем направлении, и взаимодействуя с лопастями, закрепленными на втулке, получает приращение энергии. С выходных кромок лопастей жидкость выбрасывается в косом направлении (движется по винтовым линиям). Далее пройдя через лопатки спрямляющего аппарата, жидкость опять приобретает близкое к осевому направлению движения. Затем через направляющее колено, жидкость поступает в напорный трубопровод.

Осевые насосы обеспечивают большие подачи при сравнительно малых напорах (до 20...25 м). Недостатком данного типа насосов является низкая допустимая геометрическая высота всасывания (большой допустимый кавитационный запас), поэтому осевые насосы обычно устанавливают под нижний уровень жидкости в источнике с целью предотвращения кавитации.

### Элементы теории, напор и подача осевых насосов

Поскольку жидкая среда в пределах рабочего колеса осевых насосов перемещается в основном вдоль оси, при построении параллелограммов или треугольников скоростей необходимо учитывать две особенности:

1. Окружные скорости всех точек лопастей рабочего колеса на данном цилиндрическом сечении равны и определяются частотой вращения и радиусом сечения:

$$u_1 = u_2 = u = \frac{2\pi r n}{60},$$

2. Осевые составляющие векторов абсолютной и относительной скоростей течения во всех точках данного цилиндрического сечения должны быть одинаковы:

$$v_1 \sin \alpha_1 = \omega_1 \sin \beta_1 = v_2 \sin \alpha_2 = \omega_2 \sin \beta_2$$

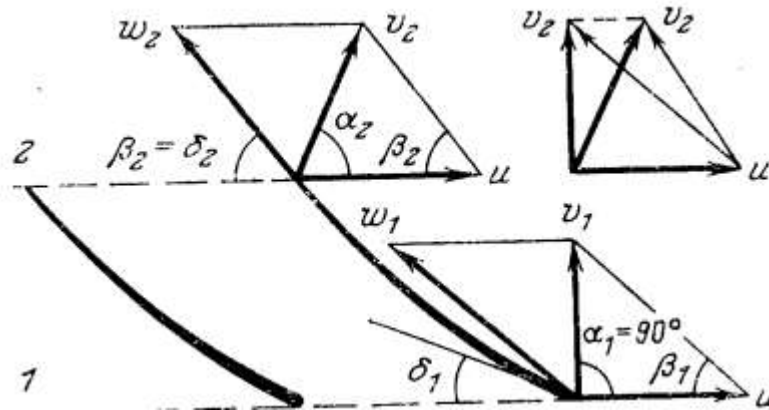
Если принять равномерное распределение осевых компонент скоростей по сечению, то

$$v_i \sin \alpha_i = \omega_i \sin \beta_i = \frac{Q}{\frac{\pi(D-d_{BT})^2 \psi}{4}},$$



где  $D$  – диаметр рабочего колеса;  $d_{\text{вт}}$  – диаметр втулки;  $\psi$  – коэффициент стеснения потока лопастями ( $\psi < 1$ ).

С учетом этого параллелограммы и треугольники скоростей в рабочем колесе осевого насоса имеют вид:



На входной кромке 1 скорость  $u_1 = u = \frac{2\pi r n}{60}$ . Считая, что  $\alpha_1 = 90^\circ$ , получим:

$$v_1 = \frac{Q}{\frac{\pi(D-d_{\text{вт}})^2 \psi}{4}}$$

По  $u$  и  $v_1$  строится параллелограмм и находятся  $\omega_1$  и  $\beta_1$ . На выходной кромке 2, считая, что  $\beta_2 = \delta_2$ , определяют  $\omega_2$ :

$$\omega_2 = \frac{4Q}{\pi(D-d_{\text{вт}})^2 \psi \sin \beta_2}$$

Далее строят параллелограмм по  $u$  и  $\omega_2$ .

Для определения напора осевых насосов применяется формула, аналогичная формуле для центробежных насосов, но с учетом  $u_1 = u_2 = u$ :

$$H = \frac{\eta_{\text{г}}}{g} u(v_{2u} - v_{1u}),$$

а с учетом  $\alpha_1 = 90^\circ$ ,

$$H = \frac{\eta_{\text{г}}}{g} u v_{2u}$$

Профилирование лопастей осуществляется таким образом, чтобы в каждом сечении напор был постоянным, т.е.  $u v_{2u} = \text{const}$ . Это достигается за счет изменения кривизны, толщины и длины профиля лопастей по радиусу колеса, а также угла их установки. Идеальная подача осевого насоса рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{и}} = v_{\text{м}} \frac{\pi}{4} (D^2 - d_{\text{вт}}^2) \psi$$

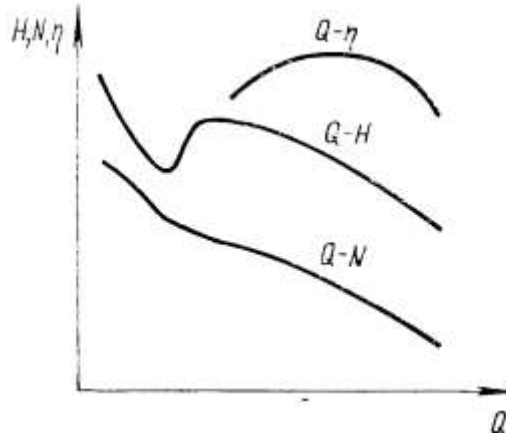
где  $v_{\text{м}}$  – меридиональная скорость, направленная вдоль оси рабочего колеса;  $D$  – диаметр рабочего колеса;  $d_{\text{вт}}$  – диаметр втулки;  $\psi$  – коэффициент стеснения потока лопастями.

Действительная подача равна:

$$Q = \eta_o Q_n .$$

### Характеристики осевых насосов, регулирование подачи и маркировка

Характеристики осевых насосов, так же, как и центробежных, представляют собой зависимости основных технических параметров (напора, мощности, КПД) от подачи при постоянной частоте вращения рабочего колеса:



Из зависимости  $N=f(Q)$  следует, что осевой насос потребляет наибольшую мощность при нулевой подаче. С увеличением подачи мощность насоса уменьшается.

У большинства осевых насосов предусмотрена возможность изменения угла установки лопастей, поэтому в каталогах для них приводят совмещенные характеристики, полученные для различных углов. Такие характеристики называются универсальными. Угол  $\varphi=0$  является расчетным, на который проектировалось рабочее колесо, поэтому соответствующая ему  $H-Q$  характеристика обычно проходит в области максимума КПД. Рекомендуемая область использования насоса на характеристике выделяется утолщенной линией. Пунктирными линиями показаны области допустимого кавитационного запаса.

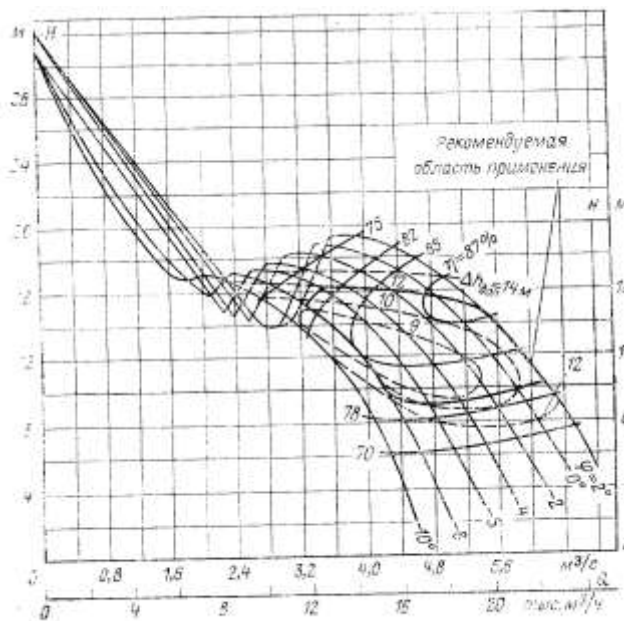


Рис. 12-2. Характеристика осевого насоса типа О112-110 ( $n = 485 \text{ об/мин}$ ,  $D = 1100 \text{ мм}$ ).

Регулирование подачи осевых насосов осуществляется изменением угла установки лопастей или изменением частоты вращения рабочего колеса. Регулировать подачу методом дросселирования с помощью задвижки очень неэкономично, так как при этом сильно падает напор насоса, и соответственно, КПД.

Осевые насосы выпускают восьми модификаций: К – с камерным подводом; МК – малогабаритный с камерным подводом; МБК – моноблочный с камерным подводом; Э – с электроприводом разворота лопастей; ЭГ – с электрогидроприводом разворота лопастей; КЭ – с камерным подводом и электроприводом разворота лопастей; МЭ – малогабаритный с электроприводом разворота лопастей; МКЭ – малогабаритный с камерным подводом и с электроприводом разворота лопастей. Обозначение насоса ОПВ 11-260 ЭГ означает: О – осевой; П – поворотной-лопастной; В – вертикальный; 11 – номер модели; 260 – диаметр рабочего колеса; ЭГ – с электрогидроприводом разворота лопастей.

## **Тема 12 Схемы и состав сооружений насосных станций мелиоративных систем**

*Классификация насосных станций. Схемы и состав сооружений насосных станций на осушительных системах. Схемы и состав сооружений насосных станций на оросительных системах. Схемы передвижных насосных станций*

### **Классификация мелиоративных насосных станций**

Мелиоративные насосные станции классифицируются по степени надежности, по подаче и по напору.

По степени надежности подачи или откачки воды мелиоративные станции подразделяются на три категории:

**I категория надежности** – насосные станции, подачи которых могут быть снижены не более чем на 30 % расчетных в течение не более чем 3-х суток. Отключение данных станций сверх установленной нормы может создать опасность для жизни людей или причинить значительный ущерб народному хозяйству – разрушение оборудования или отдельных сооружений, расстройство сложного технологического процесса.

**II категория надежности** – насосные станции, допускающие перерыв в подаче не более 5-ти часов или снижение подачи на 30 % в течение одного месяца. К данной категории относятся станции, отключение которых на время сверх установленной нормы может привести к большому материальному ущербу.

**III категория надежности** – все остальные насосные станции, не подходящие под определения первой и второй категорий надежности.

В зависимости от категории надежности насосной станции принимается количество резервных насосов:

I категория надежности – 1 резервный насос при количестве рабочих до 6;

II категория надежности – 1 резервный насос при количестве рабочих до 9;

III категория надежности – резервный насос не предусматривается.

По подаче мелиоративные насосные станции подразделяют на малые

(подача до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  вне зависимости от назначения и напора); средние (подача  $1 - 10 \text{ м}^3/\text{с}$ ); крупные (подача  $10 - 100 \text{ м}^3/\text{с}$ ); уникальные (подача более  $100 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

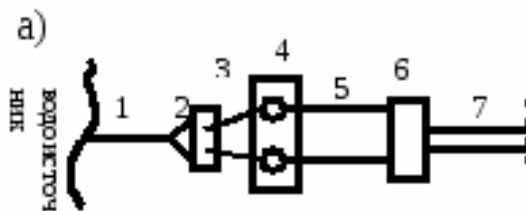
По напору их подразделяют на низконапорные (напор до  $20 \text{ м}$ ); средненапорные (напор  $20 - 60 \text{ м}$ ); высоконапорные (напор более  $60 \text{ м}$ ).

### Схемы насосных станций на оросительных системах

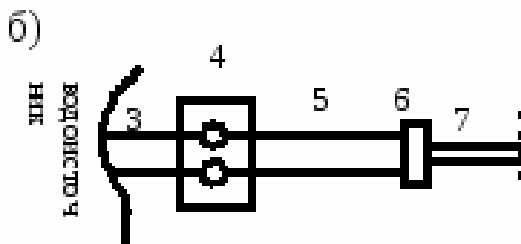
Для орошения сельскохозяйственных культур используется вода как из открытых водоисточников (рек, озер, водохранилищ), так и из закрытых (шахтных колодцев, артезианских скважин). При заборе воды из открытых водоисточников может устраиваться береговой или русловой тип водозабора.

При береговом типе водозабора все его элементы строятся на берегу водоисточника и могут располагаться либо в удалении от уреза воды (раздельный тип), либо непосредственно на урезе воды в водоисточнике (совмещенный тип).

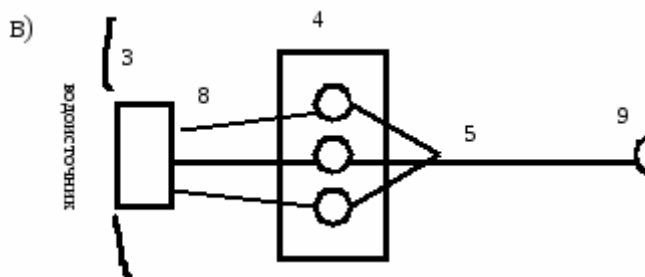
На рис. 1 изображен гидроузел берегового типа, в котором насосная станция удалена от водоисточника (раздельный тип) и не совмещена с водозаборным сооружением.



На рис. 2 насосная станция совмещена и с водоисточником, и с водозаборным сооружением (совмещенный тип).



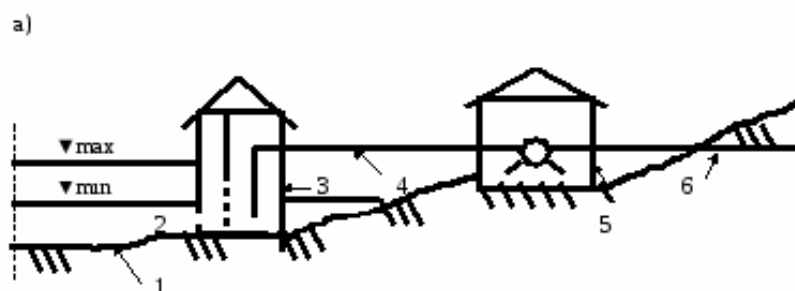
На рис. 3 насосная станция совмещена с водоисточником, но раздельная с водозаборным сооружением (совмещенный тип).



1- водоподводящий канал, 2-аванкамера, 3-водозаборное сооружение, 4-здание насосной станции, 5-напорные трубопроводы, 6-водовыпускное сооружение,

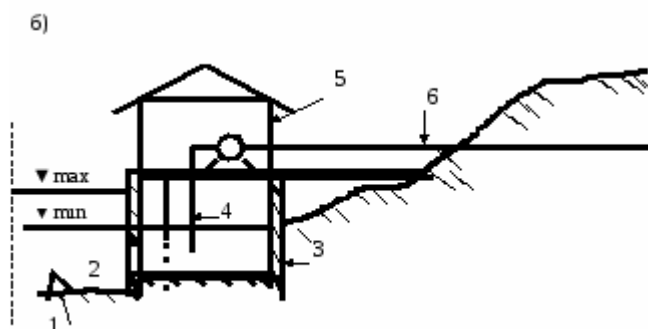
7-водоотводящий канал, 8-всасывающие трубы, 9-гидрант.

Русловой тип гидроузла применяется в том случае, когда русло водоисточника пологое и колебания уровней воды значительные. Здесь водозаборное сооружение выносится в такое место русла реки, где имеется достаточная глубина воды.



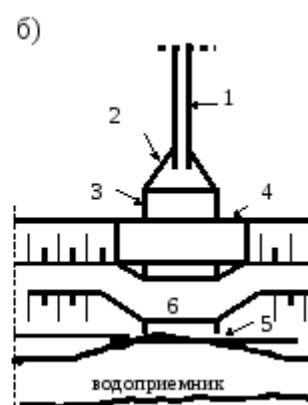
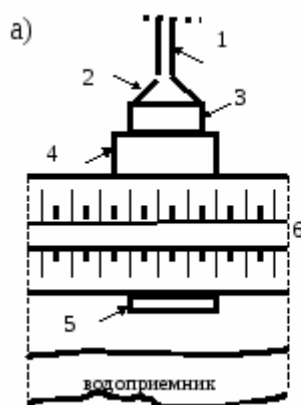
1 - водоисточник (река или водохранилище); 2 - входное окно; 3 - водозаборное сооружение; 4 - всасывающая труба; 5 - здание насосной станции; 6 - напорный трубопровод

Иногда водозаборное сооружение совмещают с насосной станцией.



### Схемы насосных станций на осушительных системах

Осушительные насосные станции строятся на польдерных осушительных системах с машинным водоподъемом. Забор воды всегда осуществляется из магистрального канала, а водозаборное сооружение чаще всего совмещено со зданием насосной станции. Водоприемником здесь может являться река или водоналивное водохранилище. Осушительная насосная станция может располагаться перед дамбой, в ее теле, или за дамбой, т.е. в водоисточнике (на барже или понтоне). Место ее расположения зависит от типа применяемого гидромеханического оборудования и от условий строительства и эксплуатации.

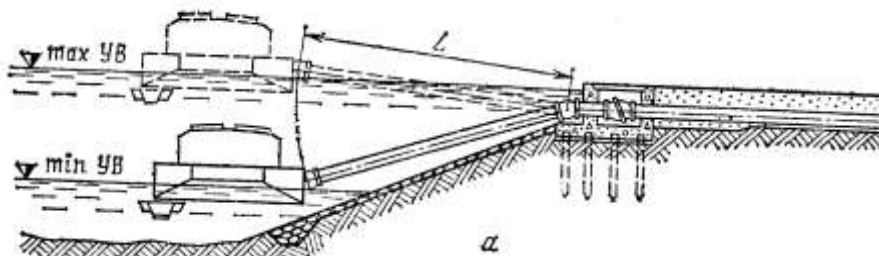


а) насосная станция расположена перед дамбой; б) в теле дамбы.  
 1-подводящий канал; 2-аванкамера; 3-водозаборное сооружение; 4-здание насосной станции; 5-водовыпускное сооружение; 6-дамба обвалования.

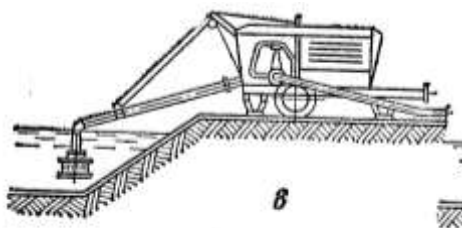
### Схемы передвижных насосных станций

Передвижные насосные станции и установки применяют на небольших объектах (площадь орошения до 500 га) при сложных природных условиях, или в качестве временных сооружений, когда строительство стационарных гидротехнических сооружений экономически не оправдано. Передвижные насосные станции и установки дешевле стационарных при строительстве, но в несколько раз дороже в эксплуатации, они относятся к III категории надежности. Данные насосные станции бывают плавучие, передвижные наземные и фуникулерные.

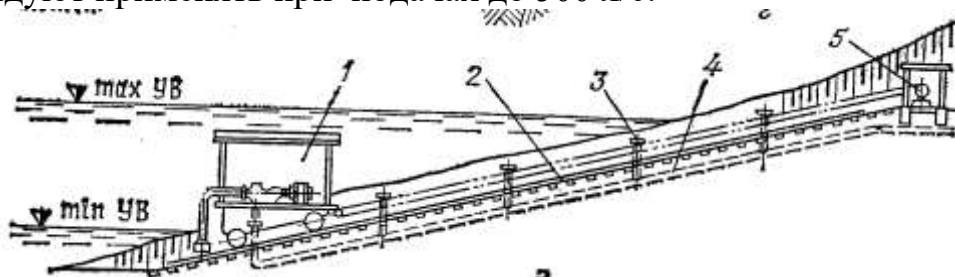
Плавучие станции используют при водозаборе из поверхностных источников с неустойчивыми берегами и колебаниями уровней воды более 5 метров:



Передвижные наземные станции используют при водозаборе из поверхностных источников для орошения небольших участков (до 500 га), и для водоотлива из котлованов во время строительства:



Фуникулерные станции используют при водозаборе из поверхностных источников с амплитудой колебаний уровней воды, превышающей допустимую высоту всасывания насоса. Этот тип насосных установок рекомендуют применять при подачах до 500 л/с:



### **Тема 13 Водозаборные сооружения насосных станций**

*Назначение и классификация водозаборных сооружений и требования, предъявляемые к ним. Русловые и береговые типы водозаборных сооружений. Водозаборные сооружения на тупиковом канале (ковшовый, камерные)*

#### **Классификация водозаборных сооружений и требования, предъявляемые к ним**

Водозаборным сооружением называется головная часть гидроузла насосной станции, служащая для забора воды из источника и подвода ее к насосам.

В зависимости от назначения насосной станции различают водозаборные сооружения для оросительных станций, для осушительных станций, для станций хозяйственно-питьевого или промышленного водоснабжения.

В зависимости от вида соединения с насосной станцией водозаборные сооружения подразделяются на сооружения, совмещенные со зданием насосной станции, и на сооружения раздельного типа.

По расположению в отношении водоисточника водозаборные сооружения бывают русловые (их располагают в русле реки или в удалении от берега водохранилища), береговые (их располагают на берегу) и ковшовые (их располагают в искусственных заливах, отделяемых от основного русла дамбой).

По отношению к уровню воды в источнике водозаборные сооружения бывают затопленные (верх сооружения всегда находится ниже уровня воды), затопляемые (верх сооружения покрывается водой только во время паводков), и не затопляемые.

При проектировании водозаборных сооружений нужно знать:

- минимальные уровни воды летом и зимой, чтобы правильно расположить водоприемные отверстия;
- максимальный паводковый уровень, чтобы обоснованно назначить отметку верха водозаборного сооружения, имеющего как подводную, так и надводную часть;
- максимальный и минимальный уровни воды в период ледохода для учета воздействия льда на водозаборные сооружения.

При проектировании также учитываются инженерно-геологические сведения о структуре, прочности и устойчивости грунтов, о сопротивляемости дна и берегов реки размыву, о возможности появления оползней и т.д.

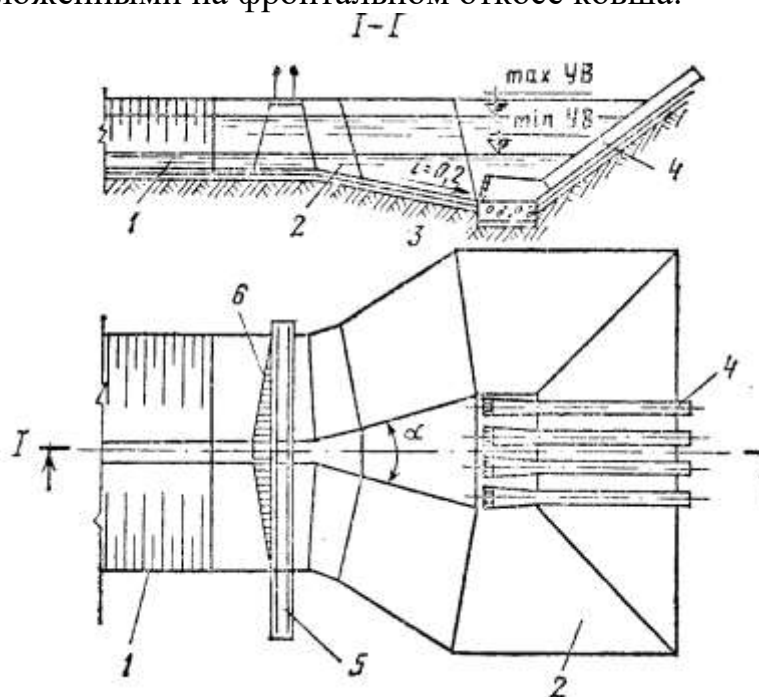
При выборе места расположения водозаборного сооружения на реке надо соблюдать следующие правила:

- располагать сооружение как можно ближе к орошаемой территории;
- располагать сооружение в пределах устойчивого участка русла на вогнутом берегу, в зоне наибольших глубин;
- избегать расположения сооружения ниже притоков, несущих много наносов, в местах скопления рыбы, в местах нагона плавника и водорослей;

- при отсутствии достаточных глубин в реке рассматривать возможность применения подводных каналов.

### Ковшовые водозаборные сооружения

Ковшовые водозаборные сооружения наиболее часто устраивают на тупиковых каналах. Данные сооружения имеют простейшую конструкцию, и требуют минимального объема строительных работ, но их применение ограничено подачей одного насоса не более  $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ . Сооружение состоит из двух частей: аванкамеры (сопрягает канал с водоприемником) и ковша (водоприемника), из которого вода забирается всасывающими трубами насосов, расположенными на фронтальном откосе ковша.



где: 1 – подводный канал; 2 – аванкамера; 3 – ковш; 4 – всасывающие трубопроводы насосов; 5 – служебный мостик; 6 – выносная сороудерживающая решетка; 7 – входные конуса с решетками на входе в трубопроводы.

Диаметр входного отверстия входного конуса составляет  $1,25 \dots 1,5$  диаметра всасывающего трубопровода:

$$D_{\text{вх}} = (1,25 \dots 1,5) d_{\text{вс.}}$$

Расстояние между осями всасывающих трубопроводов:

$$l_{\text{о.вс.}} = (3 \dots 4) D_{\text{вх.}}$$

Заглубление верхней кромки входного отверстия приемного конуса под минимальный уровень воды:

$$h_{\text{з.в.кр.}} = 1,5 D_{\text{вх.}}, \text{ но не менее } 0,5 \text{ м.}$$

Центральный угол конусности аванкамеры не должен превышать  $45^\circ$ , но не менее  $30^\circ$ , прямой уклон дна –  $i=0,2$ .

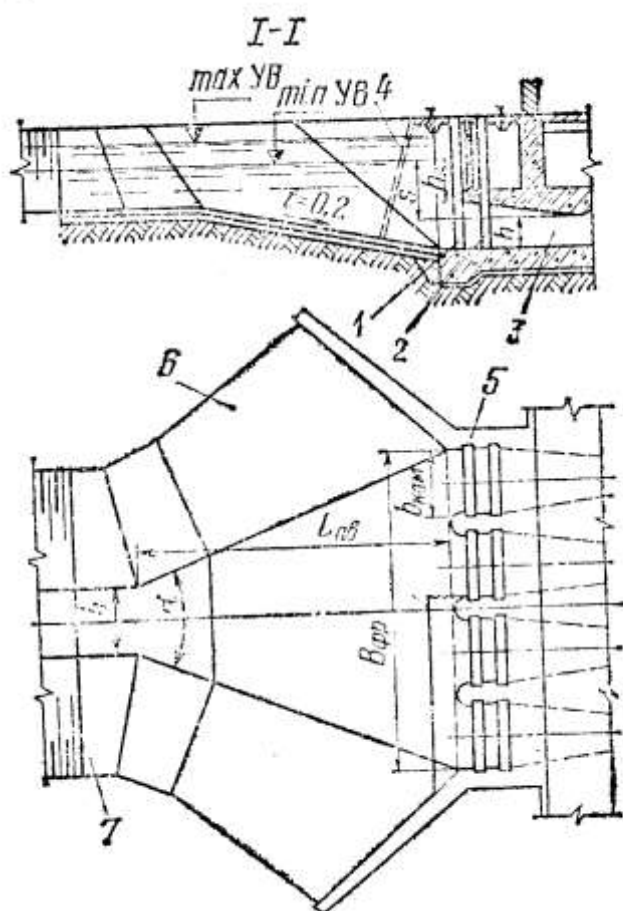
### Камерные водозаборные сооружения совмещенного типа

Они могут быть совмещенными со зданием станции, или отдельными с ним.



Совмещенные камерные водозаборные сооружения применяются в основном для станций, оборудованных вертикальными центробежными или осевыми насосами. Число камер соответствует количеству установленных насосов, между собой они разделяются быками. Ширина водоприемной камеры определяется расстоянием между насосами, всасывающий трубопровод насоса в данных сооружениях выполняется в монолитном бетонном блоке подземной части здания насосной станции.

Камерное водозаборное сооружение совмещенного типа на водоподводящем канале



1 – паз для сороудерживающей решетки; 2 – паз ремонтного затвора; 3 – всасывающая труба насоса; 4 – выносная сороудерживающая решетка; 5 – камерный водоприемник; 6 – аванкамера.

Минимальное заглубление низшей точки верхней образующей входного отверстия подводящей трубы под минимальный уровень воды определяют по формуле:

$$S = 0,52 v h^{0,5}$$

где:  $s$  – заглубление отверстия;  $v$  – скорость в сжатом сечении, м/с;  $h$  – высота сжатого сечения, м.

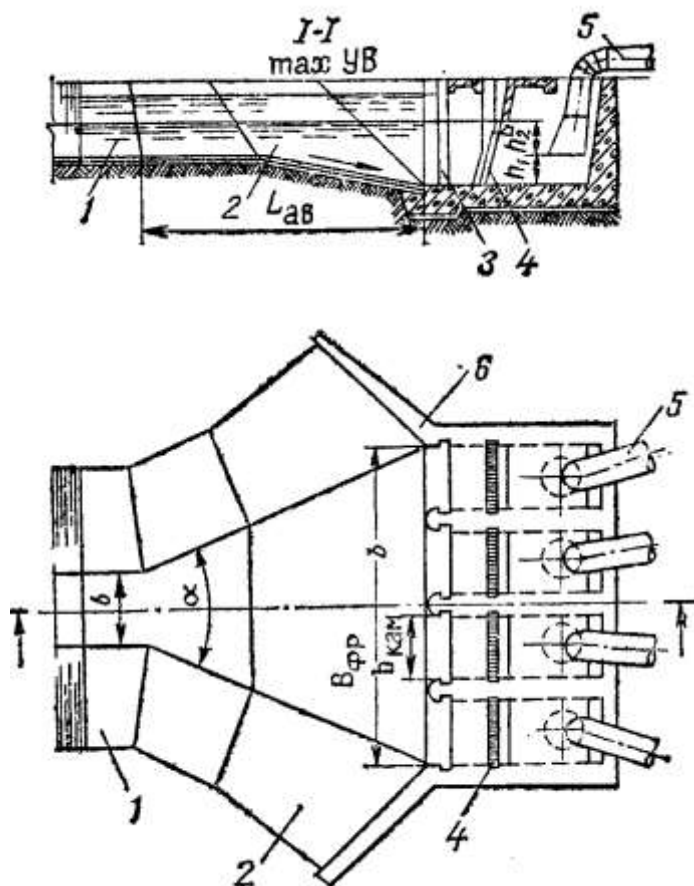
Минимальное заглубление верха входного отверстия  $h_b$  принимают не менее 0,5 м.

### Камерные водозаборные сооружения отдельного типа

Раздельные камерные водозаборные сооружения применяют для станций, оборудованных горизонтальными центробежными насосами. Их

устанавливают при подаче насоса более  $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ . Число камер соответствует количеству установленных насосов, между собой они разделяются быками толщиной  $0,6...0,8 \text{ м}$ .

Камерное водозаборное сооружение раздельного типа на водоподводящем канале



1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – паз ремонтного затвора; 4 – сороудерживающая решетка; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – камерный водоприемник.

Ширина водоприемной камеры определяется из соотношения:

$$b_{\text{кам}} = 1,5 D_{\text{вх}},$$

где  $D_{\text{вх}}$  – диаметр входного отверстия всасывающего конуса, которое рассчитывается на скорость входа воды  $0,8...1 \text{ м/с}$ . После расчета вычисленное значение  $b_{\text{кам}}$  округляют до ближайшего стандартного значения:  $0,8; 1$ ; далее через  $0,25$  до  $2,5 \text{ м}$ , и через  $0,5$  от  $2,5$  до  $5 \text{ м}$ .

Расстояние входного отверстия всасывающей трубы от дна:

$$h_1 = 0,8 D_{\text{вх}}$$

Заглубление верха входного отверстия под минимальный уровень:

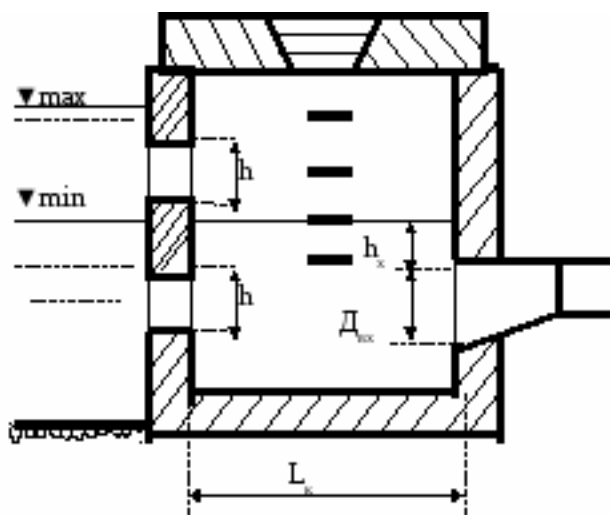
$$h_2 = 0,6 D_{\text{вх}}, \text{ но не менее } 0,5 \text{ м.}$$

Длина водоприемной камеры принимается не менее  $3 D_{\text{вх}}$  для вертикальных всасывающих труб, и не менее  $2 D_{\text{вх}}$  для горизонтальных всасывающих труб. Вертикальные всасывающие трубы располагают у задних стенок камер.

### Береговые камерные водозаборные сооружения раздельного типа

Данные сооружения располагаясь на урезе воды естественного

видоисточника отгорожены от него лобовой стенкой, в которой сделаны водозаборные окна. Число камер принимается равным числу установленных насосов.



Площадь водозаборных окон определяется исходя из оптимальной скорости 0,5...0,7 м/с, а их ширина  $b=1.25h$ .

Ширина камеры водозаборного сооружения принимается равной  $3D_{вх}$ , но не менее 2 м.

Длина камеры определяется по формуле:

$$L_k = \frac{Q_n \cdot K}{B_k (D_{вх} + h_x)}$$

где:  $Q_n$  – подача насоса;  $h_x$  – заглубление верха трубы под минимальный уровень, принимается равным  $D_{вх}$ , но не менее 0,5 м и не более 1 м;  $K$  – коэффициент секундного водообмена, определяется по формуле:

$$K = W_k / Q_n$$

где:  $W_k$  – объем воды в камере при минимальном уровне, который может забрать насос. Коэффициент секундного водообмена зависит от типа насоса и его производительности. Принимается не меньше 15...30 с. Длина камеры также должна быть не менее 2 м.

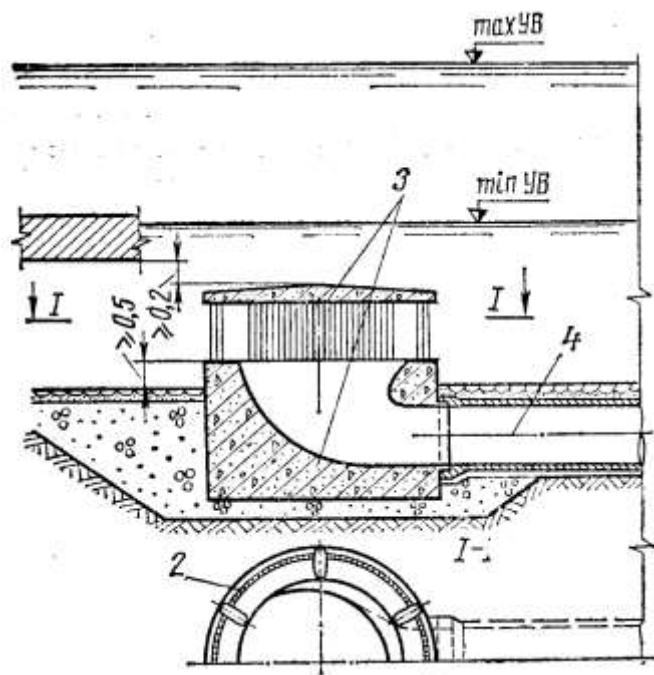
### Русловые водозаборные сооружения на реках

Русловые водозаборные сооружения устраивают при пологих берегах и дне реки, когда требуемые для забора воды глубины находятся на большом расстоянии от берега. Они как правило, имеют раздельную компоновку, и состоят из оголовка, расположенного непосредственно в русле, самотечных водоводов и берегового колодца, из которого вода забирается насосами.

Оголовки могут быть затопленными, затопляемыми и незатопляемыми.

Затопленные оголовки используются наиболее часто. Их располагают ниже минимального уровня воды и нижней кромки ледяного покрова при ледоставе.

затопленный оголовок



1 – оголовок; 2 – водоприемные отверстия с решетками; 3 – самотечные водоводы.

Необходимую глубину реки в месте расположения затопленного оголовка при минимальном летнем уровне воды можно определить по формуле:

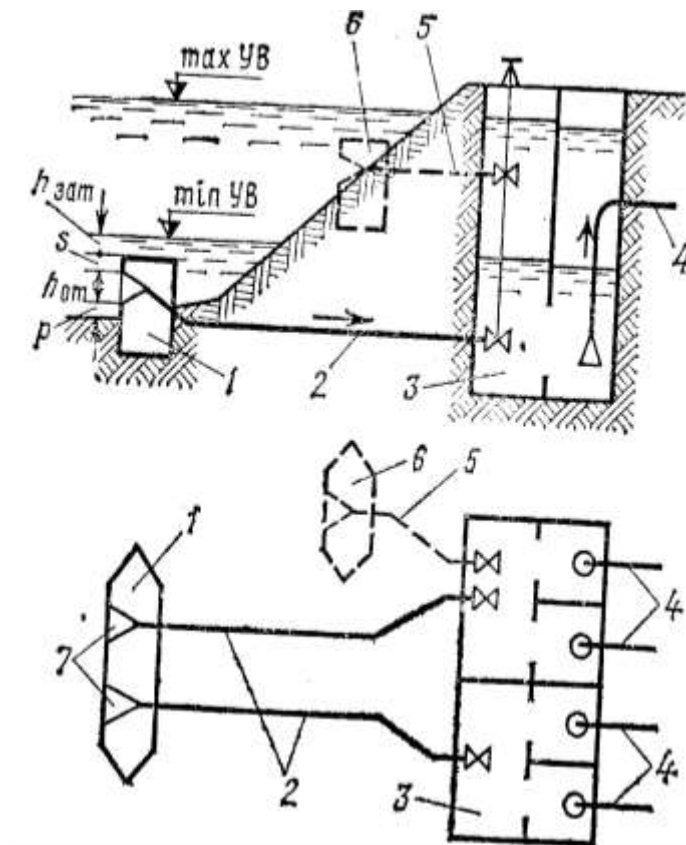
$$H_p = p + h_{от} + s + h_{зат}, \text{ м}$$

где:  $p$  – высота порога, не менее 0,5 м;  $h_{от}$  – высота отверстий, из расчета скорости входа воды в оголовок 0,1...0,3 м/с;  $s$  – высота от верха отверстия до верха оголовка, зависит от конструкции оголовка, составляет 0,05...0,3 м;  $h_{зат}$  – высота слоя воды над верхом оголовка, не менее 0,3 м.

Самотечные водоводы обычно выполняют из железобетонных, асбестоцементных или стальных труб. Их укладывают с постоянным уклоном не менее 0,001, чтобы исключить образование воздушных мешков и скопление наносов. Диаметр водоводов рассчитывают по допускаемым скоростям в интервале 0,7...1,5 м/с.

Береговой колодец может быть сделан как отдельно, так и в одном блоке с насосной станцией, если глубина заложения их оснований близка. Его форма в плане может быть круглой или прямоугольной. Обычно береговой колодец строят методом опускного колодца. В дне колодца предусматривают приямок с грязевым насосом для сбора и удаления наносов.

Схема руслового раздельного водозаборного сооружения



1, 6 – затопленные оголовки; 2, 5 – самотечные водоводы; 3 – береговой колодец; 4 – всасывающие трубы насосов; 7 – водоприемные отверстия.

### Тема 14 Основное и вспомогательное оборудование насосных станций

*Определение расчетной подачи и напора насосных станций. Выбор числа насосных агрегатов. Размещение основных насосов в плане и вертикальной плоскости. Всасывающие и проводящие трубопроводы. Напорные трубопроводы, их проектирование и расчет. Трубопроводная арматура насосных станций. Оборудование для заливки насосов перед их запуском в работу. Дренажно-осушительные системы. Подъемно-транспортное оборудование*

#### Определение расчетной подачи мелиоративных насосных станций и числа основных насосов

В соответствии с требованиями ТКП 45-3.04-8-2005 расчетная подача мелиоративной насосной станции определяется:

1. При поверхностном поливе – максимальной ординатой графика водопотребления с учетом коэффициента форсировки:

$$Q_{н.с.} = K_{\phi} q_{max}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где  $K_{\phi}=1,2...1,3$  при  $q_{max} < 1 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $K_{\phi}=1,15...1,2$  при  $q_{max} = 1...10 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $K_{\phi}=1,1...1,15$  при  $q_{max} > 10 \text{ м}^3/\text{с}$ .

2. При дождевании – графиком полива с учетом максимального числа одновременно работающих машин и их параметров:

$$Q_{н.с.} = q_{д.м.} n_{max}, \text{ л/с}$$

где  $Q_{д.м.}$  – нормативный расход дождевальной машины, л/с;

$n_{max}$  – максимальное число одновременно работающих дождевальных машин.

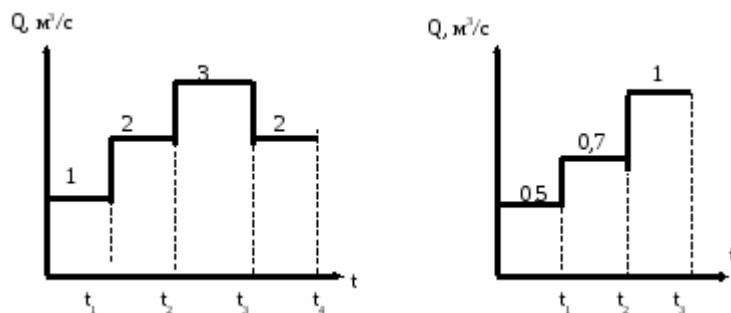
2. При осушении – максимальной ординатой графика откачки с учетом использования регулирующей емкости системы:

$$Q_{н.с.} = q_{max}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где  $q_{max}$  – максимальная ордината графика расходов воды по периодам,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Число рабочих агрегатов мелиоративных насосных станций определяют из условия лучшего покрытия графиков водопотребления или откачки. Для этого график водопотребления перестраивают в график водоподачи со ступенчатым характером изменения подачи во времени при сохранении общего объема подаваемой воды. К примеру, для 1-го графика водоподачи, представленного на рисунке, можно принять 3 рабочих насоса с расчетным расходом каждого  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ , а для 2-го – 2 насоса с расчетным расходом

каждого  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и один насос с расходом  $0,2$



каждого насос с  $\text{м}^3/\text{с}$ .

В общем случае, для наиболее полного покрытия графиков водопотребления или откачки число рабочих насосов определяется по формуле:

$$n_p = \frac{Q_{max}}{Q_{min}},$$

где  $Q_{max}$  – максимальная подача насосной станции, соответствующая максимальной ординате графика водоподачи,  $Q_{min}$  – соответственно минимальная подача.

В случаях, когда мелиоративная насосная станция работает без регулирующей емкости, отношение  $\frac{Q_{max}}{Q_{min}}$  может принимать большие значения, что приводит к неоправданному завышению числа рабочих насосов. В таких случаях следуют рекомендациям ТКП 45-3.04-8-2005:

при максимальной подаче насосной станции до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  принимают 2...4 рабочих насоса, при подаче  $1...5 \text{ м}^3/\text{с}$  – 3...5 рабочих насосов, при подаче  $5...30 \text{ м}^3/\text{с}$  – 4...6 рабочих насосов. Не рекомендуется принимать более 8 рабочих насосов. На оросительных станциях III категории надежности допускается установка одного насоса с подачей до  $400 \text{ л/с}$  и мощностью до  $150 \text{ кВт}$ .

Кроме рабочих, на мелиоративных насосных станциях должны быть установлены резервные насосы:

на насосных станциях I категории надежности при числе рабочих агрегатов 1...4 – 1 резервный насос, а при большем числе – 2;

на насосных станциях II категории надежности при числе рабочих агрегатов 1...8 – 1 резервный насос, а при большем числе – 2;

на насосных станциях III категории надежности резервные насосы, как правило, не предусматриваются.

### Определение расчетного напора мелиоративных насосных станций

Расчетный напор мелиоративной насосной станции, работающей на закрытую оросительную сеть (орошение дождеванием), определяется для максимальной подачи. При этом насосы должны обеспечить свободный напор, требуемый для работы дождевальной машины:

$$H_p = H_{\Gamma} + H_{\text{д.м.}} + H_l + H_M + H_c, \text{ м}$$

где  $H_{\Gamma}$  – геометрическая высота подъема воды, м:

$$H_{\Gamma} = \nabla_{\text{д.г.}} + \nabla_{\text{у.в. min}}$$

$\nabla_{\text{д.г.}}$  – отметка поверхности земли у диктующего гидранта, м;

$\nabla_{\text{у.в. min}}$  – отметка минимального уровня воды в водохранилище, м;

$H_{\text{д.м.}}$  – требуемый напор гидранта дождевальной машины, м;

$H_l$  – потери напора по длине напорного трубопровода, м;

$H_M$  – потери напора в местных сопротивлениях, м;

$H_c$  – потери напора в трубопроводах оросительной сети, м.

Потери напора по длине напорного трубопровода определяют по формуле:

$$H_l = il_{\text{тр}}, \text{ м}$$

где  $i$  – удельные потери напора, м/км;

$l_{\text{тр}}$  – длина напорного трубопровода, км.

Рекомендуемые удельные потери напора зависят от расчетной подачи насосной станции: при подаче менее 3 м<sup>3</sup>/с – 4 м/км; при подаче 3...10 м<sup>3</sup>/с – 3..3,5 м/км; при подаче более 10 м<sup>3</sup>/с – 2,5...3 м/км.

Потери напора в местных сопротивлениях при использовании центробежных насосов принимают 1...1,5 м.

Расчетный напор осушительной насосной станции определяют по формуле:

$$H_p = H_{\Gamma.\text{ср}} + H_l + H_M, \text{ м}$$

где  $H_{\Gamma.\text{ср}}$  – средневзвешенная геометрическая высота подъема воды, м.

Средневзвешенную геометрическую высоту подъема определяют из отношения:

$$H_{\Gamma.\text{ср}} = \frac{\sum Q_i H_i t_i}{\sum Q_i t_i}, \text{ м}$$

где  $Q_i$  и  $H_i$  – подача и геометрическая высота подъема воды по периодам  $t_i$ , принимаемые по графику водоподачи и отметкам уровней воды в верхнем и

нижнем бьефах:

$$H_i = \nabla_{\text{ВБ}} - \nabla_{\text{НБ}}, \text{ м.}$$

Расчет средневзвешенной геометрической высоты подъема воды проводят в табличной форме:

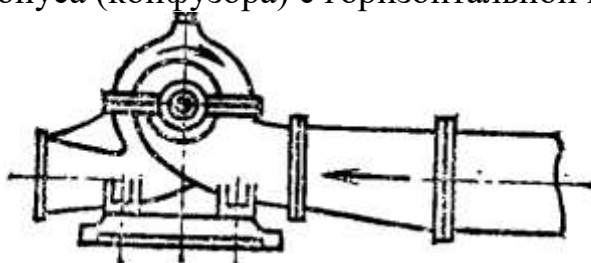
Период работы насосной станции	Число суток в периоде $t_i$	Подача насосной станции $Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	Отметка уровня воды, м		Геометрическая высота подъема $H_{Гi}, \text{ м}$	$Q_i \cdot H_i \cdot t_i$	$Q_i \cdot t_i$
			в верхнем бьефе	в нижнем бьефе			
1	2	3	4	5	6	7	8
						$\Sigma$	$\Sigma$

При использовании осевых насосов потери напора в местных сопротивлениях принимают в пределах 0,7...1,2 м.

### Всасывающие трубопроводы мелиоративных насосных станций

Всасывающими называются трубопроводы, в которых давление может быть ниже атмосферного. Основное требование, предъявляемое к всасывающим трубопроводам – это герметичность. При попадании в них воздуха снижается подача насоса и КПД, а также может произойти срыв работы насоса. Поэтому при проектировании всасывающих трубопроводов соблюдают следующие условия:

1. Всасывающие трубопроводы выполняют из стальных труб, их число равно числу насосов.
2. Всасывающие трубопроводы прокладывают без переломов в вертикальной плоскости с непрерывным подъемом к насосу, с уклоном не менее 0,005 во избежание воздушных мешков. Присоединение всасывающего трубопровода к всасывающему патрубку насоса осуществляется с помощью одностороннего конуса (конфузора) с горизонтальной верхней образующей:



Длину конфузора рассчитывают по формуле:

$$l_k = (3,5 \dots 4) (d_{\text{вс}} - D_{\text{вс}}), \text{ м}$$

где  $d_{\text{вс}}$  – диаметр всасывающего трубопровода;

$D_{\text{вс}}$  – диаметр всасывающего патрубка насоса.

3. Всасывающие трубопроводы устраивают по возможности короткими (не более 50 м) с минимальным числом стыков. Перед насосом должен быть прямой участок трубопровода не менее  $2d_{\text{вс}}$ .

4. Диаметр всасывающего трубопровода не должен быть меньше диаметра всасывающего патрубка насоса, его рассчитывают по скорости движения воды: при  $d_{\text{вс}} < 250 \text{ мм}$   $v_{\text{вс}} = 0,7 \dots 1 \text{ м/с}$ ; при  $250 \text{ мм} < d_{\text{вс}} < 800 \text{ мм}$   $v_{\text{вс}} = 1 \dots 1,5 \text{ м/с}$ ; при  $d_{\text{вс}} > 800 \text{ мм}$   $v_{\text{вс}} = 1,5 \dots 1,8 \text{ м/с}$ .

5. Когда уровень в источнике может превышать отметки установки насосов,

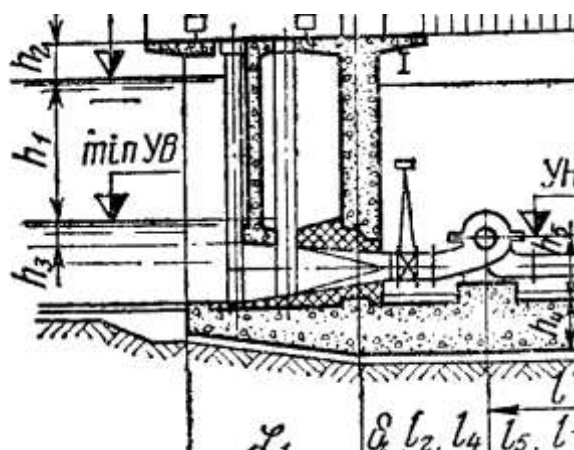


на всасывающих трубопроводах предусматривают задвижки.

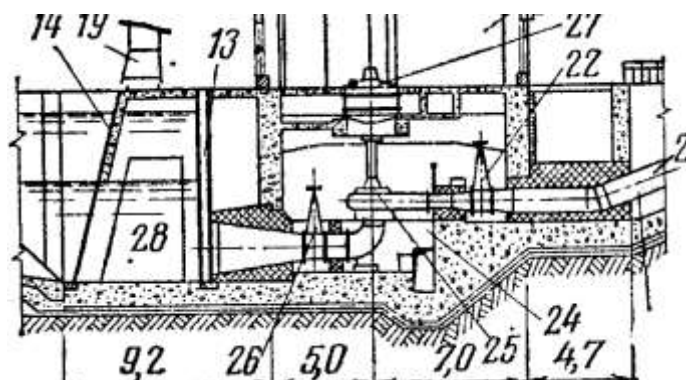
### Подводящие трубопроводы мелиоративных насосных станций

Подводящими называются трубопроводы, в которых давление всегда выше атмосферного, т.е. уровень воды в источнике всегда выше отметки верха трубопровода. Требования к герметичности данных трубопроводов не такие высокие, поэтому они могут выполняться как из стальных труб, так и из сборного или монолитного железобетона.

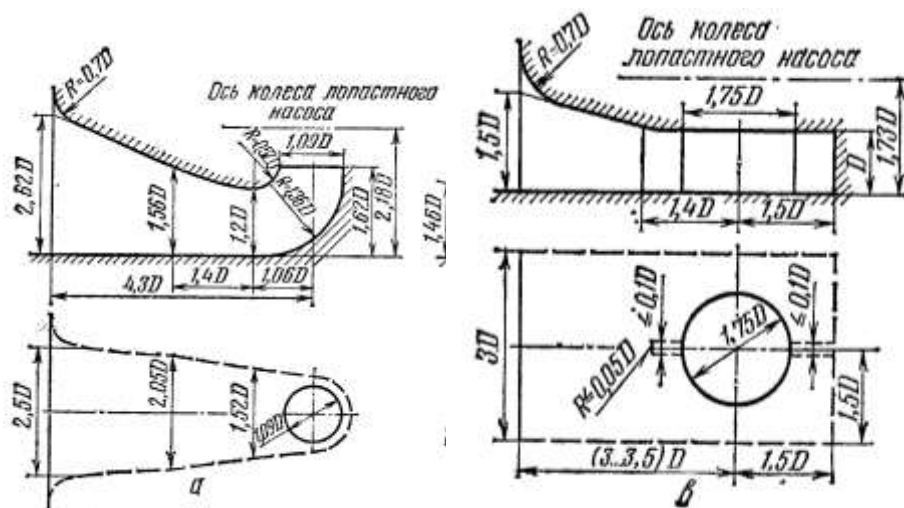
Для насосных станций камерного типа, оборудованных насосами типа Д стальную подводящую трубу прокладывают в машинном зале выше пола. Задвижку устанавливают непосредственно у насоса, на участке трубопровода, когда его диаметр равен диаметру всасывающего патрубка насоса:



Для насосных станций камерного типа, оборудованных вертикальными центробежными насосами типа В подводящий трубопровод состоит из одностороннего стального конуса сужения, жестко заделанного в стену, задвижки, монтажной вставки и сварного стального колена переменного сечения:



Для насосных станций блочного типа подводящие трубопроводы устраивают в самом здании насосной станции – в бетонном армированном блоке, находящимся в основании станции. При больших диаметрах входного патрубка насоса подводящий трубопровод для снижения потерь устраивают криволинейным (коленчатый подвод), а при небольших диаметрах входного патрубка (1100мм и менее) – с камерным:



## Внутристанционные напорные трубопроводы мелиоративных насосных станций

Внутристанционные напорные трубопроводы изготавливают из стальных труб. По данным трубопроводам осуществляется подача воды от насосов к напорным водоводам, число которых может быть равным числу насосов, или меньшим его. Диаметр внутристанционного трубопровода должен быть не менее диаметра нагнетательного патрубка насоса, его определяют по формуле:

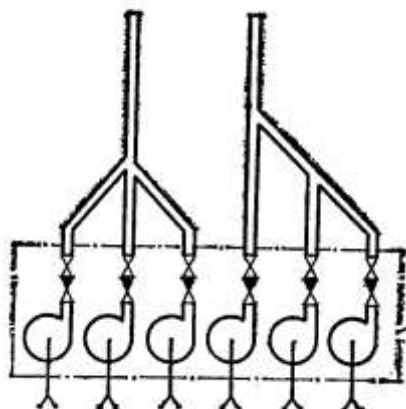
$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4Q_{1\text{н}}}{\pi v_{\text{н}}}},$$

где  $Q_{1\text{н}}$  – подача 1 насоса, м<sup>3</sup>/с;

$v_{\text{н}}$  – рекомендуемая скорость движения воды в напорных трубопроводах, м/с.

Рекомендуемые скорости принимают в зависимости от диаметра трубопровода: при  $d_{\text{н}} < 250$  мм  $v_{\text{н}} = 1,5 \dots 2,0$  м/с; при  $250 \text{ мм} < d_{\text{н}} < 800$  мм  $v_{\text{н}} = 2 \dots 3$  м/с; при  $d_{\text{н}} > 800$  мм  $v_{\text{н}} = 3 \dots 4$  м/с.

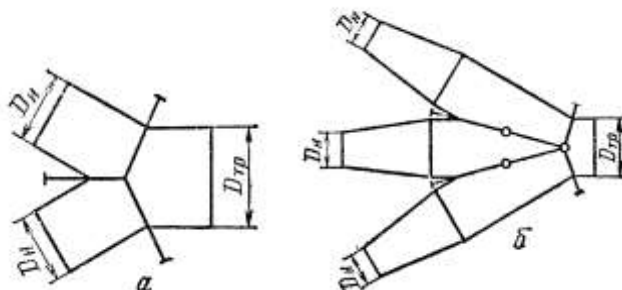
На станциях, оснащенных центробежными насосами, внутристанционные напорные линии, как правило, соединяют с напорными водоводами вне здания станции:



Для снижения потерь напора во внутристанционных трубопроводах их прокладывают без резких поворотов и соединений с углами 90°. К одному напорному водоводу рекомендуется подключать не более 4...5 параллельно

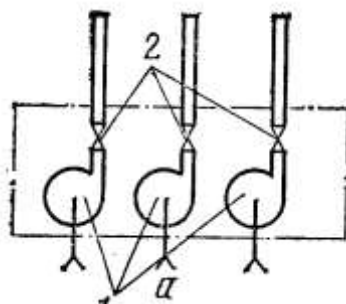
работающих насосов, обычно 2...3:

Схемы соединения внутриванционных напорных линий с водоводом



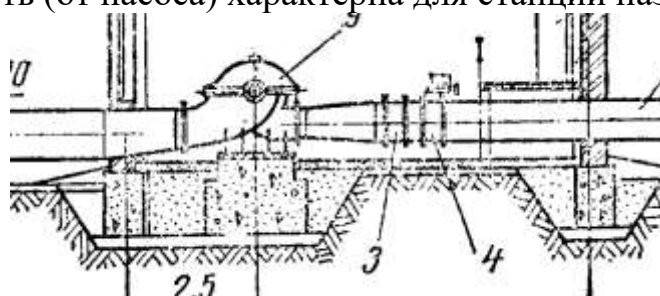
При соединении двух насосов линии соединяются под углом  $60^{\circ}$ , а при соединении трех – под углом  $45^{\circ}$ .

На станциях блочного типа, оснащенных осевыми насосами, параллельная работа нескольких насосов на общий водовод не практикуется, поскольку при этом сильно затрудняется их пуск, поэтому обычно осевые насосы работают на индивидуальные трубопроводы:

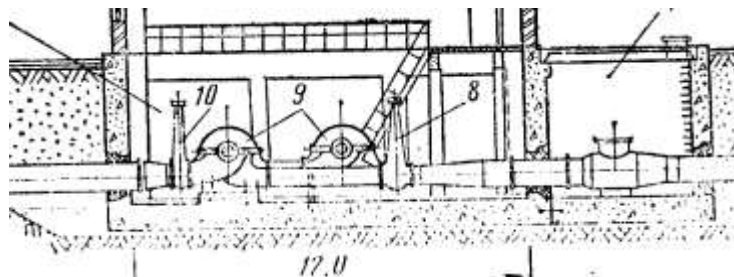


### Трубопроводная арматура

Напорные коммуникации мелиоративных насосных станций, оснащенных центробежными насосами, обычно включают следующую трубопроводную арматуру: диффузор, обратный клапан, монтажную вставку (сальниковый компенсатор), задвижку (дисковый затвор). Данная последовательность (от насоса) характерна для станций наземного типа:



Для станций камерного типа данная последовательность изменяется с целью снижения ширины здания: монтажная вставка, обратный клапан, задвижка, диффузор. При такой схеме диаметры всей арматуры, кроме диффузора, равны диаметру напорного патрубка насоса:



Обратные клапаны часто выносят за пределы здания станции и устанавливают их в специальных колодцах, что также позволяет уменьшить ширину здания станции.

Пуск осевых насосов осуществляется на незаполненные водой напорные трубопроводы, поэтому установки задвижки и обратного клапана в данном случае не требуется. Напорные коммуникации при этом состоят из отвода под углом  $30^{\circ}$  и диффузора (для осевых насосов в обычном исполнении с отводом  $60^{\circ}$ ), или только из диффузора (для осевых насосов в малогабаритном исполнении с отводом  $90^{\circ}$ ). При этом диффузор жестко заделывается в стену подземной части здания станции.

Длина диффузора определяется из соотношения:

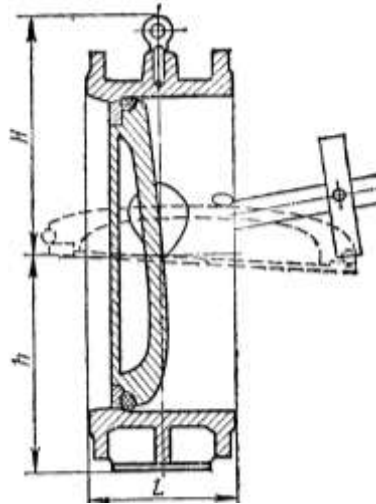
$$l_d = (6 \dots 7) (d_n - D_n), \text{ м}$$

где  $d_n$  – диаметр внутристанционного напорного трубопровода;

$D_n$  – диаметр нагнетательного патрубка насоса.

Сальниковые компенсаторы и монтажные вставки используют для соединения трубопровода с насосом и компенсации термических колебаний длины стальных труб. Сальниковые компенсаторы имеют стандартные диаметры условного прохода от 125 до 1200 мм, длину от 550 до 650 мм, и рабочее давление до 0,6 или до 1 Мпа. Монтажные вставки выполняют индивидуального изготовления, их длина меньше.

Назначение обратных клапанов – исключить обратное движение воды через насосы при их отключении, которое приводит к опорожнению напорных трубопроводов. Они бывают многодисковые и однодисковые. В основном используются однодисковые клапаны, которые бывают с эксцентричной подвеской и с верхней подвеской. Клапаны с эксцентричной подвеской меньше и дешевле, их длина не превышает их диаметр, а их диаметр практически равен наружному диаметру трубопровода:



Однако, потери напора в обратных клапанах с верхней подвеской меньше.

В качестве запорной арматуры на мелиоративных станциях применяют задвижки и дисковые поворотные затворы. Задвижки по конструкции запорной части делятся на параллельные и клиновые. Оба типа бывают с выдвигным и не выдвигным шпинделем. Задвижки с выдвигным шпинделем требуют больше места в вертикальной плоскости. При рабочем давлении до 1 МПа задвижки изготавливают из чугуна, а при большем -- из стали. Задвижки небольших диаметров и рассчитанные на небольшие давления имеют ручное управление (с помощью маховика или редуктора), а больших размеров и частом закрывании-открывании – с электрическим или гидравлическим приводом. Задвижки не рассчитаны на работу в положении частичного открытия, поэтому их необходимо открывать полностью, при том их сопротивление очень мало ( $\xi=0,06$ ).

Дисковые поворотные затворы по сравнению с задвижками имеют меньшие габариты, массу и стоимость, однако в положении полного открытия коэффициент сопротивления затвора больше, чем у задвижки равного диаметра ( $\xi=0,1$ ). Затворы диаметром условного прохода до 1600 мм изготавливают с электрическим приводом, а больших диаметров – 1600...2800 мм – с гидравлическим приводом. Также предусмотрена возможность ручного открытия и закрытия затворов.

Для выпуска воздуха, скапливающегося в трубопроводах, используют вантузы. Их устанавливают в специальных колодцах над возвышением водовода:

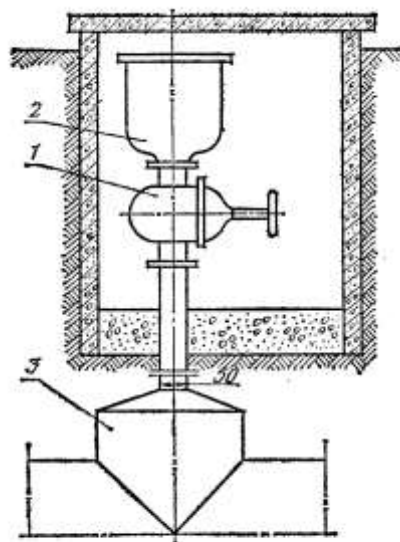


Рис. 132. Установка вантуза на трубопроводе:  
1 — вантуз; 2 — задвижка; 3 — водовод.

## Тема 15 Здания мелиоративных насосных станций

*Типы зданий насосных станций и условия их применения. Подземная часть зданий насосных станций. Верхнее строение зданий насосных станций. Вспомогательные помещения мелиоративных насосных станций*

### Типы зданий насосных станций и условия их применения

Здание насосной станции служит для размещения как основного насосно-силового, так и вспомогательного оборудования и коммуникаций трубопроводов (задвижек, водомеров, обратных клапанов и др.).

На тип и конструкцию зданий насосных станций влияют следующие факторы:

форма соединения здания с водозаборным сооружением (совмещенная или раздельная);

производительность, тип и конструкция основных насосов;

режим водоисточника;

геология и гидрогеология строительной площадки;

климатические условия;

виды строительных материалов.

По конструктивным признакам здания насосных станций делятся на **заглубленные** (т.е. основные насосы расположены ниже поверхности земли) и **незаглубленные**, когда насосы установлены на поверхности земли и здание не имеет подземной части.

Заглубленные здания делятся на два типа: блочные и камерные.

Здания блочноготипа (рис. 1.1) применяются для крупных насосов с производительностью  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  и более, имеющих вертикальный вал (насосы типа ОВ, ОпВ и В). С водозаборным сооружением такие здания всегда совмещены, колебания уровней в водоисточнике могут быть любыми, высота всасывания

насосов должна быть всегда отрицательной.

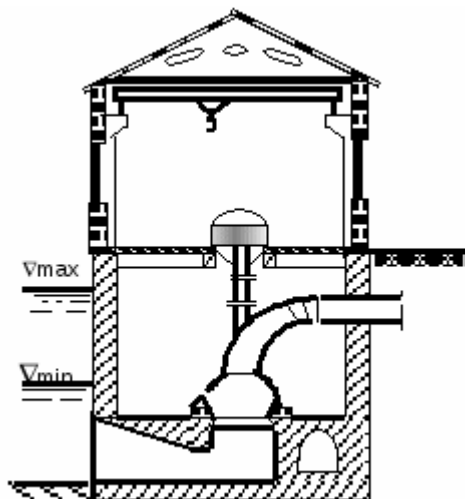


Рисунок 15.1. Схема заглубленной блочной насосной станции с насосом типа

О.

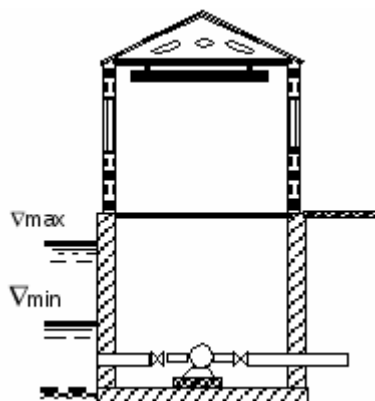


Рисунок 15.2. Схема заглубленной насосной станции камерного типа с сухой камерой и насосом с горизонтальным валом.

Здания камерного типа могут быть «с сухой камерой» (рис. 1.2), с «мокрой камерой, но сухим помещением для насоса» (рис. 1.3) и «с мокрой камерой и затопленным насосом» (рис. 1.4). Эти здания применяются для насосов как с горизонтальным, так и с вертикальным

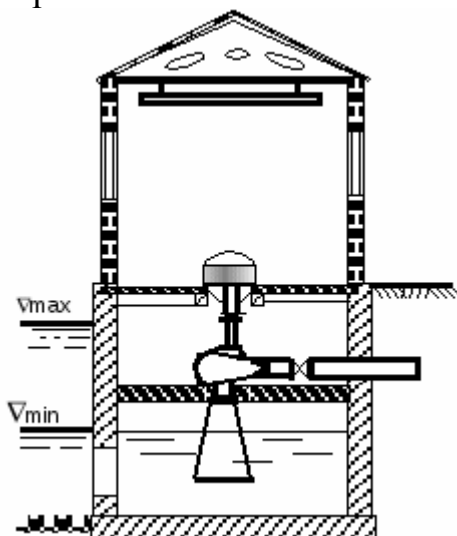


Рисунок 15.3. Схема заглубленной насосной станции камерного типа с мокрой камерой, но сухим помещением для насоса типа В.

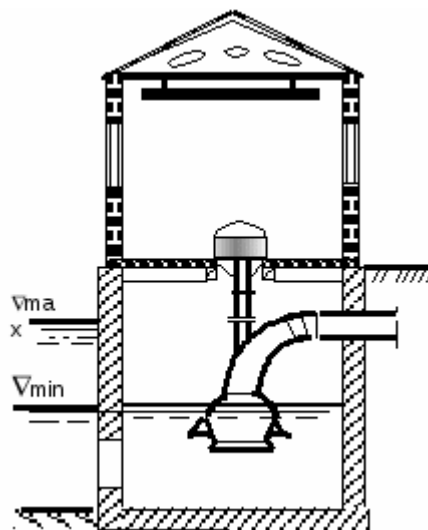


Рисунок 15.4. Схема заглубленной насосной станции камерного типа с мокрой камерой и затопленным насосом.

валом (насосы типа Д, НД, К, КМ, В, ОВ и ОГ). Их производительность может быть менее  $2 \text{ м}^3/\text{с}$ , а высота всасывания – отрицательной, положительной или переменной. С водозаборным сооружением они чаще всего устанавливаются раздельно. Колебания уровней воды в водоисточнике могут быть любыми.

Применение зданий насосных станций **незаглубленного** типа (рис. 1. 5) ограничивается следующими условиями:

- а) должны применяться насосы только с горизонтальным валом (насосы типа К, КМ, Д, НД) с производительностью не более  $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$  ;
- б) высота всасывания насосов должна быть положительной и не меньше чем величина колебания уровней воды в водоисточнике;
- в) с водозаборным сооружением их необходимо устанавливать всегда раздельно.

Если хоть одно из этих условий не соблюдается, то такой тип зданий применить нельзя.

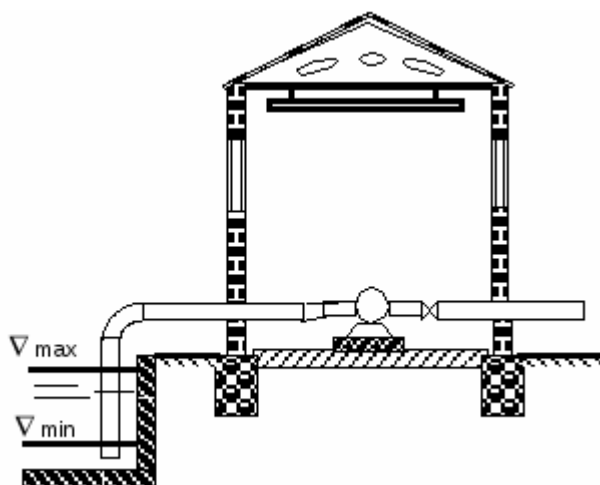


Рисунок 15. 5. Схема насосной станции незаглубленного типа.

### Основные принципы компоновки зданий насосных станций



Компоновка – есть размещение основного насосно-силового оборудования с соблюдением всех его размеров, исходя из условий удобства монтажа и эксплуатации, и учитывая требования техники безопасности.

Конечным результатом компоновки является установление ширины, длины и высоты здания насосной станции.

Для того чтобы произвести компоновку, необходимо прежде всего подобрать насос и электродвигатель и установить их габариты и массу, рассчитать высоту всасывания насоса, запроектировать всасывающий и напорный трубопроводы и установить размеры арматуры, устанавливаемой на них.

Кроме того, необходимо подобрать грузоподъемное оборудование и установить его размеры.

Компоновка проводится с соблюдением следующих условий.

1. Удовлетворение физических и технологических требований, предъявляемых оборудованием, которое включает в себя:

учет размеров и массы;

установку насосов с расчетной высотой всасывания;

соблюдение условий работы, предъявляемых электродвигателем.

2. Соблюдение требований техники безопасности и обеспечение возможности монтажа и демонтажа оборудования, а также удобства его эксплуатации, которые включают:

устройство безопасных проходов требуемой ширины (не менее 0,7 м) и лестниц с допустимым уклоном (не более 1:1,5);

удаление фланцев труб от стен, пола и потолка не менее чем на 0,3 м, устройство в перекрытии люков, размеры которых позволяли бы извлекать самое крупное оборудование;

устройство наблюдательных мостиков, переходов и стремянок, облегчающих доступ к измерительной и запорной аппаратуре;

устройство монтажной площадки, достаточного освещения, вентиляции и отопления.

3. Обеспечение как можно меньшей стоимости строительства и эксплуатации насосной станции, включающее в себя:

отказ от излишних незанятых площадей, чрезмерной ширины проходов и лестниц;

отсутствие излишних запасов прочности стен и перекрытий;

компактное расположение основного и вспомогательного оборудования.

Вышеперечисленные принципы компоновки здания насосной станции должны неукоснительно соблюдаться студентами при выполнении ими курсовых проектов.

### **Компоновка подземной части зданий заглубленного типа**

Компоновка зданий насосных станций начинается с подземной части.

Сначала располагается ось насоса относительно минимальной

отметки воды в водозаборном сооружении, а потом вычерчивается по габаритным размерам насос, к которому подсоединяется всасывающий и нагнетательный трубопроводы с установленной на них арматурой (конусы, задвижки, переходники и т.д.). После этого определяется отметка пола

подземной части и устанавливается положение осей вертикальных стен, что даст величину ширины здания, которая должна быть стандартной (4; 4,5; 5; 5,5; 6; 9; 12 м).

Последовательность компоновки подземной части здания насосной станции проследим по рис. 1.6, на котором показано размещение оборудования в подземной части здания камерного типа с сухой камерой и горизонтальным насосом типа Д.

Как видно из рисунка, насос расположен ниже минимального уровня воды в водозаборном сооружении на величину высоты всасывания  $h_v$  и имеет габарит  $l_n$ . Слева к нему подсоединена монтажная вставка длиной  $l_v^1$  и задвижка  $l_z^1$ , а к ней – всасывающая труба в виде конуса с горизонтальной верхней образующей. С напорной стороны также сначала монтируется монтажная вставка  $l_v^{11}$ , а потом задвижка  $l_z^{11}$  и переходник в виде правильного конуса  $l_k$ , от которого отходит напорный трубопровод. Оси боковых стенок толщиной  $\delta_{ст}$  намечены таким образом, чтобы получить стандартную ширину подземной части  $V_{п.ч.}$ , которая складывается из суммы стандартных ( $l_n, l_z^1, l_z^{11}$ ), расчетных ( $l_k$ ) и назначаемых величин ( $l_v^1$  и  $l_v^{11}$ ), т.е.

$$V_{п.ч.} = \delta_{ст} + a_1 + l_z^1 + l_v^1 + l_n + l_v^{11} + l_z^{11} + l_k + a_2.$$

Монтажные запасы  $a_1$  и  $a_2$  принимаются не менее 0,2 м, а за счет назначения длины монтажных вставок  $l_v^1$  и  $l_v^{11}$  достигается стандартное значение ширины подземной части  $V_{п.ч.}$ .

Из рис. 6.1 видно, что высота подземной части складывается из величин:

$h_{пл}$  – толщины донной плиты;

$h_{ф}$  – высоты фундамента под насос;

$h_n$  – габарита насоса;

$h_v$  – высоты всасывания;

$\Delta h$  – колебания уровней в водоисточнике;

$h_0$  – превышения пола над максимальным уровнем воды,

т.е.  $H_{п.ч.} = h_{пл} + h_{ф} + h_n + h_v + \Delta h + h_0$ .

Величина заглубления верха всасывающей трубы под минимальный уровень воды  $h_x$  должна быть не менее 0,5 м, но не более 1 м.

Длина подземной части насосной станции определяется с помощью проведения плановой компоновки (рис. 1.7).

Из рисунка видно, что длина подземной части здания насосной  $L_{п.ч.}$  станции складывается из:

$\delta_{ст}$  – толщины стенки подземной части;

$v_1$  и  $v_2$  – эксплуатационных проходов размером не менее 0,7 м;

$L_{аг}$  – длины агрегата в составе насоса и электродвигателя;

$L_{м.п.}$  – длины монтажной площадки, которая должна быть назначена такой, чтобы на ней можно было разместить самую крупную деталь и обеспечить вокруг эксплуатационные проходы не менее 0,7 м.

Таким образом, длина подземной части здания насосной станции может быть определена путем суммирования вышеперечисленных величин, т.е.

$$L_{п.ч.} = \delta_{ст} + v_1 + 2L_{аг} + v_2 + L_{м.п.}$$

В случае, если длина подземной части здания насосной станции равна длине надземной, то она должна быть кратной 6 (если верхнее строение будет каркасного типа) или кратной 1,5 (для верхнего строения бескаркасного типа).

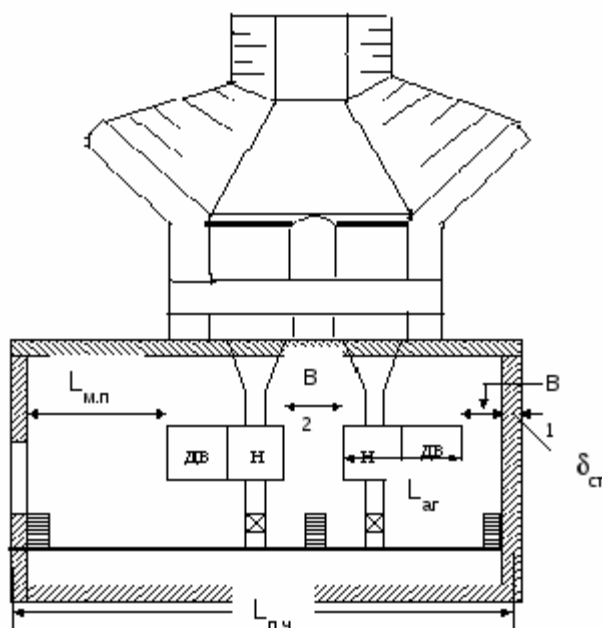


Рисунок 15.7 Плановая компоновка насосной станции

При большом количестве насосных агрегатов их можно располагать в шахматном порядке. В этом случае увеличивается ширина здания, но уменьшается его длина.

При наличии насосов с вертикальным валом последовательность проведения компоновки будет аналогичной, но отличается тем, что в зданиях блочного типа насос опирается на мощный бетонный блок (отсюда и название «блочное») и вода к насосу подводится снизу по трубе криволинейного или прямолинейного очертания. Если насос с вертикальным валом применяется в камерном типе здания, то сопряжение его всасывающего патрубка со всасывающей трубой осуществляется при помощи колена, которое имеет диаметр всасывающего патрубка.

Кроме того, подземная часть насосных станции с вертикальными насосами имеет железобетонное перекрытие, на котором устанавливается электродвигатель (см. рис. 15.1, 15.3 и 15.4). Расстояние от пола до потолка подземной части должна быть не менее 3 м.

**Компоновка зданий незаглубленного типа** также начинается с установки насоса на расчетной высоте всасывания и подсоединения к нему всасывающего и напорного трубопроводов. К ширине здания предъявляются такие же требования, как и к ширине подземной части у заглубленных зданий, т.е. она должна отвечать стандартным значениям 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 9; 12 м.

Длина здания устанавливается при помощи плановой компоновки точно так же, как было описано выше.

Определив ширину и длину здания, приступают к проектированию верхнего строения насосной станции.

### Проектирование верхнего строения

Наземная часть насосных станций проектируется одинаково для незаглубленных и заглубленных насосных станций. Прежде всего выбирается тип верхнего строения, который может быть каркасный или бескаркасный. Каркасный тип здания принимается в том случае, когда в нем предусматривается установка грузоподъемного оборудования грузоподъемностью 5 тонн и более (рис.1.1). Во всех остальных случаях принимается бескаркасное здание с несущими боковыми стенами, изготовленными из кирпича (рис. 1.2, 1.3, 1.4, 1.5).

Каркасный тип здания (рис.1.8) представляет собой жесткий каркас, состоящий из колонн с пилястрами 1, ригелей 2 и плит 3, который несет нагрузку от кровли и грузоподъемного оборудования.

Колонны устанавливаются с шагом 6 м на стены подземной части (в заглубленных насосных станциях) или на собственный фундамент, если нет подземной части. Они являются главным несущим элементом всего каркаса, так как несут нагрузку и от грузоподъемного оборудования, которое опирается на пилястры колонн.

Ригель 2 имеет двухскатную форму при расстоянии между рядами колонн (пролет) 6 метров и более. В поперечном разрезе он представляет собой железобетонный двутавр.

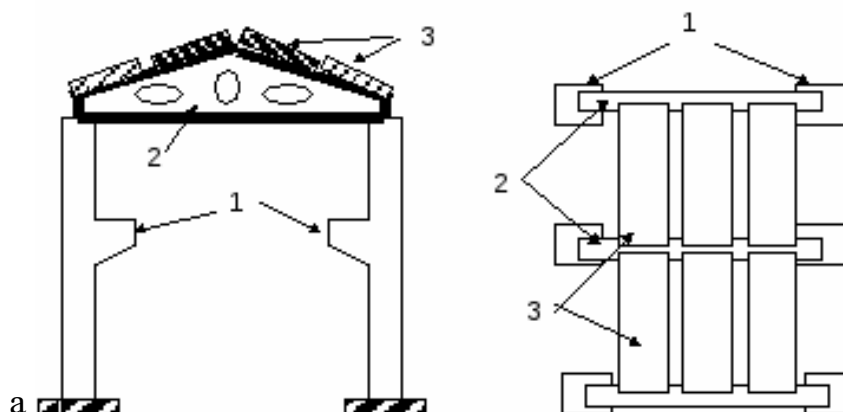


Рис. 15.8. Железобетонный каркас верхнего строения насосной станции:  
а) разрез; б) план.

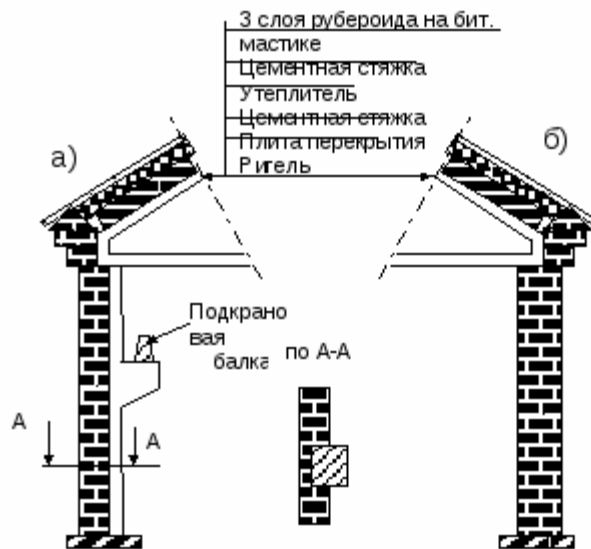


Рисунок 15.9. Устройство стен и кровли:

а) в зданиях каркасного типа; б) в зданиях бескаркасного типа

Боковые стены выполняются или из кирпича, или из сборных железобетонных плит. Если применяется кирпичная кладка, то колонны частично запускаются в нее, как показано на рис. 15.9,а. Толщина стен принимается для отапливаемых зданий 2 кирпича (51 см), а для не отапливаемых – 1,5 кирпича (38 см).

В таких зданиях промышленного типа применяется мягкая кровля с утеплителем (если предусмотрена работа насосной станции в зимний период) или без него. Конструкция кровли с утеплителем показана на рис. 15.9.

Стены зданий бескаркасного типа выполняются из кирпичной кладки (рис. 15.9,б) толщиной 1,5 – 2 кирпича. На них опирается кровля, к которой подвешивается грузоподъемное оборудование. Требования, предъявляемые к устройству кровли, такие же, как и для зданий каркасного типа (рис. 15.9,б).

Габариты верхнего строения зданий насосной станции определяются из условия размещения в нем не только основного (как в зданиях незаглубленного типа), но и грузоподъемного оборудования.

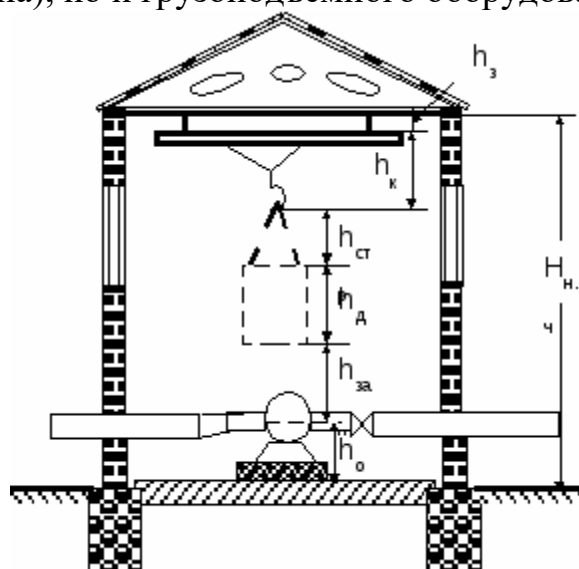


Рисунок 15.10. Схема высотной компоновки надземной части насосной станции незаглубленного типа

Ширина и длина верхнего строения заглубленных насосных станций обычно принимается равной ширине и длине подземной части.

Высота верхнего строения любого типа насосных станций определяется, исходя из условия обеспечения безопасной транспортировки на монтажную площадку насосов и двигателей (если они установлены в верхнем строении как показано на рис.15.10) и возможности разгрузки автотранспорта, доставляющего оборудование на монтажную площадку (рис. 15.11).

Как видно из рис. 15.10 высота здания насосной станции незаглубленного типа получается равной

$$H_{н.ч.} = h_o + h_{зап.} + h_d + h_{стр} + h_k + h_z,$$

где  $h_o$  – габарит установленного оборудования;

$h_{зап.}$  – запас, который должен быть не менее 0,5 м;

$h_d$  – размер самой крупной детали;

$h_{стр}$  – длина строп 0,5-0,7 м;

$h_k$  – высота кранового оборудования (берется из [2]) ;

$h_z$  – запас 0,2-0,3 м.

В насосных станциях заглубленного типа насосно-силовое оборудование установлено в подземной части здания. Поэтому высота надземной части определяется только исходя из условия обеспечения возможности разгрузки транспорта на монтажной площадке (рис.15.11).

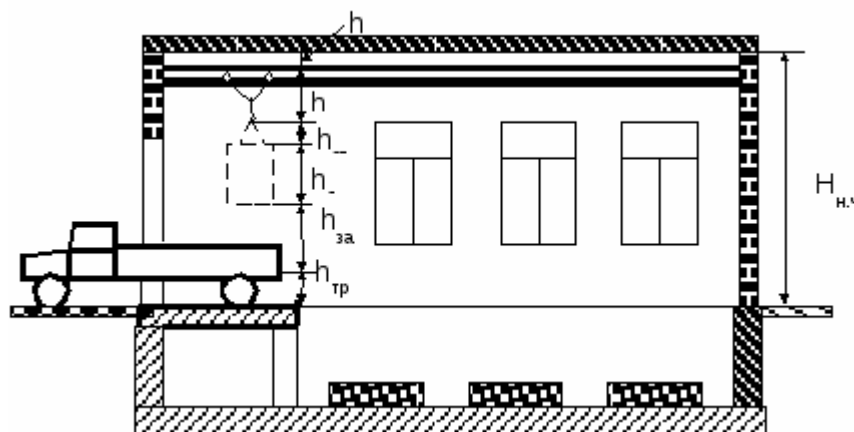


Рисунок 15.11. Схема к определению высоты надземной части здания заглубленного типа.

Из рис.15.11 видно, что транспортировке детали насосно-силовое оборудование не мешает, так как оно заглублено. Следовательно, высота наземной части  $H_{н.ч}$  будет складываться из  $h_{тр}$  – высоты транспортного средства и тех же величин, как это было указано выше.

Такой же расчет нужно делать и для насосных станций незаглубленного типа для того, чтобы проверить, выполняется ли второе требование к высоте здания, касающееся возможности разгрузки оборудования на монтажной площадке.

Наземная часть здания освещается естественным светом через окна, суммарная площадь которых принимается равной  $1/3 \dots 1/5$  площади пола машинного зала. Для заезда транспорта на монтажную площадку устраиваются ворота размером 3х3 или 3х4 м.

Пол машинного зала устилается метлахской плиткой, а монтажной площадки – асфальтом.

Кроме того, в наземной части здания размещают щиты управления и подсобные помещения.

## **Тема 16 Водовыпускные сооружения насосных станций**

*Назначение, классификация и условия применения водовыпускных сооружений. Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами. Сифонные водовыпускные сооружения. Водовыпускные сооружения с переливными стенками*

### **Назначение и типы водовыпускных сооружений**

Водовыпускные сооружения входят в состав гидротехнического узла машинного водоподъема и предназначены для сопряжения напорных трубопроводов с сооружениями, транспортирующими воду к потребителю. Если это осуществляется отводящим каналом, то его называют машинным.

В оросительных системах водовыпускное сооружение называют напорным бассейном, если оно открытое, и гидрантом – закрытое.

В осушительных системах водовыпускное сооружение соединяется или непосредственно с водоприемником (рекой или водоналивным водохранилищем), или с сооружением, подводящим воду к водоприемнику (каналом, лотком, перепадом и т.д.).

В системах водоснабжения вода может подаваться либо в напорный бак, либо в очистные сооружения, либо в разводящую сеть.

Назначение водовыпускных сооружений заключается в следующем:

обеспечить спокойный выход потока воды, вытекающего из напорного трубопровода, и плавное его сопряжение с водой, находящейся в машинном канале;

обеспечить деление потока в том случае, если подача воды производится в несколько каналов;

надежно отключать напорные трубопроводы при внезапной остановке насосов для предотвращения обратного тока воды;

предотвращать фильтрацию воды из машинного канала вниз вдоль тела напорных труб, если они уложены в грунте.

Все эти функции может выполнять такое гидротехническое сооружение, которое обладает достаточной прочностью и устойчивостью, имеет размеры и конфигурацию, обеспечивающие благоприятные гидравлические условия протекания воды.

Классификация водовыпускных сооружений осуществляется по следующим признакам:

- 1) по принадлежности к той или иной мелиоративной системе – осушительные, оросительные или др.;
- 2) по методам соединения с каналом – прямоточные, делители и с консольно-рассеивателем;
- 3) по соединению с водоприемником – на постоянно затопленные и периодически затопляемые;
- 4) по соединению со зданием насосной станции – на составляющие одно целое со зданием без отдельных швов, примыкающие к зданию и на отдельные;
- 5) по применяемому материалу – на железобетонные, массивные (из бутового камня) и смешанные, т.е. из различных материалов;
- 6) по способу отключения потока воды, подаваемого в бассейн – прямоточного типа с затвором механического или гидравлического действия, а также с приемным резервуаром-водосливом, делители с затвором механического действия и прямоточного типа с сифоном.

Водовыпускное сооружение прямоточного типа

Конструкция водовыпускного сооружения прямоточного типа с механическим запорным устройством показана на рис. 3.1 (запорное устройство не показано).

Две нитки напорного трубопровода диаметром  $D_{эк}$ , который был ранее определен на основе технико-экономического расчета, проходят через массивную лобовую стенку и заканчиваются расширяющейся частью. Каждая нитка имеет свою камеру, которые разделяются бычком. В бычке и боковых стенках сделаны пазы для шандор, посредством которых можно отсоединить канал от водовыпускного сооружения в случае его ремонта. Для обслуживания шандор предусмотрен служебный мостик.

Для гашения остаточной кинетической энергии потока, выходящего из напорной трубы, ее конец выполнен в виде диффузора с выходным диаметром  $D_{вых} = (1,1 \dots 1,2) D_{эк}$  и заглублен под минимальный уровень на величину  $h_{загл}^{min} = (1 \dots 3) V_{вых}^2 / 2g$ , где  $V_{вых}$  – скорость потока на выходе из напорного трубопровода. Это заглубление должно быть не менее 5...10 см.

С целью обеспечения плавного (без гидравлического прыжка) сопряжения потока, вытекающего из трубопровода, с водой, находящейся в бассейне, устраивается водобойный колодец, минимальная глубина воды в котором определяется по уравнению

$$H_{кол}^{min} = D_{вых} + h_{загл}^{min} + P,$$

где  $P$  принимается равным не более 0,2 м.

Глубина этого колодца будет равна:

$$h_p = H_{кол}^{min} - h_{кан}^{min},$$

где  $h_{кан}^{min}$  – минимальная глубина воды в отводящем канале, которая определяется гидравлическим расчетом.



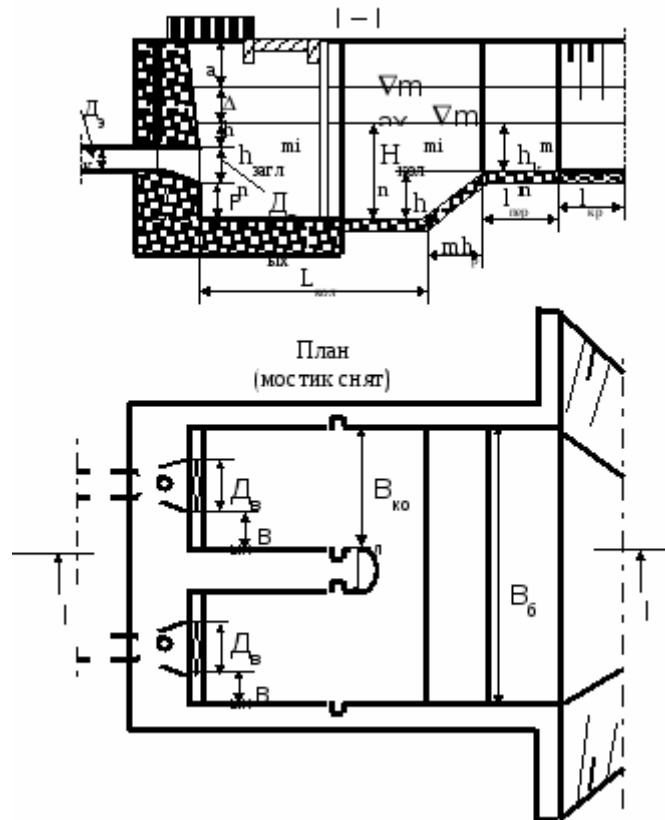


Рисунок 16.1. Водовыпускное сооружение прямоточного типа с механическим запорным устройством.

Длину колодца приблизительно можно определить по формуле

$$L_{\text{кол}} = Kh_{\text{загл}}^{\text{min}},$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от формы порога и его величины, определяется из таблицы 16.1

Т а б л и ц а 16. 1. Значения коэффициента  $K$

$K_D = h_p / D_{\text{вых}}$	Коэффициент $K$ для порога	
	наклонного	вертикального
0,5	6,5	4,0
1,0	5,8	1,6
1,5	–	1,0
2,0	–	0,85
2,5	–	0,85

Из рис. 16.1 видно, что ширина колодца  $B_{\text{кол}} = D_{\text{вых}} + 2b$ , где  $b$  – конструктивный запас, принимается равным 0,25 . . . 0,3 м.

Суммарная длина переходной части и длина крепления определяется по формуле

$$l_{\text{пер}} + l_{\text{кр}} = (4 \dots 5)h_{\text{кан}}^{\text{max}},$$

где  $h_{\text{кан}}^{\text{max}}$  – максимальная глубина воды в канале, определяемая гидравлическим расчетом при максимальной подаче насосной станции.

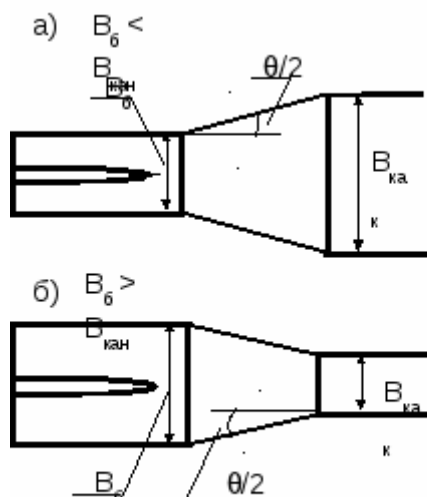


Рисунок 16.2 Схемы сопряжения водовыпускного сооружения с отводящим каналом

Конфигурация переходной части зависит от отношения ширины водовыпускного сооружения  $B_0$  и ширины по дну отводящего канала. При равенстве этих величин скорость воды в канале и на выходе из водовыпуска будут одинаковыми, что создает благоприятные условия протеканию потока. При неравенстве ширины водовыпуска и канала (рис. 16.2) благоприятные условия создаются путем назначения величины центрального угла конусности  $\theta$ , который для схемы а) принимается в пределах  $30 \dots 40^\circ$ , а для схемы б) –  $40 \dots 50^\circ$ .

Толщина бычка  $\delta$  принимается равной  $0,6 \dots 0,8$  м. Чем больше максимальная глубина воды в колодце сооружения, тем большее значение имеет  $\delta$ . Водовыпуски сифонного типа

Этот тип водовыпускных сооружений чаще всего применяется в осушительных насосных станциях, располагаясь с ними раздельно.

Сифонный водовыпуск (рис. 3.5) представляет собой плавно изогнутую трубу, имеющую восходящую 1 и нисходящую 2 ветви, а также горловину 4. Низ горловины превышает максимальный уровень воды в канале на величину  $\delta = 0,1 \dots 0,15$  м, а в верхней ее части устанавливается клапан срыва вакуума 3.

При пуске насоса вода, поднимаясь вверх по напорной трубе, вытесняет из нее воздух, который должен выходить через открытый клапан срыва вакуума. После того, как вода заполнит сифон, клапан закрывается и в горловине образуется пониженное давление, которое способствует работе насоса. При остановке насоса вода по восходящей ветви стремится двигаться вниз к насосу, а по нисходящей – вниз к бассейну. Это становится возможным, если в этот момент откроется клапан и впустит в горловину воздух. Если же клапан будет закрыт, то сифон станет тянуть воду из бассейна, направляя ее к насосу, что недопустимо. Следовательно, клапан

срыва вакуума является наиболее ответственной частью водовыпуска сифонного типа.

Этот тип водовыпуска имеет некоторые преимущества, заключающиеся в следующем:

отсутствие затворов и бычков, разделяющих камеры;

надежность и автоматичность работы;

практическое отсутствие гидравлических сопротивлений из-за создания вакуума в горловине;

относительно малая стоимость, так как нет бетонных элементов.

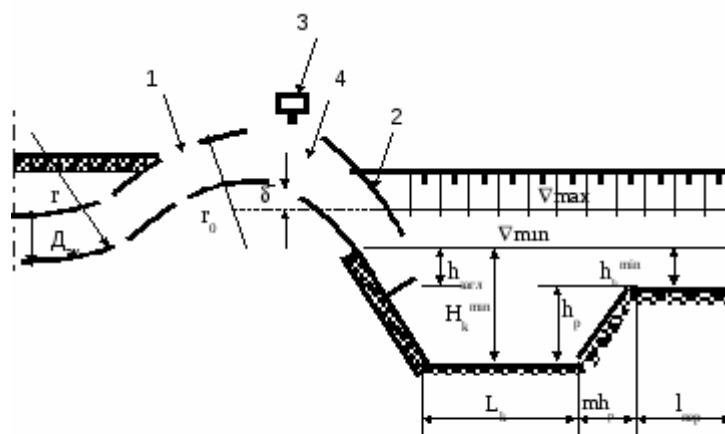


Рисунок 16.3. Сифонный водовыпуск.

Расчет сифонного водовыпуска начинается с определения диаметра на выходе, так как конец нисходящей ветви может постепенно расширяться для того, чтобы выходная скорость не превышала 1 м/с. Заглубление верхней кромки выхода под минимальный горизонт

$h_{\text{загл}} = (2 \dots 3) V_{\text{в}}^2 / 2g$ , где  $V_{\text{в}}$  – скорость воды на выходе из сифона. Длину колодца можно принять  $L_{\text{к}} = (1,5 \dots 2) D_{\text{вых}}$ , где  $D_{\text{вых}}$  – диаметр трубы на выходе.

Радиусы закругления труб  $r = (1,5 \dots 2) D_{\text{эк}}$  и  $r_0 = (2 \dots 3,5) D_{\text{эк}}$ , где  $D_{\text{эк}}$  – диаметр трубы сифона.

Размеры водобойного колодца (бассейна) определяются также как и при расчете водовыпуска прямооточного типа. Его ширина определяется по формуле

$$B_{\text{бав}} = v(n-1) + D_{\text{вых}},$$

где  $v$  – расстояние между осями напорных трубопроводов;

$n$  – количество сифонов, впадающих в бассейн.

### Прочие конструкции водовыпусков.

#### Водовыпуск-вододелитель.

Конструкция водовыпуска-вододелителя представлена на рис. 16.4.

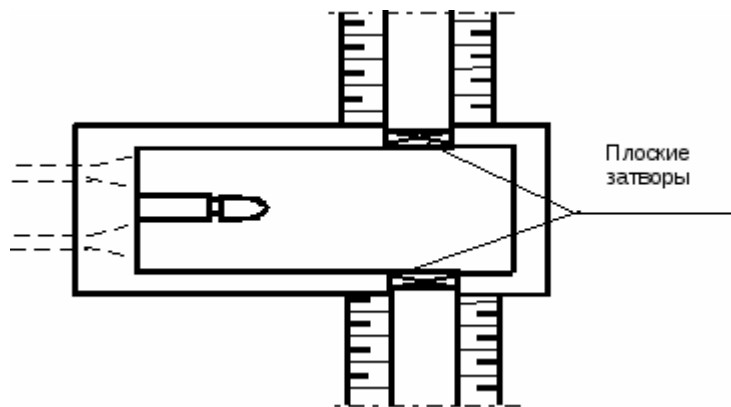


Рисунок 16.4. Схема водовыпуска-вододелителя.

Это водовыпускное сооружение отличается от прямоточного тем, что поток, выходящий из напорных трубопроводов, делится на две части при открытии соответствующих затворов. От данного сооружения может отходить и большее количество отводящих каналов.

**Водовыпуск прямоточного типа с резервуаром-водосливом.** Схема такого сооружения приведена на рис. 16.5. Из рисунка видно, что железобетонное тело водовыпуска 1 располагается в котловане, который сопрягается с отводящим каналом. Напорные трубы выходят в резервуары 2, верх стенок которых расположен на максимальной отметке уровня воды в отводящем канале. При минимальном уровне воды в канале отметка воды в резервуарах при работе насосов остается на уровне верха стенок, через который происходит ее перелив, а при остановке насосов резервуары освобождаются от воды, но ее излив из канала в резервуар невозможен.

Таким образом, резервуары-водосливы служат в качестве запорных устройств, предотвращающих обратный ток воды.

В связи с тем, что поток воды, переливаясь через стенку резервуара-водослива, должен плавно сопрягаться с водой в канале (особенно при ее минимальном уровне), необходимо устраивать гасители в виде искусственной шероховатости 3 и водобойной стенки 4 (рис.16.5).

Диаметр напорной трубы на выходе  $D_{\text{вых}} = (1,1 \dots 1,2) D_{\text{эк}}$ , где  $D_{\text{эк}}$  – экономически наиболее выгодный диаметр напорного трубопровода, определенный на основе технико-экономического расчета. Глубина резервуара  $H_{\text{рез}} = D_{\text{вых}} + a_0$ , где запас  $a_0$  принимается в пределах 0,2...0,3 м.

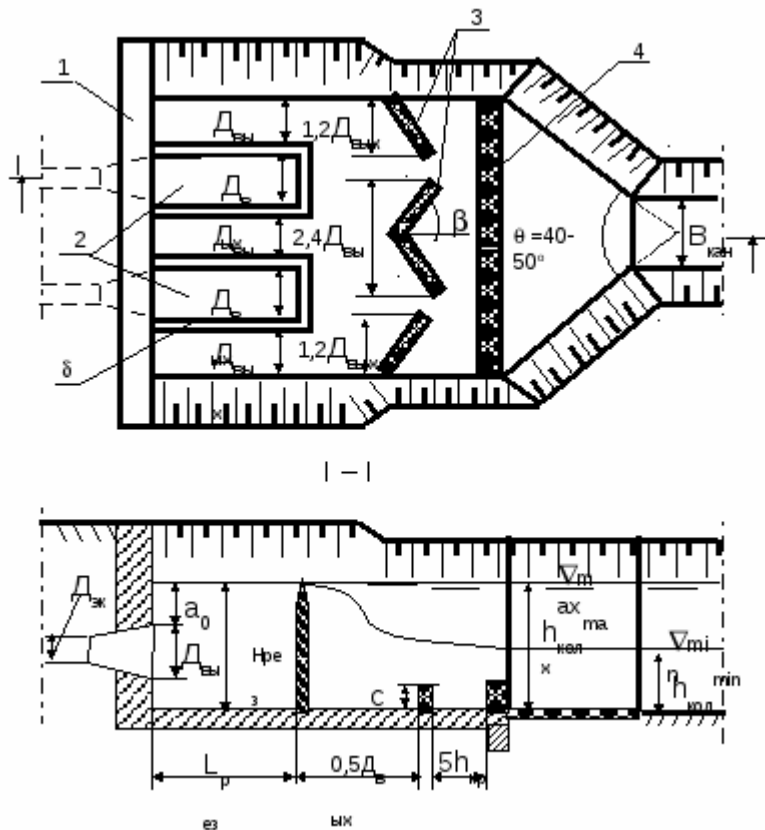


Рисунок 16.5. Водовыпуск с резервуаром-водосливом.

Длина резервуара  $L_{рез}$  принимается равной  $4D_{вых}$ , а высота искусственной шероховатости и водобойной стенки  $C=0,35h_{кр}$ , где  $h_{кр}$  – критическая глубина потока, определяемая по формуле

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}, \quad q = \frac{Q_{max}}{n2D_{вых}}.$$

Здесь  $n$  – число резервуаров.

Ширина обоих порогов принимается равной  $1,2D_{вых}$ , а угол  $\beta=60-70^\circ$ .

Сопряжение водовыпуска с отводящим каналом осуществляется так же, как было описано выше.

### Запорные устройства на водовыпусках

Запорные устройства на водовыпускных сооружениях бывают механического и гидравлического действия.

К механическим запорным устройствам относится обратный клапан – «хлопушка», представляющий собой металлический или деревянный диск (рис. 16,6), дроссель с эксцентричной горизонтальной осью вращения (рис.16.7) и плоские быстропадающие затворы.

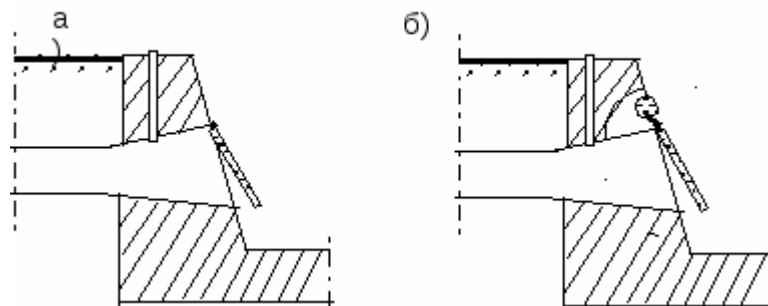


Рис. 16.6. Обратный клапан – «хлопушка»:

а) – без противовеса; б) – с противовесом.

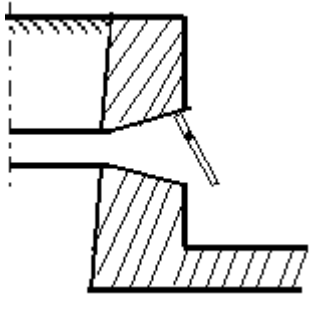
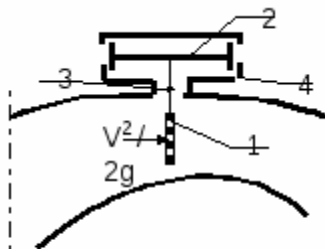


Рис. 16.7. Дроссельный затвор с эксцентричной горизонтальной осью вращения.

Обратный клапан –«хлопушка» применяется при диаметре трубы на выходе равном или менее 1 м. При этом, если диаметр меньше или равен 0,6 м, то применяется клапан без противовеса (рис.16.7, а), а если больше – то с противовесом (рис. 16.7, б), который уменьшает силу удара клапана о седло.

К запорным устройствам гидравлического действия относятся клапаны срыва вакуума различного типа, которые устанавливаются на сифонном водовыпуске.



1 – лопатка; 2 – клапан; 3 – ось вращения; 4 – кожух.

Рисунок 16.8 Гидромеханический клапан срыва вакуума

Устройство гидромеханического клапана срыва вакуума показано на рис. 16.8. Принцип действия этого клапана срыва вакуума основывается на том, что под действием гидродинамической силы  $V^2/2g$  лопатка 1 отклоняется от вертикального положения, поворачиваясь вокруг оси 3, через рычаг передвигает в горизонтальном направлении клапан 2, который закрывает отверстия, сделанные в кожухе 4. Таким образом, при движении воды от насоса к водовыпуску отсоединяется горловина сифона от атмосферы, и в ней создается вакуум. После остановки насоса ток воды направляется в обратную сторону и сила гидродинамического давления действует с другой стороны лопатки, открывая тем самым отверстия в кожухе и соединяя горловину сифона с атмосферой, т.е. срывая вакуум. Этим нарушается сплошность потока и сифон, освобождаясь от воды, заполняется воздухом.

Аналогичные функции выполняет клапан срыва вакуума с электроприводом (рис. 16.8). При пуске насоса вода, поднимаясь по трубопроводу, вытесняет перед собой воздух, который легко приподнимает мембрану 1 и выходит через отверстия 2. Электромагнитный клапан 3

должен быть закрытым. После заполнения горловины сифона водой клапан 3 открывается и вода, проникая в кожух 4 силой давления прижимает мембрану 1 вниз, закрывая тем самым отверстия 2. В этот момент закрывается клапан 3 и вакуум, создавшийся в сифоне, еще больше тянет мембрану вниз.

При остановке насоса клапан 3 открывается и вакуум распространяется в кожух клапана, поднимая мембрану вверх и открывая отверстия 2, что срывает вакуум, так как горловина будет связана с атмосферой.

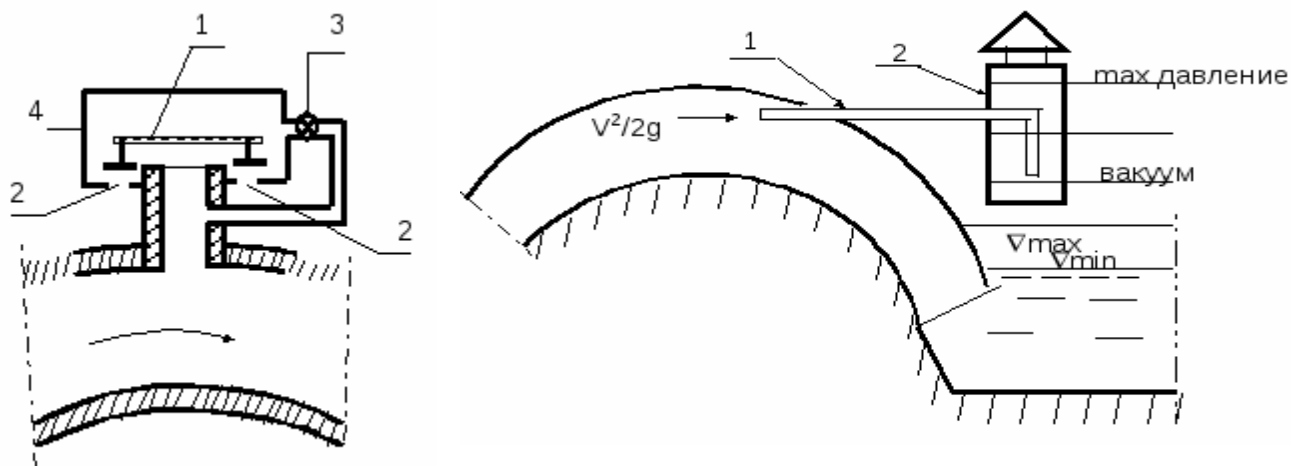


Рисунок 16.9. Гидравлический клапан срыва вакуума.

Гидравлический клапан срыва вакуума(рис.16.9) состоит из воздушной трубки 1 и стакана 2. При запуске насоса воздух проходит по трубке 1 и попадает в стакан, который сообщается с атмосферой.

min давление

После остановки насоса давление в горловине сифона станет уменьшаться вследствие того, что вода в нем начнет движение вниз (влево и вправо) по ветвям. Вода из стакана по трубке будет попадать в сифон и когда давление в нем достигнет вакуума, конец трубки соединится с атмосферой и по ней пойдет воздух в сифон. Таким образом, вакуум будет сорван. Недостатком такого типа клапана срыва вакуума является то, что в зимних условиях работы стакан требует тщательного утепления, а воздушная трубка может засориться.

## **2 Практический раздел**

### **2.1 Методические рекомендации к выполнению практических занятий по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»**

#### I Раздел

*Практическое занятие № 1*

*Практическое занятие № 2*

*Практическое занятие № 3*

*Практическое занятие № 4*

*Практическое занятие № 5*

#### II Раздел

*Практическое занятие № 1*

*Практическое занятие № 2*

*Практическое занятие № 3*

*Практическое занятие № 3*

*Практическое занятие № 4*

*Практическое занятие № 5*



## І Раздел

### Практическое занятие № 1

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБЪЕКТА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Суточная норма водопотребления представляет собой количество воды, расходуемое в течение суток тем или иным потребителем. Величина нормы зависит от вида потребителя и способа расходования ими воды.

$$Q_{сут.ср.} = \frac{q_{х/п} \cdot N}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

где  $q_{х/п}$  – среднесуточная норма водопотребления на одного жителя, л/сут;  $N$  – количество жителей, чел.

Определяются расчетные расходы воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления:

$$Q_{сут.макс.} = K_{сут. макс.} * Q_{сут.ср.}$$

$$Q_{сут.мин.} = K_{сут. мин.} * Q_{сут.ср.}$$

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

Суточное водопотребление животноводческого комплекса:

$$Q_{сут.ср.} = \frac{q \cdot N_{голов}}{1000} \text{ м}^3/\text{сут}$$

где  $q$  – расход воды на одну голову скота, л/сут, для коров молочной породы  $q = 100$  л/сут на одну голову, для коров мясной породы  $q = 80$  л/сут на одну голову;  $N_{голов}$  – число голов скота.

В зависимости от местных условий удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку в расчете на одного жителя можно принять в размере  $q_{пол} = 5...10$  л/сут.

Количество поливок надлежит принимать 1-2 в сутки в зависимости от климатических условий.

$$Q_{сут.полив.} = \frac{q_{полив} \cdot N}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

Водопотребители расходуют воду в течение суток неравномерно. Поэтому, для построения общего суточного графика водопотребления из сети необходимо определить часовые расходы воды каждым потребителем, затем их просуммировать. Степень расходования воды зависит от категории водопотребителя.

Для населенных пунктов часовые расходы воды определяют с учетом коэффициентов часовой неравномерности водопотребления  $K_{ч.макс.}$ ,  $K_{ч.мин.}$ ,

которые определяются по формулам:

$$K_{ч. макс.} = \alpha_{макс} * \beta_{макс} ;$$

$$K_{ч. мин.} = \alpha_{мин} * \beta_{мин} ,$$

где  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий степень благоустройства и другие местные условия ( $\alpha_{макс} = 1,2-1,4$ ,  $\alpha_{мин} = 0,4-0,6$ );

## **Практическое занятие № 2** **ВЫБОР СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ТРАССИРОВКА** **ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

Схема питания водопроводной сети определяется количеством и месторасположением насосных станций и напорно-регулирующих сооружений. Наиболее распространены системы водоснабжения, в которых сеть питается от одной насосной станции, и имеется одно напорно-регулирующее сооружение.

По характеру взаимного расположения насосной станции, водонапорной башни и сети различают схемы с односторонним (сеть с проходной башней), двухсторонним (сеть с контррезервуаром) и комбинированным питанием сети.

Трассирование водопроводной сети, в процессе которого ей придают определенное геометрическое очертание в плане, зависит от планировки объекта водоснабжения и размещения на его территории отдельных водопотребителей, рельефа местности, наличия естественных и искусственных препятствий для укладки труб. Правила трассировки вытекают из требований, предъявляемых к водопроводной сети. По форме сети делят на кольцевые, то есть состоящие из одного или нескольких замкнутых контуров, и разветвленные, или тупиковые. Кольцевые сети обладают следующими преимуществами перед тупиковыми: гарантируют надежную и бесперебойную подачу воды; смягчают действия гидравлических ударов; имеют меньшие диаметры труб; обеспечивают циркуляцию воды.

Недостатком кольцевой сети являются большая протяженность, а, следовательно, и высокая стоимость. Для большинства объектов водоснабжения сети проектируют кольцевыми, особенно когда система объединена с противопожарной из условия надежности подачи воды.

Тупиковые сети проектируют в малых водопроводах при числе жителей менее 500 чел. Однако тупиковые сети могут быть и в крупных районных водопроводах при снабжении водой объектов, находящихся на значительном расстоянии.

В данном расчетном случае принимается кольцевая система водоснабжения, а отдельно стоящие потребители соединены с кольцевой сетью тупиковыми водопроводами.

Кольца по возможности должны иметь форму, вытянутую вдоль

основного направления движения воды, и охватить равномерно всю территорию населенного пункта. В кольцевых сетях обычно можно наметить основные линии – магистральные, их основное назначение – транспортирование воды. Системы магистральных линий соединяют перемычками магистрального назначения. Они нужны для обеспечения надежности и выравнивания основных продольных магистралей. Расстояние между продольными магистральными линиями обычно назначают 300-500 м, расстояние между перемычками – до 800 м. Все магистральные линии объекта водоснабжения, нанесенные на плане, для расчета разбивают на отдельные участки. Начальные и конечные точки каждого расчетного участка называют узлами и обозначают порядковыми номерами. Узлы назначают во всех точках, где имеются сосредоточенные расходы воды, а также в точках пересечений линий. Порядок трассировки следующий:

1. Намечаются внешние границы колец, они должны проходить внутри жилой застройки.
2. Проводятся перемычки магистрального назначения.
3. Все магистральные линии разбиваются на отдельные участки.
4. Начальные и конечные точки каждого участка нумеруются.

### **Практическое занятие № 3** **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

Гидравлический расчет водопроводной сети сводится к выбору экономически наиболее выгодных диаметров труб и определению потерь напора на его участках. Вычисленные потери напора используются затем для расчета высоты водонапорной башни и требуемого напора насосов, питающих водопроводную сеть

После трассировки магистральную сеть разбивают на расчетные участки. Начало и конец каждого участка нумеруют. Для каждого расчетного случая работы сети определяют узловы отборы. Но для начала определяют путевые расходы на участках.

Удельный расход воды и магистральной сети:

$$q_{уд.} = \frac{q_{х.п.}}{\sum L}, \text{ л/с} \cdot \text{м},$$

где  $q_{х.п.}$  – расход на хозяйственно-питьевые нужды населения в час максимального водопотребления, л/с (см. сводную таблицу водопотребления);

$\sum L$  – суммарная протяженность водоводов кольцевой сети (исключая тупиковые линии, ведущие к мастерским и животноводческому комплексу, а также водоводы, ведущие от башни и насосной станции), м.

Зная удельный расход воды, мы можем определить путевые расходы воды на каждом участке:

$$q_{пут} = q_{уд} * L_i, \text{ л/с}$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -го участка кольцевой сети, м.

Узловые расходы воды условно принимаются постоянными, не зависящими от напора в водопроводной сети.

Для расчета узловых расходов используют следующую формулу:

$$q_{\text{узл}} = 0,5 \sum q_{\text{пут}} + Q_{\text{кр.п.}}, \text{ л/с}$$

где  $\sum q_{\text{пут}}$  – сумма путевых расходов на участках, примыкающих к расчетному узлу, л/с;  $Q_{\text{кр.п}}$  – расход воды крупными потребителями в расчетном узле (сосредоточенные расходы), л/с, принимается из сводной таблицы водопотребления для часа максимального водопотребления.

Зная узловые расходы и подачи насосной станции и водонапорной башни, можно сделать предварительное потокораспределение, целью которого является назначение направлений движения воды в линиях сети и определение линейных расходов. Очевидно, что количество воды, подаваемое в водопроводную сеть водопитателями, должно быть равно количеству воды, отбираемой потребителями.

На схеме водопроводной сети проставляются узловые расходы и расходы, поступающие в сеть от насосной станции и водонапорной башни. Перед распределением намечается точка схода потоков. Выбор этой точки зависит от взаимного расположения водопитателей. За точку схода потоков принимается наиболее удаленный от водопитателей и высоко расположенный узел. Для всех линий сети намечается направление движения воды к точке схода потоков, затем участки сети нумеруются.

Предварительное потокораспределение расходов воды начинается с ближайшего к главному водопитателю узла, затем намечаются линейные расходы таким образом, чтобы для каждого узла было справедливо тождество:

$$\sum q_i = 0;$$

где  $\sum q_i$  – сумма поступающих в  $i$ -тый узел и уходящих из него расходов воды.

Поступающие в узел расходы принимаются со знаком “+”, уходящие со знаком “-”.

По результатам предварительного потокораспределения делается гидравлическая увязка кольцевой сети, результат которой сводится в таблицу. Предварительно необходимо подобрать материал водопроводных труб. Скорость движения воды определяется по формуле:

$$v = \frac{q}{\omega}, \text{ м/с}$$

где  $q$  – расходы воды на участке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  – площадь живого сечения трубопровода, определяемая по формуле:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2$$

где  $d$  – диаметр трубопровода,  $m^2$ .

Удельное сопротивление  $A$ ,  $m^2/c^6$ , зависящее от материала труб и их диаметра.

Поправочные коэффициенты  $K$  к значениям удельных сопротивлений  $A$ .

Сопротивление на участке определяется по формуле:

$$S = K \cdot L \cdot A \cdot 10^{-6}, m^2 / c^6$$

Потери напора на участке определяются по формуле:

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

Знаки потерь напора расставляют в зависимости от выбранного направления обхода кольца. Если движение воды на участке совпадает с направлением обхода, то потеря напора берется со знаком «+», если не совпадает – со знаком «-».

Невязка определяется как алгебраическая сумма потерь напора в кольце:

$$\sum h = \pm \Delta h$$

Увязку ведут до тех пор, пока одновременно для всех колец не будет выполняться условие:  $\Delta h \leq \pm 0,5 m$ .

Если невязка  $\Delta h$  хотя бы в одном кольце превышает допустимую, то сеть увязывают, последовательно перераспределяя расходы воды, вводя при каждом исправлении поправочный расход  $\Delta q$ , который определяется отдельно для каждого кольца по формуле:

$$\Delta q = \frac{\pm \Delta h}{2 \sum S q}, л / c$$

Знак поправочного расхода означает, какие участки перегружены (если «-» $\Delta q$ , то перегружены участки, на которых вода движется против часов стрелки, если «+» $\Delta q$ , то перегружены участки, на которых вода движется по часовой стрелке). Поэтому необходимо с перегруженных участков снять расход воды в объеме  $\Delta q$  и прибавить к недогруженным участкам в объеме  $\Delta q$ .

Исправленные расходы определяют по формуле:

$$q^* = q + \Delta q^*, л / c \text{ (первое исправление)}$$

$$q^{**} = q^* + \Delta q^{**}, л / c \text{ (второе исправление и т.д.)}$$

Отрицательный знак расхода означает, что на данном участке изменилось направление движения воды.

## Практическое занятие № 4

### РАСЧЕТ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ ОТМЕТОК И СВОБОДНОГО НАПОРА

Результаты гидравлического расчета водопроводной сети используют для определения напоров в начале и сети и во всех узлах.

$$z_{плj} = z_{плi} \pm h_{i-j}, \text{ м}$$

где  $h_{i-j}$  – потери напора на участке  $i-j$ , м.

где  $H_{св}$  – фактический напор, м, для диктующей точки  $H_{св} = H_{тр}$

$H_{тр}$  – требуемый напор, одинаковый для всех точек, имеющих одну этажность застройки, определяется по формуле:

$$H_{тр} = 10 + 4(n - 1), \text{ м}$$

где  $n$  – этажность застройки.

При расчете пьезометрических отметок задаются расположением диктующей точки, то есть точки, в которой свободный напор равен требуемому. Предварительно диктующую точку можно задать в наиболее высоко расположенном и удаленном от водопитателей узле. Пьезометрическая отметка диктующей точки определяется:

$$z_{пл.д.т.} = z_3 + H_{св}, \text{ м}$$

При расчете  $z_{пл}$  в последующих узлах имеет значение направление движения воды по участку. Если направление обхода при расчете от диктующей точки совпадает с направлением движения воды, то потери напора вычитаются, если не совпадают, то потери данного участка суммируются. Если в каком-либо узле свободный напор меньше требуемого, то диктующая точка задана неверно. В этом случае за диктующую точку необходимо принять узел, в котором  $H_{св} < H_{тр}$ . Для построения карт пьезолиний и свободных напоров в масштабе вычерчивается схема водопроводной сети, затем интерполяцией определяются точки с одинаковыми значениями отметок, соединяя эти точки, получается карта пьезолиний. Аналогично строится карта свободных напоров.

## Практическое занятие № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ВМЕСТИМОСТИ ВОДОНАПОРНОЙ БАШНИ

Бак водонапорной башни хозяйственно-противопожарного водопровода должен содержать объем воды для регулирования неравномерности водопотребления и неприкосновенный противопожарный запас: для населенных мест на 10-минутную продолжительность тушения одного

внутреннего и одного наружного пожаров при одновременном наибольшем расходе воды на другие нужды.

Полный объем водонапорной башни определяется по формуле:

$$W_{n(б)} = W_{рез(б)} + W_{пп}, \text{ м}^3$$

где  $W_{пож}$  – неприкосновенный противопожарный запас воды в баке башни:

$$W_{пп} = 0,6 \cdot (Q_{р.с} + Q_n), \text{ м}^3$$

где  $Q_{р.с}$  – расчетный расход воды из водопроводной сети в час максимального водопотребления;  $Q_n$  – расход воды на 10-ти минутную продолжительность одного внутреннего и одного наружного пожара.

$$W_{n(б)} = \frac{\pi \cdot D_{б.б.}^2}{4} h_{б.б.}$$

$$D_{б.б.} = h_{б.б.} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot W_{n(б)}}{\pi}}$$

Высота противопожарной призмы:

$$h_{п.п.} = \frac{4 \cdot W_{п.п.}}{\pi \cdot D_{б.б.}^2}$$

Высота ствола водонапорной башни:

$$H_{ствола} = H_{св(Бб)} - h_{п.п.}$$

где  $H_{св(Бб)}$  – свободный напор в узле, в котором расположена водонапорная башня, м.

## Практическое занятие № 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ВМЕСТИМОСТИ РЕЗЕРВУАРА ЧИСТОЙ ВОДЫ

Резервуары предназначены для хранения хозяйственных, противопожарных, технологических и аварийных запасов воды. В зависимости от конструкции и принципа работы они бывают: по форме – круглые и прямоугольные; по степени заглубления – подземные и полуподземные; по материалу – железобетонные и бетонные.

Резервуары должны быть надежны в работе, экономичны и удобны в эксплуатации; материал, из которого они выполнены, не должен ухудшать качество воды.

Для обеспечения надежности водоснабжения в системах крупных водопроводов необходимо устраивать несколько резервуаров (не менее 2-х), дающих в сумме расчетную емкость. Это позволяет выключать на ремонт или промывку отдельные резервуары.

Объем РЧВ определяется по формуле:

$$W_{полн(РЧВ)} = W_{рег(РЧВ)} + W_{в/с} + W_{пп}, \text{ м}^3$$

где  $W_{рег(РЧВ)}$  – регулирующая емкость,  $\text{м}^3$ ;  $W_{пп}$  – неприкосновенный противопожарный запас воды,  $\text{м}^3$ ;  $W_{в/с}$  – объем воды на нужды водоочистой

станции,  $\text{м}^3$ .

$$W_{nn} = \frac{3 \cdot 3600}{1000} \cdot Q_{\text{пож}} + W_{x-n} - 3Q_{\text{исл}}, \text{м}^3$$

где  $Q_{\text{пож}}$  - расход воды на тушение расчетного количества одновременных пожаров, л/с;

$$Q_{\text{пож}} = Q_{\text{max}} + 50\%Q_{\text{min}}$$

$W_{x-n}$  - объем воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды в течение 3-х смежных часов с максимальным водопотреблением.

$W_{в/с}$  - расход воды на собственные нужды водоочистой станции:

$$W_{в/с} = (0,01 \dots 0,015) \cdot Q_{\text{сут. макс}}, \text{м}^3$$

Объем одного РЧВ:

$$W_{\text{полн(РЧВ)}} = W_{\text{полн(РЧВ)}}^1 = \frac{W_{\text{н(РЧВ)}}}{2}$$

$$S_{\text{РЧВ}} = \frac{W_{\text{полн(РЧВ)}}^1}{H_{\text{РЧВ}}}$$

где  $H_{\text{РЧВ}}$  - высота РЧВ, принимается 3...4 м;

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

## Практическое занятие № 7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

1. Находится мощность пласта

– для безнапорного пласта:  $m = \nabla_{\text{зем}} - \nabla_n$ , м

– для напорного пласта:  $m = \nabla_k - \nabla_n$ , м

2. Определяется напор в скважине:  $H = \nabla_{\text{ст}} - \nabla_n$ , м

3. Для предварительного расчета суточный расход скважины  $Q$  принимается равным максимальному суточному расходу, требуемому для подачи потребителю:

$$Q = Q_{\text{сут. макс.}}, \text{м}^3 / \text{сут.}$$

$Q_{\text{сут. макс.}}$  - максимальный суточный расход, требуемый для подачи потребителю,  $\text{м}^3/\text{сут.}$  (определяется по исходным данным).

4. а) При неустановившемся движении подземных вод в условиях недостаточного водопитания водоносного пласта гидростатическое давление в нем уменьшается, в результате чего радиус влияния увеличивается, а удельный дебит уменьшается. Определяется радиус влияния депрессионной воронки за нормативный период эксплуатации:

$$R_0 \approx 1,5 \cdot \sqrt{a \cdot t}, \text{м}$$

где  $t$  - время отдачи воды из скважины за период эксплуатации в сутках (25 лет – нормативное значение).



$$t = 25 \cdot 365 = 9125 \text{ суток};$$

$a$  – коэффициент пьезопроводности, характеризующий скорость распределения давления в водоносном пласте при откачке,  $\text{м}^2/\text{сут}$ , определяется:

– для безнапорного пласта

$$a = \frac{K_{\phi} \cdot h_{\text{ср}}}{\mu_{\delta}}, \text{ м}^2 / \text{сут}$$

где:  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сут}$ .

Коэффициент фильтрации принимается в зависимости от типа водоносной породы (см. приложение 7).

$h_{\text{ср}}$  – средняя мощность водоносного пласта за период откачки,  $\text{м}$ .

$$h_{\text{ср}} = 0,9 \cdot H, \text{ м}$$

$\mu_{\delta}$  – показатель (коэффициент) водоотдачи безнапорного водоносного пласта, принимается по приложению 7 в зависимости от типа водоносной породы.

– для напорного пласта:

$$a = \frac{K_{\phi} \cdot t}{\mu_{\text{н}}}, \text{ м}^2 / \text{сут}$$

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

$t$  – мощность водоносного пласта,  $\text{м}$ ;

$\mu_{\text{н}}$  – показатель (коэффициент) упругой водоотдачи напорного водоносного пласта, принимается по приложению 7 в зависимости от типа водоносной породы.

б) В условиях достаточного водопитания водоносного пласта, когда отобранная из пласта вода пополняется в достаточном количестве, статический уровень практически не изменяется в процессе длительной эксплуатации и радиус влияния зависит от водопроницаемости пород, характеризуемой коэффициентом фильтрации  $K_{\phi}$  и от понижения  $S$ , возникающего при отборе воды из скважины. В этом случае для нахождения радиуса влияния можно воспользоваться следующей формулой:

– для безнапорных вод:

$$R \approx 2 \cdot S \cdot \sqrt{K_{\phi} \cdot t}, \text{ м}$$

При этом не рекомендуется, чтобы понижение  $S$  в скважине было больше 40...50 м, то есть  $S \leq 40...50$  м. Оптимальное понижение для безнапорных скважин:

$$S = 0,25 \cdot H, \text{ м}$$

– для напорных вод:

$$R \approx 10 \cdot S \cdot \sqrt{K_{\phi}}, \text{ м}$$

При этом не рекомендуется, чтобы понижение  $S$  в скважине было больше 40...50 м, то есть  $S \leq 40...50$  м. Оптимальное понижение  $S$  для напорных скважин:

$$S = 0,35 \cdot H, \text{ м}$$

5. Задается расстояние между скважинами в зависимости от породы, складывающей водоносный пласт (см. приложение 8). Расстояние между скважинами не менее 30 м.

6. Определяется дебит скважины с учетом взаимодействия:

$$Q_{\text{вз.скв.}} = \alpha_{\text{вз.}} \cdot Q, \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где  $\alpha_{\text{вз.}}$  – коэффициент взаимодействия, который принимается в зависимости от расстояния между скважинами (см. приложение 9).

7. Определяется предварительное количество скважин:

$$n = \frac{Q_{\text{сут. макс.}}}{Q_{\text{вз.скв.}}}$$

Число скважин необходимо округлить до целого числа.

8. Определяется фактический дебит одной скважины:

$$Q_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{сут. макс.}}}{n}, \text{ м}^3 / \text{сут}$$

9. Определяется наружный диаметр фильтра:

$$D_{\text{нар}} = \frac{Q_{\text{факт}}}{\pi \cdot l_{\text{р.ч.}} \cdot v_{\text{вх}}}, \text{ м}$$

где:  $v_{\text{вх}}$  – скорость входа воды из водоносного пласта в фильтр, м/сут, определяется по формуле:

$$v_{\text{вх}} = 65 \cdot \sqrt[3]{K_{\text{ф}}}, \text{ м} / \text{сут};$$

$l_{\text{р.ч.}}$  – длина рабочей части фильтра, м:

– для безнапорного пласта:

Длину рабочей части фильтра  $l_{\text{р.ч.}}$  для безнапорных скважин глубиной до 50 м определяют по формуле:

$$l_{\text{р.ч.}} = h_{\text{доп.}} - 10, \text{ м}$$

Длину рабочей части фильтра  $l_{\text{р.ч.}}$  для безнапорных скважин глубиной свыше 50 м определяют по формуле:

$$l_{\text{р.ч.}} = h_{\text{доп.}} - 12, \text{ м}$$

где  $h_{\text{доп.}}$  – минимально допустимая разность между динамическим уровнем воды у внешней стенки скважины и подошвой водоносного пласта, м.

$$h_{\text{доп.}} = H - S, \text{ м}$$

– для напорного пласта:

Длину рабочей части фильтра для напорных скважин из водоносных пластов, мощностью  $m \leq 10$  метров определяют по формуле:

$$l_{p.ч.} = m - (1...2) , м$$

Длину рабочей части фильтра для напорных скважин из водоносных пластов, мощностью  $m > 10$  метров определяют по формуле:

$$l_{p.ч.} = \beta \cdot m , м$$

где  $\beta$  – коэффициент, принимается в пределах  $\beta = 0,6...0,8$ .

Рекомендуемый минимальный диаметр фильтра 100 мм, максимальный диаметр – 300 мм. Если полученный наружный диаметр фильтра больше или меньше рекомендуемых размеров, диаметр фильтра принимается конструктивно (в пределах 100...300 мм).

10. Определяется водозахватывающая способность скважины  $Q_{скв}$  при принятом  $D_{нар}$ :

$$Q_{скв} = D_{нар} \cdot \pi \cdot l_{p.ч.} \cdot v_{вх} , м^3 / сут$$

$\frac{Q_{скв}}{24} \leq 60...90 м^3 / час$ , иначе необходимо уменьшить наружный диаметр фильтра.

11. Уточняется число рабочих скважин:

$$n_{раб} = \frac{Q_{сут. макс.}}{Q_{скв}}$$

Число скважин необходимо округлить до целого числа.

12. Фактический дебит одной скважины при числе рабочих скважин:

$$Q_{факт} = \frac{Q_{сут. макс.}}{n_{раб}} , м^3 / сут$$

Часовой  $q_{факт.ч.}$  и секундный  $q_{факт.с.}$  расходы скважины:

$$q_{факт.ч.} = \frac{Q_{факт.}}{24} , м^3 / ч$$

$$q_{факт.с.} = \frac{q_{факт.ч.}}{3,6} , л / с$$

13. Уточняется наружный диаметр фильтра при  $Q_{факт.}$ :

$$D_{нар} = \frac{Q_{факт.}}{\pi \cdot l_{p.ч.} \cdot v_{вх}} , м$$

Подбирается фильтр (см. приложение 10).

14. Определяется напор насоса.

$$H_n = H_z + h_{дл} + h_m , м$$

где

$h_{дл}$  - потери напора по длине, м.

$$h_{дл} = 1000i \cdot l , м$$

где  $l$  – длина водоводов от скважины до станции водоподготовки, км;

$1000i$  – удельные потери напора в метрах на 1 километр длины (м/км), принимаются по таблицам [3] в зависимости от диаметра трубопровода и

расхода, протекающего по нему;

$h_m$  – местные потери напора, принимаются 10...15% от потерь напора по длине, м.

$$h_m = (0,1 \dots 0,15) \cdot h_{\text{дл}} \text{ , м}$$

$H_2$  – геометрическая высота подъема, м.

$$H_2 = \nabla_{\text{с. вод.}} - \nabla_{\text{дин}} \text{ , м}$$

$\nabla_{\text{с. вод.}}$  – отметка воды в распределительной чаше фильтра на станции водоподготовки, м.

$$\nabla_{\text{с. вод.}} = \nabla_{\text{зем.с.в.}} + (4,0 \dots 4,5) \text{ , м}$$

$\nabla_{\text{зем.с.в.}}$  – отметка земли станции водоподготовки, м;

$\nabla_{\text{дин}}$  – динамический уровень воды в скважине, м.

$$\nabla_{\text{дин}} = \nabla_{\text{ст}} - S \text{ , м}$$

где  $S$  – понижение уровня воды в скважине, м:

– для безнапорного пласта:

$$S = H - h \text{ , м}$$

где  $H$  – напор в скважине, м;

$h$  – разность между динамическим уровнем воды у внешней стенки скважины и подошвой водоносного пласта (динамический напор в скважине), м.

Если  $n_{\text{раб}} = 1$ , то динамический напор в скважине определяется по формуле:

$$h = \sqrt{H^2 - \frac{Q_{\text{факт}}}{1,36 \cdot K_{\text{ф}}} \cdot \lg \frac{R_{\text{э}}}{r}} \text{ , м}$$

где  $r$  – радиус скважины, м ( $r = 0,1$  м).

Понижение уровня воды в скважине:

$$S = H - h \text{ , м}$$

Если  $n_{\text{раб}} > 1$ , то определяется минимальный динамический напор для центральной скважины с учетом влияния остальных скважин по формуле:

$$h_{\text{min}} = \sqrt{H^2 - \frac{0,74}{m \cdot K_{\text{ф}}} \cdot \left( Q_1^{\text{факт}} \cdot \lg \frac{R_{\text{э}}}{r_0} + Q_2^{\text{факт}} \cdot \lg \frac{R_{\text{э}}}{r_{2-1}} + \dots + Q_n^{\text{факт}} \cdot \lg \frac{R_{\text{э}}}{r_{n-1}} \right)} \text{ , м}$$

где  $Q_1^{\text{факт}}$ ,  $Q_2^{\text{факт}}$ , ...,  $Q_n^{\text{факт}}$  – фактические расходы, отбираемые из скважин 1, 2, ...,  $n$  соответственно, м<sup>3</sup>/сут;

Принимается, что фактические расходы, отбираемые из скважин равны:

$$Q_1^{\text{факт}} = Q_2^{\text{факт}} = \dots = Q_n^{\text{факт}} = Q_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{сут. макс.}}}{n_{\text{раб}}} \text{ , м}^3 \text{ / сут}$$

$r_0$  – радиус скважины, м;

$r_{2-1} \dots r_{n-1}$  – расстояния от скважины, в которой определяют понижение (скважины №1), до скважин №2 ... № $n$ , соответственно, м.

Определяется максимальное понижение для центральной скважины с учетом влияния остальных скважин по формуле:

$$S_{max} = H - h_{min} , м$$

В центральной скважине динамический напор будет минимальным, а понижение будет максимальным. Если число рабочих скважин четное, то центральными являются две средние скважины.

Затем аналогично определяются динамический напор  $h$  и понижение  $S$  в каждой скважине, с учетом влияния других скважин.

По рекомендациям СНиП принимается количество резервных скважин  $n_p$  в зависимости от категории надежности водозабора и количества рабочих скважин  $n_{раб}$ .

– для напорного пласта:

Если  $n_{раб} = 1$ , то понижение уровня воды в скважине определяется по формуле:

$$S = \frac{Q_{факт}}{2,73 \cdot m \cdot K_{ф}} \cdot \lg \frac{R_{э}}{r} , м$$

где  $r$  – радиус скважины, м, ( $r=0,1$  м).

Если  $n_{раб} > 1$ , то определяется понижение уровня воды для центральной скважины с учетом влияния остальных скважин по формуле:

$$S_{max} = \frac{0,37}{m \cdot K_{ф}} \cdot \left( Q_1^{факт} \cdot \lg \frac{R_{э}}{r_0} + Q_2^{факт} \cdot \lg \frac{R_{э}}{r_{2-1}} + \dots + Q_n^{факт} \cdot \lg \frac{R_{э}}{r_{n-1}} \right) , м$$

где  $Q_1^{факт}$ ,  $Q_2^{факт}$ , ...,  $Q_n^{факт}$  – фактические расходы, отбираемые из скважин 1, 2, ...,  $n$  соответственно, м<sup>3</sup>/сут;

Принимается, что фактические расходы, отбираемые из скважин равны:

$$Q_1^{факт} = Q_2^{факт} = \dots = Q_n^{факт} = Q_{факт} = \frac{Q_{сут. макс.}}{n_{раб}} , м^3 / сут$$

$r_0$  – радиус скважины, м;

$r_{2-1} \dots r_{n-1}$  – расстояния от скважины, в которой определяют понижение (скважины №1), до скважин №2 ... № $n$ , соответственно, м.

В центральной скважине понижение будет максимальным. Если число рабочих скважин четное, то центральными являются две средние скважины.

Затем аналогично определяется понижение в каждой скважине, с учетом влияния других скважин.

Понижение уровня воды  $S$  в одиночной скважине (если  $n_{раб} = 1$ ) необходимо сравнить с допустимым понижением уровня  $S_{дон}$ , необходимо чтобы выполнялось условие  $S \leq S_{дон}$ . При  $n_{раб} > 1$  с допустимым понижением уровня  $S_{дон}$  необходимо сравнить понижение в центральной скважине  $S_{max}$ , необходимо чтобы выполнялось условие  $S_{max} \leq S_{дон}$ . Если условие не выполняется, необходимо изменить расстояние между скважинами либо число рабочих скважин и выполнить расчет заново.

15. Подбираем скважинный насос по напору  $H_n$  и подаче  $q_{\text{факт.ч.}}$ . В зависимости от выбранного насоса определяются диаметр электродвигателя  $D_э$ , длина электродвигателя  $l_э$ , а также номинальный напор  $H_n^{\text{ном}}$  и номинальная подача  $Q_n^{\text{ном}}$  насоса.

При подборе насоса также определяется диаметр обсадной колонны  $D_{\text{о.к.}}$  скважины. Необходимо, чтоб выполнялось условие  $D_{\text{о.к.}} \geq D_{\text{факт.нар}} + 0,05$ , м. Если условие не выполняется, то необходимо конструктивно принять стандартный диаметр обсадной колонны  $D_{\text{о.к.}}$  скважины, который бы удовлетворял этому условию.

16. Определяется минимальную глубину погружения насоса в скважину:

$$H_{\text{погр}}^{\text{min}} = \nabla_{\text{зем}} - \nabla_{\text{ст}} + S_{\text{max}} + \Delta S + \Delta h + (3 \dots 7), \text{ м}$$

где 3...7 м – глубина погружения насоса под динамический уровень.

Потери напора в фильтре:

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{факт.}} \cdot \xi}{6,28 \cdot K_{\text{ф}} \cdot m}, \text{ м}$$

где  $\xi$  – обобщенное сопротивление фильтра и прифилтровой зоны водоприемной части скважины, зависящее от типа и конструкции фильтра, формы, количества и размеров проходных отверстий и их взаимодействия, а также от характеристики водоносной породы. Для правильно подобранного фильтра можно принять  $\xi = 1$ . В других случаях  $\xi$  определяют экспериментально, либо принимают по графикам в зависимости от коэффициента фильтрации  $K_{\text{ф}}$  и типа фильтра.

Потери напора в щели между погружным электродвигателем и обсадной колонной:

$$\Delta h = \frac{0,04 \cdot l_э + 0,3 \cdot (D_{\text{о.к.}} - D_э)}{12,1 \cdot (D_{\text{о.к.}} + D_э)^2 \cdot (D_{\text{о.к.}} - D_э)^2} \cdot Q_{\text{факт.}}^2, \text{ м}$$

где  $D_э$  – диаметр электродвигателя, м;

$D_{\text{о.к.}}$  – диаметр обсадной колонны скважины, м;

$Q_{\text{факт.}}$  – фактический дебит скважины, м<sup>3</sup>/с;

$l_э$  – длина электродвигателя, м.

## Практическое занятие № 8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Зоны санитарной охраны должны предусматриваться на всех проектируемых и реконструируемых водопроводах хозяйственно-питьевого назначения в целях обеспечения их санитарно-эпидемиологической надежности. Зоны водопровода должны включать зону источника водоснабжения в месте забора воды (включая водозаборные сооружения), зону и санитарно-защитную полосу водопроводных сооружений (насосных

станций, станций подготовки воды, емкостей) и санитарно-защитную полосу водоводов. Зона источника водоснабжения в месте забора воды должна состоять из трех поясов: первого — строгого режима, второго и третьего — режимов ограничения.

В первый пояс санитарной охраны включается участок водоприемного сооружения, а также связанная с ними насосная станция, установка для обработки воды и резервуар. Границы этого пояса должны отстоять от водозаборных сооружений на расстояние не менее 30 м при использовании артезианских водоносных горизонтов и на расстоянии не менее 50 м при использовании безнапорных грунтовых вод. На генплане населенного пункта первый пояс санитарной охраны определяется окружностью или квадратом вокруг водозаборной скважины радиусом 30 м или стороной квадрата 60 м.

Границы второго пояса санитарной охраны устанавливаются в зависимости от местных гидрогеологических условий и характера использования подземного потока. Радиус площади 2-го пояса зон санитарной охраны равен:

– для напорного пласта:

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q \cdot T}{\pi \cdot m \cdot \mu}}$$

– для безнапорного пласта:

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q \cdot T}{\pi \cdot m \cdot \mu}}$$

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

T – расчетное время выживаемости микробов, 200 суток;

m – мощность водоносного горизонта, м;

$\mu$  – активная пористость, 0,25.

Радиус зоны третьего пояса:

– для напорного пласта:

$$R_3 = \sqrt{\frac{Q \cdot T}{\pi \cdot m \cdot \mu}}$$

– для безнапорного пласта:

$$R_3 = \sqrt{\frac{Q \cdot T}{\pi \cdot m \cdot \mu}}$$

где: T – расчетное время выживаемости микробов, 10000 суток.

## II Раздел

### Практическое занятие № 1

Тема: Технические параметры насоса

Задача №1 При испытании насоса, всасывающий трубопровод которого диаметром  $d_B=100$  мм и нагнетательный  $d_H=80$  мм получены следующие результаты: подача насоса  $Q=12$  л/с, показания манометра  $p_M=150$  кПа, вакуумметра  $p_B=35$  кПа. Определить напор насоса, если высоты подключения приборов  $Z_M=0,5$  м,  $Z_B=0,2$  м, а плотной перекачиваемой жидкой среды  $\rho=1060$  кг/м<sup>3</sup>.

Задача №2 Насос перекачивает воду из открытого источника в закрытый резервуар на поверхности жидкости в котором избыточное давление  $p_U=110$  кПа. Отметки уровня воды в источнике  $0,00$  м, в резервуаре  $30,00$  м, а оси насоса  $3,00$  м. Диаметры всасывающего трубопровода  $d_B=200$  мм, нагнетательного  $150$  мм, длины всасывающего трубопровода  $l_B=10$  м, нагнетательного  $l_H=25$  м. Коэффициенты местных сопротивлений  $\xi_{кл}=5,0$ ,  $\xi_{пов}=1,0$ ,  $\xi_3=2,0$ , коэффициенты гидравлического трения  $\lambda_B=0,025$ ,  $\lambda_H=0,03$ . Определить мощность и  $N_{вотт.вс.}$  насоса, если его подача  $Q=25$  л/с и  $\eta=0,78$ .

Задача №3 При испытании насоса, диаметры всасывающего и нагнетательного трубопроводов которого равны между собой, получены следующие результаты: подача насоса  $Q=12$ , показания приборов  $p_M=130$  кПа,  $p_B=35$  кПа, крутящий момент на валу насоса  $M_{кр}=10$  н.м частота вращения рабочего колеса  $n=2900$  обр. Определить КПД насоса, если  $Z_M=Z_B$ , а плотность жидкой среды  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Задача №4 Насос Д 200-36 ( $n=1450$  об/мин) перекачивает воду при максимальном КПД. Определить его величину, если крутящий момент на валу насоса  $M_{кр}=155$  н.м.

## Практическое занятие № 2

**Тема: Треугольники скоростей. Основное уравнение центробежного насоса**

Задача №1 Рабочее колесо с радиальным входом ( $\alpha_1=90^\circ$ ) имеет следующие геометрические параметры:  $D_1=80$  мм,  $\beta_1=22^\circ$ ,  $S_1=3$  мм,  $Z=6$  шт.

Определить коэффициент стеснения потока  $\psi_1$ , скорости  $C_1$ ,  $C_{1r}$ ,  $W_1$  если частота вращения колеса ц/б насоса  $n=1450$  об/мин.

Задача №2 Рабочее колесо центробежного насоса имеет следующие геометрические параметры:  $D_2=200$  мм,  $\beta_2=30^\circ$ . Определить величины  $C_{2и}$  и  $C_{2r}$  если  $W_2=12$  м/с, а частота вращения колеса насоса  $n=2900$  об/мин.

Задача №3 При обмере рабочего колеса центробежного насоса с односторонним входом получены следующие значения:  $D_1=93$  мм,  $D_2=218$  мм,  $b_1=23$  мм,  $b_2=8$  мм,  $S_1=S_2=3$  мм,  $\beta_1=20^\circ$ ,  $\beta_2=25^\circ$ ,  $Z=7$  шт. Определить подачу, напор и мощность насоса, если частота вращения рабочего колеса  $n=1450$  об/мин, а  $\eta_r=0.85$ ,  $\eta_o=\eta_m=0.97$ ,  $\alpha_1=90^\circ$ .



### Практическое занятие № 3

Тема: **Коэффициент быстроходности насоса. Высота всасывания насоса. Работа насоса на трубопровод**

Задача № 1. Первый насос марки Д 200-36 при частоте вращения рабочего колеса 1450 об/мин обеспечивает подачу 200 м<sup>3</sup>/ч и напор 36 м. Второй насос марки ЭЦВ6-4-90 при частоте вращения рабочего колеса 2850 об/мин обеспечивает подачу 4 м<sup>3</sup>/ч и напор 90 м. Число рабочих колес (ступеней) второго насоса равно 10. Определить, какой насос является более быстроходным.

Задача № 2. Насос откачивает воду из открытого источника при атмосферном давлении – 101 кПа. Его подача составляет 30 л/с, частота вращения рабочего колеса – 1450 об/мин, температура воды – 20<sup>0</sup>С, кавитационный коэффициент быстроходности – 650, потери напора во всасывающем трубопроводе – 1,8 м. Определить допустимую геометрическую высоту всасывания насоса.

Задача № 3. Насос типа Д при подаче 600 м<sup>3</sup>/ч обеспечивает напор 57 м. Температура перекачиваемой воды – 20<sup>0</sup>С, частота вращения рабочего колеса – 1450 об/мин, потери во всасывающем трубопроводе – 0,8 м, атмосферное давление – 99 кПа. Определить геометрическую допустимую высоту всасывания.

Задача №4. Насос марки Д 200-36 подает воду в резервуар объемом 40 м<sup>3</sup>. Геометрическая высота подъема воды составляет 30 м, полное сопротивление трубопроводов насосной установки – 6600 с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>. Определить время наполнения резервуара, если напорная характеристика насоса задана точками:

Q, л/с:	0	20	40	60	80
H, м:	37	40	39	35	28

### Практическое занятие № 4

Тема: **Подбор насоса**

Задача 1 Подобрать водопроводный насос для работы на трубопровод с характеристикой  $H=45+640 Q^2$ , если его подача равна  $Q=125$ л/с.

### Практическое занятие № 5

Тема: **Совместная работа ц/б насосов в системе трубопроводов**

Задача 1 Центробежный насос 1Д500-65 ( $n=1450$  об/мин  $D_{р.к}=465$ мм) работая на трубопровод с характеристикой  $H=60+500Q^2$  наполняет резервуар за 50 мин.

Определить:

1. Время наполнения резервуара при совместной работе двух насосов этой марки и параллельном включении.
2. Как изменится подача и КПД насоса, включенного в сеть параллельно по сравнению с независимой его работой?
3. Время наполнения резервуара при совместной работе двух насосов этой марки и последовательном включении.
4. Какое включение насосов, с точки зрения величины КПД, предпочтительнее?

## 2.2 Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

### I Раздел

*Лабораторная работа № 1*

*Лабораторная работа № 2*

*Лабораторная работа № 3*

*Лабораторная работа № 4*

*Лабораторная работа № 5*

*Лабораторная работа № 6*

### II Раздел

*Лабораторная работа № 1*

*Лабораторная работа № 2*

*Лабораторная работа № 3*

*Лабораторная работа № 4*

*Лабораторная работа № 5*

*Лабораторная работа № 6*

*Лабораторная работа № 7*

*Лабораторная работа № 8*

## І Раздел

### Лабораторная работа № 1

#### ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ВОДОПРОВОДНЫМИ ТРУБАМИ И СПОСОБАМИ ИХ СОЕДИНЕНИЯ

**Цель работы:** изучить основные типы трубопроводов, применяемые в системах водоснабжения, а также со способы их соединения

Чугунные трубы. Применяются для строительства подземных напорных водоводов и изготавливаются путем стационарного литья в песчаные формы (ГОСТ 21053 – 75), а также методом центробежного и полунепрерывного литья (ГОСТ 21053-75), а также методом центробежного и полунепрерывного литья (ГОСТ 9583-75). В зависимости от толщины стенок трубы подразделяются на три класса: ЛА, А И Б с допускаремым испытательным давлением соответственно 2,5, 3,5, 4,0 МПа. Они могут поставлаться заводами-изготовителями диаметром 65...300 мм и длиной от 2 до 6м (ГОСТ 21053-75), диаметром 65...1000 мм и длиной от 2 до 10 м (ГОСТ 9583-75). Для предохранения от коррозии чугунные трубы при их изготовлении на заводе внутри и снаружи покрывают нефтяным битумом. Пример маркировки чугунной трубы, изготовленной по ГОСТ 21053-75. ЧН Б-1 250×5000 А ГОСТ 21053-75. Расшифровка: труба чугунная напорная с манжетой Б-1, диаметром 250 мм, длиной 5000 мм, класс А.

Стальные трубы. Применяются для строительства наиболее ответственных участков водопроводных сетей, а также для изготовления фасонных узлов и деталей. Трубы, изготавливаемые по ГОСТ 10704-76,- электросварные, а по ГОСТ 3262-75- трубы стальные водогазопроводные. Трубы ГОСТ 10704-76 изготавливаются длиной от 2 до 12 м и диаметром от 8 до 1620 мм.

Трубы ГОСТ 3262–75 изготавливаются длиной от 4 до 12 м и диаметром от 17 до 150 мм. Они имеют следующую маркировку 125 х 4,5 1000 ГОСТ 3262–75. Расшифровка: труба обыкновенная, неоцинкованная, с условным проходом 125 мм, толщиной стенки 4,5 мм и длиной 1000 мм. Следует отметить, что сортамент стальных труб достаточно большой, каждому из них соответствуют свои размеры и своя маркировка.

Асбестоцементные трубы (ГОСТ 539-80, ГОСТ 5.990-7). Предназначены для напорных подземных водоводов и сети технических водопроводов. В зависимости от толщины и прочности стенок они изготавливаются трех классов: ВТ-6, ВТ-9 и ВТ-12. Максимальное рабочее давление при котором может быть использована труба данного класса, соответственно 0,6; 0,9 и 1,2 МПа. Длина труб в зависимости от диаметра колеблется от 2950 мм (диаметры 100, 150 мм) до 3950 мм (диаметры 200, 250, 300, 350, 400 и 500 мм). Пример маркировки асбестоцементных труб по ГОСТ 539-80: 250ВТ-9-VIII-78 «не бросать». Расшифровка: труба с условным проходом 250 мм класса ВТ-9, изготовленная в августе 1978г.

Полиэтиленовые трубы (ГОСТ 18599-83) применяются для транспортировки

воды в напорных водопроводных сетях. Они изготавливаются из полиэтилена низкой плотности (ПНП) и высокой плотности (ПВП) четырех типов: легкие (Л), среднелегкие (СЛ), средние (С) и тяжелые (Т) с рабочим давлением 0,6 МПа (С) и 0,9 МПа (Т). Трубы диаметром более 40 мм изготавливаются отрезками длиной 6, 8, 10 и 12 м.

Наиболее распространенными соединениями труб являются муфтовое, сварное, фланцевое, раструбное. Тип соединения выбирается в зависимости от материала труб и места укладки трубопровода.

**Соединение стальных труб** осуществляется резьбовыми муфтами, фланцами, сваркой.

Муфтовое соединение применяют при монтаже внутренних систем водоснабжения для трубопроводов малых диаметров (до 100 мм), при этом чаще всего используют газовые трубы. В таких трубах по концам нарезается резьба, допускающая наворачивание муфты на половину ее длины. Для удобства соединения и разъединения узлов, собранных на муфтах, отдельные соединения выполняют на стыках с «длинной» резьбой, равной 1,3 длины муфты.

Плотность стыка соединяемых труб обеспечивается паклей пропитанной красками. Соединение производят следующим образом: на резьбу равномерным слоем наматывают распущенную паклю, пропитанную краской, затем навинчивают муфту. Наматывание пакли производят по ходу резьбы.

Фланцевые соединения относятся к наиболее надежным, но дорогим. Применяют их в основном при соединении труб с водопроводной арматурой и фасонными частями. Размер фланцев, их форма зависят от диаметра трубопровода и давления в нем. Значительное число типов фланцевых соединений стандартизировано.

Количество болтов фланцевого соединения зависит также от диаметра и давления в трубопроводе. Количество болтов принимается кратным четырем (4, 8, 12, 16 и т.д.).

Для уплотнения стыков применяют кольцеобразные прокладки из мягкого материала: резиновые, картонные, асбестовые, поронитовые и др.

Наибольшее распространение получило соединение стальных труб электрической и автогенной сваркой. Способы соединения стальных труб показаны на рис. 1. а, б, в.

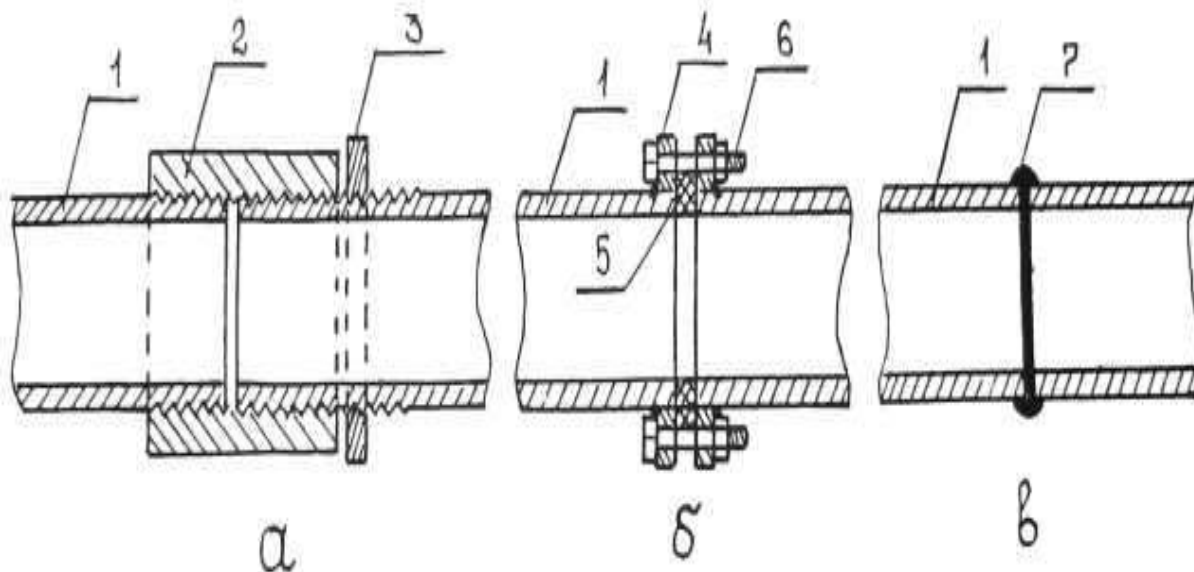


Рис. 1. Соединение стальных труб: а) муфтовое соединение; б) фланцевое

соединение; в) соединение сварным швом. 1 - труба; 2 - соединительная муфта; 3 - контргайка; 4 - фланец; 5 - уплотнительная прокладка; 6 - болт с гайкой; 7 - сварной шов.

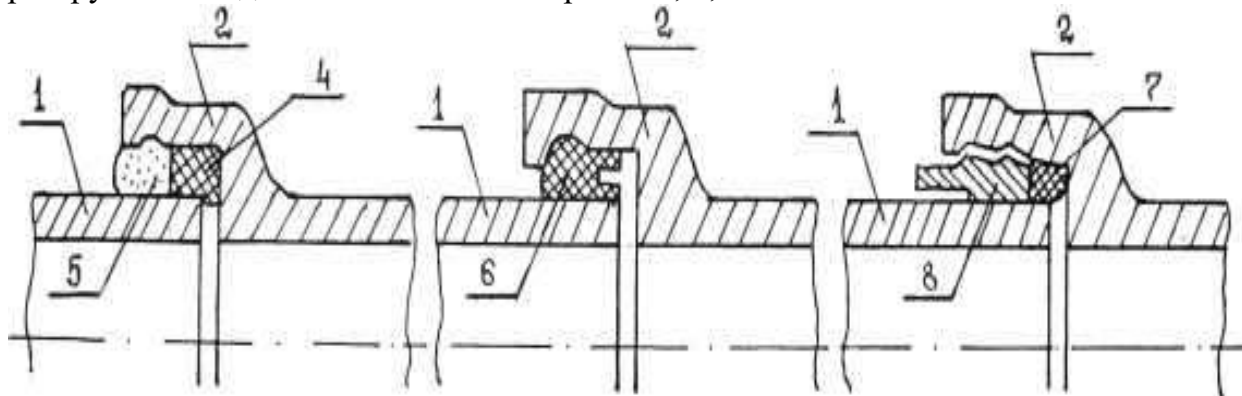
**Соединение чугунных труб** производят заделкой раструбных стыков. Гладкий конец одной трубы вставляют в раструб другой. Герметичность соединений достигается зачеканкой стыка просмоленной пеньковой прядью или уплотнением резиновыми кольцами. Просмоленной пеньковой прядью заполняют часть раструбной щели. Остальную часть зазора заполняют асбестоцементом, который удерживает пеньковую прядь в раструбе. Пеньковая прядь и асбестоцемент уплотняются послойно с помощью чеканки и молотка.

Асбестоцементная смесь готовится следующего состава: цемент-70%, асбестовое волокно-30% (по весу), вода-10-12% от веса сухой смеси. Цемент марки не ниже 400, не поддающийся коррозии в агрессивной среде.

В последнее время более широкое применение в заделке раструбных соединений нашли резиновые самоуплотняющиеся манжеты и раструбно-винтовое стыковое соединение с чугунной упорной муфтой и резиновым кольцом круглого сечения.

Монтаж стыковых соединений труб с резиновой манжетой ведут в следующем порядке: перед началом работ проверяют качество и целостность труб и уплотнительных манжет, внутреннюю поверхность раструба и наружную поверхность гладкого конца трубы очищают от загрязнений и наплывов битума. Вставляют манжету в канавку раструба так, чтобы гребень ее полностью разместился в кольцевом пазе. Вводимый в раструб гладкий конец монтируемой трубы смазывают графитно-глицериновой смесью. (Можно использовать мыльный раствор). После центрирования труб с помощью монтажного приспособления производят соединение стыка.

Для монтажа стыков при уплотнении их резиновыми кольцами проводят следующие рабочие операции. После очистки гладкого конца подсоединяемой к линии трубы и раструба предыдущей на гладкий конец надевают резиновое кольцо. Расстояние от обреза трубы до кольца должно быть равно 3...5 мм. Затем производят центровку и вводят гладкий конец в раструб. Для закрепления резинового уплотнительного кольца остальную часть раструба заполняют асбестоцементом или ввинчивают упорную металлическую муфту. Примеры раструбных соединений показаны на рис. 2 а, б, в.

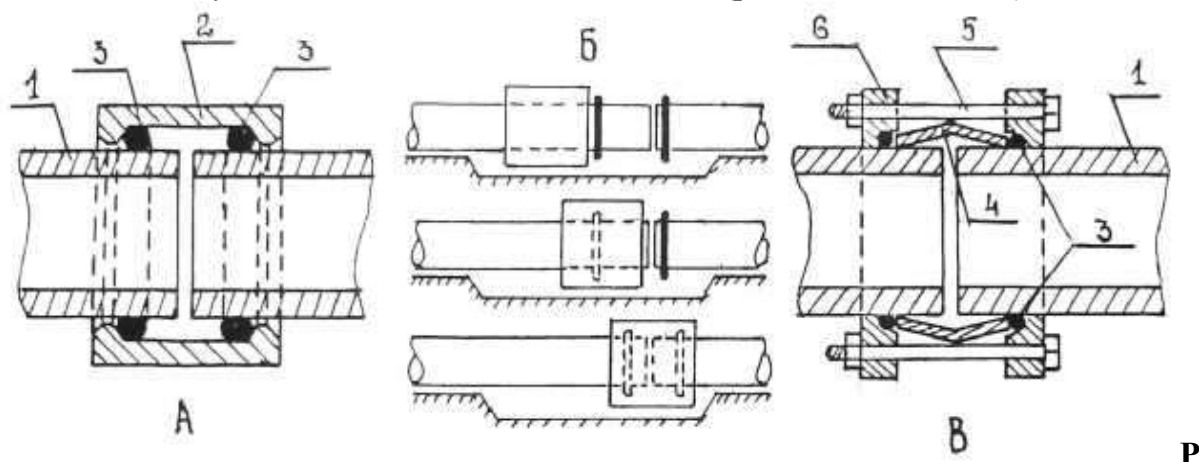


**Рисунок 2.** Раструбное соединение чугунных водопроводных труб: а) заделка стыка пеньковой прядью и асбестоцементом; б) то же резиновым кольцом и асбестоцементом; в) то же с упорной металлической муфтой. 1 - гладкий конец; 2 - раструб; 3 - зазор; 4 - пеньковая прядь; 5 - асбестоцемент; 6 - резиновые кольца; 7 - резиновое уплотнительное кольцо; 8 - упорная металлическая муфта.

**Соединение асбестоцементных труб** производят асбестоцементными муфтами. Для уплотнения зазора между трубой и муфтой применяют резиновые кольца. Порядок соединения стыков показан на рис. 8 (а, б). Асбестоцементная муфта с внутренней стороны имеет два кольцевых выступа, причем один из них имеет меньшую высоту и называется рабочим.

На одну из соединяемых труб надевается муфта, обращенная рабочим выступом в сторону соединяемого стыка. На соединяемые трубы надеваются резиновые кольца: одно - на трубу с муфтой на расстоянии, равном длине муфты от торца трубы, а другое - на трубу без муфты на расстоянии 5-10 мм от торца. Затем специальным приспособлением или ломиками муфту подвигают на первое резиновое кольцо, на стык и на второе кольцо.

Асбестоцементные трубы соединяются также с помощью муфты системы «жибо», которая состоит из чугунной муфты, двух подвижных Францев с болтами и двух резиновых уплотнительных колец (рис. 3, в). Рис. 3.



**Рисунок 3** Соединение асбестоцементных труб: а) соединение асбестоцементной муфтой;

б) порядок установки муфты; в) установка муфты «жибо». 1 - асбестоцементные трубы; 2 - муфта; 3 - резиновые кольца; 4 - чугунная втулка; 5 - болт с гайкой; 6 - подвижные фланцы.

Соединение такими муфтами допускается в местах, не связанных с засыпкой землей.

Порядок рабочих операций следующий: на концы соединяемых труб надеваются подвижные фланцы, затем резиновые кольца. Концы труб вводятся в чугунную муфту, и фланцы стягиваются болтами.

**Соединение пластмассовых труб** может быть разъемным и неразъемным. Разъемный стык соединяется с помощью Францев (рис. 4, а, б, в), неразъемный - сваркой и склеиванием. Сварные стыки показаны на рис. 5 а, б, в.

Для разогрева пластмассовых труб при их соединении используются электрические горелки или плоские нагревательные элементы.

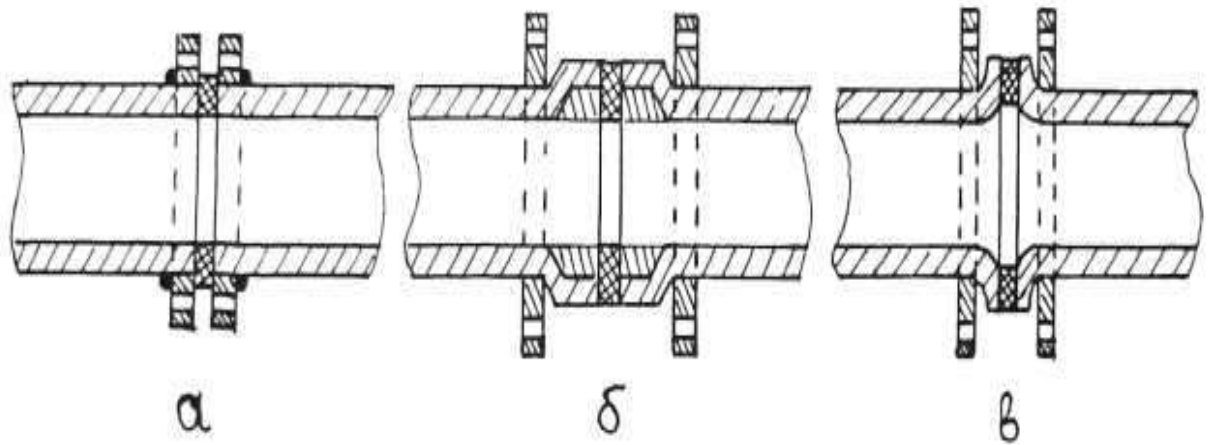


Рис. 4. Разъемное соединение пластмассовых труб: а) соединение с приварными фланцами; б) со свободными фланцами; в) со свободным раструбами на разболтовке.

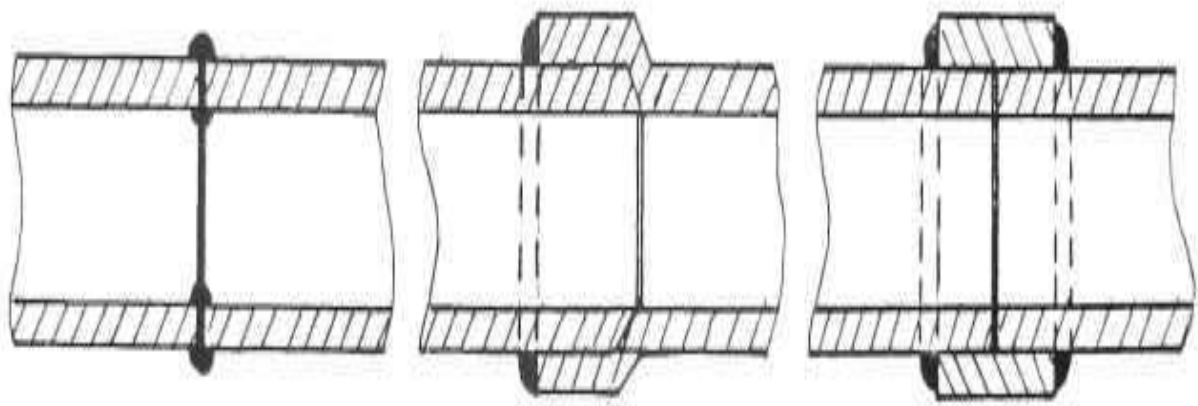


Рис. 5. Неразъемное соединение пластмассовых труб



## Лабораторная работа № 2

### ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ФАСОННЫМИ ЧАСТЯМИ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ

**Цель работы:** ознакомиться с фасонными частями, применяемыми в системах водоснабжения и способами их соединения с трубопроводами

**Фасонные части на сети.** Монтаж узлов на сети осуществляется при помощи специальных деталей - фасонных частей. Фасонные части применяются для устройства на трубопроводах поворотов, ответвлений, переходов от одного диаметра к другому, а также для установки на сети арматуры различного назначения.

Направление линий на водопроводной сети изменяется при помощи колен (раструбного, фланцевого, раструб - гладкого конца) с углом поворота  $90^\circ$  и отводов (раструб, раструб - гладким концом) с углом поворота менее  $90^\circ$ .


Для изменения диаметра сети применяют переходы. Для соединения раструбных труб с фланцами задвижек применяют патрубки. Для соединения двух гладких концов труб применяют двойной раструб. При устройстве на водопроводных линиях ответвлений применяют тройники. Для установки на сети пожарных гидрантов применяют пожарные подставки. Кроме того, применяют фасонные части специального назначения: выпуски, служащие для опорожнения трубопроводов; седелки, предназначенные для устройства присоединений к наружной сети ответвлений к зданиям.

Фасонные части, их размеры и масса приводятся в ГОСТе 5525-88. Условные обозначения основных фасонных частей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Фасонные части.

Условное обозначение на схемах	Обозначение в документах	Условный проход ствола, мм (в скобках указаны диаметры отростка)
1	2	3
<b>Тройники</b>		
	<b>ТФ</b> - тройник фланцевый	80(65,80); 100(65,80,100) 125 (65,80,100,125) 150(65,80,100,125,150)
	<b>ТР</b> - тройник раструбный	200 (65-200); 250 (85-250) 300 (60-300); 350 (100-350)
	<b>ТРФ</b> - тройник раструб-фланец	400 (100-400); 450 (100-450) 500(100-500); 600(150-600) 700(150-700)
<b>Колено</b>		
	<b>УФ</b> - колено фланцевое	65-1200
	<b>УР</b> - колено раструбное	65-1200
	<b>УРГ</b> - колено раструб - гладкий конец	
<b>Отводы</b>		
	<b>ОР</b> - отвод раструбный	65-1200 $\alpha=10^\circ$ $\alpha=15^\circ$

		$\alpha = 30^\circ$ $\alpha = 45^\circ$
	<b>ОРГ</b> - отвод раструб-гладкий конец	
<b>Переходы</b>		
	<b>XF</b> - переход фланцевый	80*65; 100 * 65 - 100 * 80 125 * (65 - 100)
	<b>XRF</b> - переход раструб-фланец	150* (80 -125); 200* (80 -150); 250 * (100 - 200); 300 * (125 - 250)
	<b>XR</b> - переход-раструб	350 * (150 - 300; 400 * (200 - 350) 450 * (200 - 400)
	<b>XRG</b> -переход раструб - гладкий конец	500 * (250 - 450) 600 * (300 - 500)
<b>Патрубки</b>		
	<b>ПФР</b> - патрубок-фланец-раструб	
	<b>ПФГ</b> - патрубок-фланец-гладкий конец	65-1200
<b>Двойной раструб</b>		
	<b>ДР</b>	65-1200
<b>Муфты</b>		
	<b>МН</b> - подвижная	65-1200
	<b>МС</b> - свертная	65-250
<b>Седелки</b>		
	<b>СФ</b> - фланцевая	65-1000
	<b>СР</b> - с резьбой	
<b>Заглушки</b>		
	<b>ЗФ</b> - фланцевая	65-1200
<b>Пожарные подставки</b>		
	<b>ППР</b> - раструбная	100-1000
<b>Тройники с пожарной подставкой</b>		
	<b>ППТРФ</b> - тройник -раструб-фланец с пожарной подставкой	<i>D*d</i> отростка 100*100; 150*100; 150*150 200*100; 200*150; 200*200;
	<b>ППТФ</b> - тройник фланцевый с пожарной подставкой	250* 150; 250*200; 250*250 300*200; 300*250; 300*300
<b>Крест с пожарной подставкой</b>		
	<b>ППКРФ</b> - крест-раструб-фланец с пожарной подставкой	<i>D* d</i> отростка 100*100; 150*100; 150*150; 200*100; 200*150; 200*200;

	<b>ППКФ</b> - крест фланцевый с пожарной подставкой	250*150; 250*200; 250*250 300*200; 300*250; 300*300
---	--	--

**Водопроводные колодцы.** Размеры и форма колодцев определяются в зависимости от диаметров трубопроводов, а также количества и размеров фасонных частей и арматуры.

Круглые колодцы применяются диаметром 1; 1,25; 1,5; 2 м. При необходимости устройства колодца большего размера сооружаются прямоугольные камеры размерами: 2,5×1,5; 3,0×1,5; 2,5×2,0; 2,5×2,5; 3,0×3,0; 3,5×3,5 м.

При определении размера и типа водопроводных колодцев для всех узлов и водопроводных линий, где предусмотрена установка той или иной водопроводной арматуры, вычерчиваются схемы размещения фасонных частей и арматуры в колодцах, а затем по справочным материалам находят линейные размеры фасонных частей и задвижек.

Минимальное расстояние до внутренних поверхностей колодца в соответствии с надлежит принимать:

- - от стенок труб при диаметре труб до 400 мм - 0,3 м; от 500-600 мм - 0,5 м; более 600 мм - 0,7 м;
- - от плоскости фланца при диаметре до 400 мм - 0,3 м; более 400 мм - 0,5 м;
- - от края раструба, обращенного к стенке при диаметре до 300 мм - 0,4 м; более 300 мм - 0,5 м;
- - от низа трубы до дна при диаметре до 400 мм - 0,25 м; от 500 до 600 мм - 0,3 м; более 600 мм - 0,35 м.

Определив по двум направлениям требуемое расстояние, необходимо принять к устройству ближайший стандартный колодец.

Особо значительные и сложные узлы трубопроводов больших диаметров разделяются на несколько колодцев или для размещения коммуникаций по специальному проекту выполняется камера переключений.

#### **Порядок проведения детализации**

На схеме водопроводной сети показывают трубопроводы с указанием диаметров и длин участков, отводов внутриквартальной распределительной сети и мест расположения колодцев. Распределительная сеть не рассчитывается и диаметр ее принимается равным 100 мм.

Трубопроводы на схеме обозначаются в соответствии с ГОСТом 21.604-82 одной сплошной линией, элементы сети и трубопроводная арматура - условными графическими обозначениями, приведенными в табл. 14.35.

Схемы сетей выполняют в плане без масштаба. Элементам сетей присваивают обозначения, состоящие из порядковых номеров элементов в пределах каждой сети. Колодцам и камерам с пожарными гидрантами присваивают марку ПГ и номер (например, ПГ-1, ПГ-2). Для колодцев, не имеющих гидрантов, вводится только нумерация. Обозначение диаметра трубопровода на схемах сетей наносится над трубопроводом.

Затем составляются монтажные схемы каждого кольца, которые

выносятся в виде отдельной таблицы.

Всем элементам сети присваиваются номера позиций. Одинаковым, одного диаметра элементам присваивают одинаковые номера позиций. По монтажным схемам (рис. 1) составляют спецификацию всех элементов сети по форме, приведенной в табл. 1.

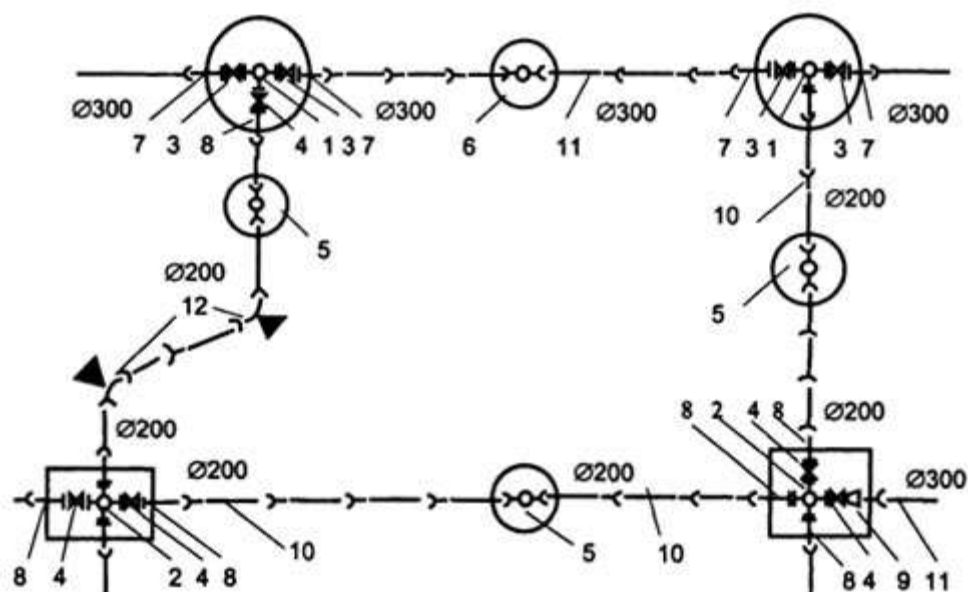


Рис. 1. Пример детализовки.

Пример спецификации

	Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Масса ед., кг
В-1	ППТФ 300×200	Тройник фланцевый с пожарной подставкой	шт	2	131,0
В-2	ППКФ 200	Крест фланцевый с пожарной подставкой	шт	2	111,0
В-3	30с14нж1	Задвижка Ø 300	шт	4	173,0
В-4	30с14нж1	Задвижка Ø 200	шт	5	89,0
В-5	ППР 200	Пожарная подставка раструбная	шт	3	75,0
В-6	ППР 300	Пожарная подставка раструбная	шт	1	121,0
В-7	ПФГ 300	Патрубок фланец - гладкий конец	шт	4	57,8
В-8	ПФГ 200	Патрубок фланец - гладкий конец	шт	6	32,0
В-9	ХРФ 300×200	Переход фланец-раструб	шт	1	66,2
В-10	ЧНР200А×6000 ГОСТ 8437-75	Трубы чугунные Ø 200	шт		312
В-11	ЧНР300А×6000 ГОСТ 8437-75	Трубы чугунные Ø 300	шт		583
В-12	ОРГ 30° 200 ГОСТ	Отвод раструб - гладкий конец	шт	2	47,5

	5525-88			
--	---------	--	--	--

## Лабораторная работа № 3

### ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОНСТРУКЦИЕЙ ВОДОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

**Цель работы:** ознакомиться с конструкциями водопроводной арматуры, применяемыми в системах водоснабжения и способами их соединения с трубопроводами

**Арматура водопроводной сети.** Арматурой называются устройства, смонтированные на водопроводной сети, с помощью которых осуществляется эксплуатация. Арматура имеет определенную маркировку и отличительную окраску. Для облегчения подбора и правильности ее выбора существует несколько систем индексаций. Индекс, как правило, включает несколько элементов из цифр и букв. Например: Задвижка 30ч925бр. Расшифровка: 30 – задвижка, ч – чугунная, с электроприводом (9), конструкции, обозначенной порядковым номером 25 по каталогу, с уплотнительными кольцами из бронзы (бр). Водопроводная арматура классифицируется по ряду признаков: **н а з н а ч е н и е** – запорно-регулирующая, предохранительная, водоразборная, контрольно-измерительная; **п р и н ц и п д е й с т в и я** – приводная (краны, задвижки) и самодействующая (клапаны); **р о д п р и в о д а** – ручная, механическая, гидравлическая, электрическая, пневматическая; **к о н с т р у к ц и я с т ы к о в** – фланцевая, муфтовая, приварная. Возможен ряд других признаков.

**К запорно-регулирующей арматуре** относят краны, вентили, задвижки и затворы. Она предназначена для включения или выключения отдельных участков водопроводной сети, регулируя, таким образом, направление движения воды. На внешней водопроводной сети данный вид арматуры устанавливается на водоводах, вводах в здания, а также в местах подсоединения к сети водонапорной башни, тупиковой сети, водоразборных колонок, пожарных гидрантов. Кроме того, этой арматурой водопроводная сеть разбивается на ремонтные участки. Длина таких участков подбирается с таким расчетом, чтобы при отключении их на ремонт одновременно отключалось не более 5 пожарных гидрантов. В местах установки запорно-регулирующей арматуры обязательно устройство водопроводного колодца.

**К предохранительной арматуре** относят гасители гидравлических ударов, обратные клапаны, вантузы, компенсаторы и т.п. Она снижает сверхдопустимые перегрузки путем выброса части воды в атмосферу, предотвращения таким образом разрыв трубопроводов при возникновении в них гидравлического удара (гаситель), либо перекрывает движение воды в обратном направлении (обратные клапаны). Для регулирования гидравлического режима в трубопроводе путем впуска либо выпуска воздуха служат вантузы. Установленные на напорно-разводящем трубопроводе водонапорной башни компенсаторы предохраняют эти трубы от температурных деформаций.

**К водоразборной арматуре** относятся водоразборные колонки, пожарные гидранты, пожарные и водоразборные краны. Водоразборные колонки

служат для разбора воды водопотребителями, живущими в зданиях, не оборудованных внутренним водопроводом. Они устраиваются на внешний водопроводной сети с максимальным расстоянием друг от друга 200 м. Существует несколько типов колонок. Наибольшее распространение получили незамерзающие колонки московского типа и системы Черкунова. Пожарные гидранты и краны служат для разбора воды из сети во время тушения пожара. Причем гидранты устанавливаются на наружной сети с максимальным расстоянием друг от друга 150 м. Пожарные и водоразборные краны служат для разбора воды из внутренней сети. В местах установки водоразборных колонок и пожарных гидрантов обязательно устройство водопроводных колодцев.

**К контрольно-измерительной арматуре** относятся реле уровня, реле давления, манометры и водосчетчики. Они позволяют контролировать работу различных элементов систем водоснабжения в целях оперативного вмешательства в работу этих элементов, а также измерять объемы потребленной воды.

**Задвижки, затворы и вентили.** Это оборудование служит для включения и отключения отдельных водопроводных линий, участков и ниток водоводов, для подключения и отключения отдельных потребителей. Задвижки и затворы кольцевого типа используются для регулирования подачи воды. Обычные типы задвижек и затворов для этих целей не применяются, так как быстро выходят из строя вследствие режима кавитации. Промышленностью выпускается достаточно большое количество типоразмеров задвижек. Среди них основным является ГОСТ 3706–83 литых фланцевых задвижек из чугуна и стали. Они имеют условный проход 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 и 2000 мм. Задвижки выпускаются с ручным, гидравлическим и электрическим приводом. По базовому размеру они могут быть нормальными и укороченными с выдвигным и невыдвигным шпинделем, параллельные, клиновые и конусные. Затворы выпускаются, как правило, поворотные дисковые ГОСТ 12521–77 и ГОСТ 13547–79 (на давление  $P \leq 2,5$  МПа). Диаметры условного прохода равны 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм. Привод затворов электрический. Вентили применяются на трубопроводах малых диаметров ( $D_u=6-150$  мм). Закрываются и открываются с помощью золотника, насаженного на шпиндель с винтовой резьбой. По материалу основных частей (корпус, золотник) вентили разделяются на латунные, стальные и пластмассовые. По способу присоединения различают вентили муфтовые, фланцевые и цапковые (последние предназначены для установки на хлорных и аммиачных баллонах). Основные параметры и конструктивное исполнение вентиляей, применяемых на трубопроводах, для различных сред и температур устанавливаются ГОСТ 9697–61.

**Обратные клапаны.** Они служат для предотвращения обратных течений воды в трубопроводах и автоматического отключения отдельных трубопроводов в период аварий на сети и водоводах и выходе из строя насосов. Обратные клапаны используются также и для разделения длинных

участков сети и водоводов с целью снижения в них величины возможного гидравлического удара. Различают обратные приемные клапаны и клапаны обратные поворотные. Первые устанавливаются на всасывающих линиях насосов, а вторые – на напорных линиях сетей и водоводов. Изготавливаются клапаны из стали и чугуна (ГОСТ 13252-73, ГОСТ 18580-73, ГОСТ 18581-73 и ГОСТ 18584-73). Обратные приемные клапаны выпускаются с диаметром условного прохода 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 400 и 500 мм, клапаны обратные поворотные – диаметрами 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 и 600 мм. **Предохранительные клапаны.** Они устанавливаются на сетях и водоводах с целью защиты последних от разрушения при возникновении гидравлического удара. При повышении давления сверх допустимого часть воды из корпуса клапана сбрасывается наружу и этим самым локализуется явление гидравлического удара. Изготавливаются предохранительные клапаны двух видов: пружинные и рычажно-грузовые (ГОСТ 12536-79, ГОСТ 5335-75, ГОСТ 9131-75, ГОСТ 3132-75). Пружинные флянцевые предохранительные полноподъемные клапаны выпускаются из стали с условными диаметрами входного и выходного патрубков соответственно 25/40, 40/65, 50/80, 80/100, 100/125, 150/200, 200/300; пружинные неполноподъемные – с условным проходом клапанов 50, 60, 80 и 100 мм. Клапаны рычажно-грузовые выпускаются с диаметрами условных проходов 25, 40, 50, 80, 100, 125 и 150 мм. Автоматические гасители. Эти устройства предназначены для гашения гидравлических ударов, возникающих в водопроводах только от внезапной остановки насосных установок. Для гашения гидравлических ударов другого происхождения они не используются. Устанавливают гасители на водоводах диаметром 300 и более миллиметров, а также на водоводах с геометрической высотой подъема воды выше 30-40 м. Размещаются гасители в специальной камере или помещении насосной станции непосредственно за обратным клапаном. Условный проход гасителей составляет 200 и 350 мм. В последнее время для защиты водоводов от гидравлического удара используются специальные диафрагмы, которые при достижении определенного давления в водоводе разрушаются и при этом самым подобно плавким предохранителям в электросетях обеспечивают сохранность водовода.

**Компенсаторы** применяются в сетях и водоводах для компенсации температурного изменения длин трубопроводов. В водоснабжении применяются преимущественно одно- и двухсторонние сальниковые компенсаторы, изготавливаемые по МН 2593-61 и МН 2598-61. Устанавливаются только на стальных трубопроводах с диапазоном изменения  $t = 250$  С. На трубопроводах с раструбными стыковыми соединениями установка компенсаторов не требуется, так как их роль выполняют сами раструбы. **Гидранты** устанавливаются на водопроводной сети с целью отбора воды на нужды пожаротушения. Гидранты выпускаются подземного и надземного типов (ГОСТ 8220–85 Е). Наиболее распространены подземные пожарные гидранты ПГ-3000. Диаметр условного прохода этих гидрантов составляет 125 мм.



Пожарные гидранты этого типа устанавливаются в водопроводных колодцах на пожарные подставки с флянцевыми соединениями непосредственно на линиях водопроводной сети или специальных отводах. Высота пожарных гидрантов изменяется от 500 до 2500 через каждые 250 мм.

**Водоразборные колонки** используются для отбора воды из сети населением, проживающим в индивидуальных домах без канализации. К конструкции водозаборных колонок предъявляются следующие требования: колонка должна быть незамерзающей; в колонку не должно попадать загрязнений из водопроводного колодца и почвы; при открывании колонки не должно возникать гидравлического удара. Этим требованиям в большей мере соответствует колонка московского типа МТ-1, которая нашла наиболее широкое применение. Колонки устанавливаются на сети или на отводах, как правило, в водопроводных колодцах, но могут быть установлены и в грунт.

**Воздушные вантузы** служат для автоматического удаления из сети и водоводов воздуха, скапливающегося в возвышенных местах. Вантузы выпускаются двух типоразмеров: с диаметром патрубка 25 и 50 мм. Первый устанавливается на водопроводных линиях с диаметром до 500 мм, а второй типоразмер – на линиях с диаметром более 500 мм. Размещаются вантузы в колодцах и присоединяются к трубопроводам вертикально с помощью фланцевого отростка или тройника через задвижку или вентиль.

**Водовыпуски** предназначены для опорожнения отдельных участков водопроводных линий в пониженных местах сетей и водоводов. Они представляют собой отводы с задвижкой. Диаметр водовыпусков принимается в 3–4 раза меньшим диаметра опоражнимых линий. Выпуск воды из сети осуществляется в пониженные места территории или в так называемые «мокрые» колодцы. Поэтому конкретная длина водовыпусков зависит от местных условий.

**Арматура систем водоснабжения зданий.** Управление системой и распределение воды потребителям в зданиях осуществляется с помощью запорной, регулирующей и предохранительной арматуры.

**Запорная арматура** устанавливается для перекрытия потока жидкости и отключения потока жидкости и отключения на ремонт отдельных участков трубопровода. Установка запорной арматуры на внутренних сетях предусматривается в следующих точках: на каждом вводе; на кольцевой разводящей сети для обеспечения отключения на ремонт ее отдельных участков (не более чем полукольцо); у основания пожарных стояков с числом пожарных кранов 5 и более; у основания стояков хозяйственно-питьевой и производственной сети в зданиях высотой 3 этажа и более; на ответвлениях, питающих более 5 водозаборных точек; на ответвлениях в каждую квартиру или номер гостиницы; на подводах к смывным бачкам, смывным кранам и водонагревательным колонкам; на ответвлениях к групповым душам и умывальникам; перед наружными поливочными кранами. В качестве запорной арматуры используют вентили с диаметром условного прохода 15–20 мм и задвижки  $d_y \geq 50$  мм. Регулирующая арматура предназначена для поддержания в водопроводной сети здания более или менее постоянного

давления и расхода, несмотря на изменение давления в разводящей сети.

## Лабораторная работа № 4

### УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ФИЛЬТРА С ЗЕРНИСТОЙ ЗАГРУЗКОЙ

**Цель работы:** 1. изучить конструктивные особенности фильтра с зернистой загрузкой;  
 2. изучить процесс очистки воды на фильтре с зернистой загрузкой;  
 3. определить расчетные технологические параметры работы фильтра;  
 4. замоделировать и изучить процесс регенерации (восстановления фильтрующей способности) фильтра.

#### Общие сведения

Фильтры — это водоочистные сооружения, на которых осуществляется процесс фильтрования через различные виды загрузочного материала. Наиболее часто на станциях водоподготовки хозяйственно-питьевой воды применяются открытые скорые фильтры с загрузкой из кварцевого песка, а на станциях обезжелезивания воды — открытые скорые фильтры с загрузкой из гранитного щебня. Мутность воды, поступающей на фильтры, должна быть не более 15 мил, а профильтрованной воды, как правило, 1,5 мул на фильтрах обезжелезивания воды содержания железа в воде после фильтрования должно быть не более 0,3 мг/л. На рисунке 3 представлена схема скорого фильтра с боковым карманом и трубчатым дренажом станции водоподготовки.

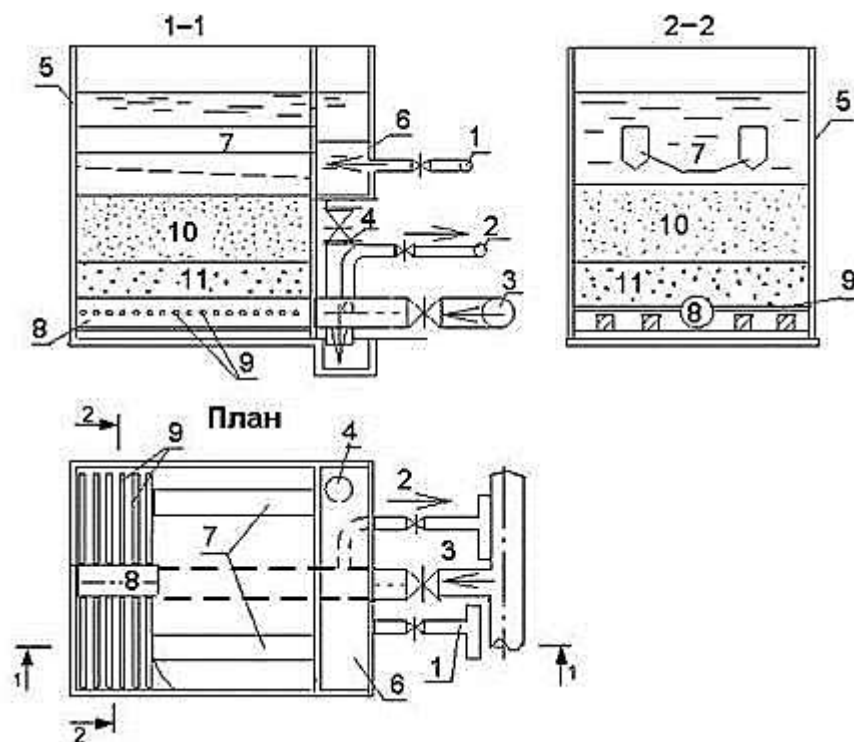


Рисунок 3 – Скорый фильтр с боковым карманом и трубчатым дренажом:

1 – подача воды на очистку; 2 – отвод фильтрованной воды; 3 – подача воды на промывку; 4 – сброс промывной воды; 5 – корпус фильтра; 6 – боковой карман; 7 – желоба; 8 – коллектор дренажа; 9 – трубы дренажа (ответвления); 10 – фильтрующая загрузка; 11 – поддерживающие слои

## Методика проведения работы

Лабораторная работа выполняется по эксплуатационным данным станции обезжелезивания действующего водозабора «Граевский» г.Бреста. Станция оснащена 8 скорыми безнапорными фильтрами с центральным сборным каналом. Общая производительность станции 25–27 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На рисунке 4 представлена схема действующего фильтра станции обезжелезивания.

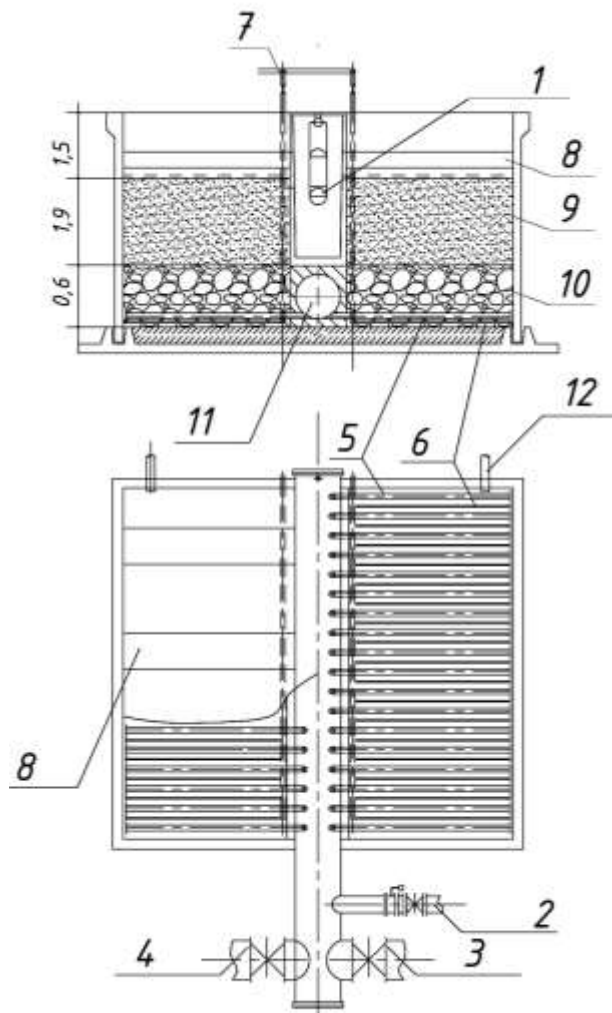


Рисунок 4 – Схема скорого безнапорного фильтра обезжелезивания водозабора «Граевский» г. Бреста:

1 – трубопровод подачи исходной воды (d250 мм); 2 – трубопровод отвода фильтрата в РЧВ (d250 мм); 3 – трубопровод подачи промывной воды (d500 мм); 4 – трубопровод отвода загрязненных промывных вод (d500 мм); 5 – дренажно-распределительная система (d100 мм); 6 – распределительная система воздуха (d100 мм); 7 – воздуховоды (d150 мм); 8 – желоба; 9 – загрузка (гранитный щебень крупностью 5-10 мм); 10 – поддерживающий слой (гранитный щебень крупностью 20-40 мм); 11 – сборный центральный трубопровод (d800 мм); 12 – трубопровод полного опорожнения (d150 мм)

Фильтры характеризуются следующими параметрами:

1) площадь 16 м<sup>2</sup>, ширина центрального канала – 1 м, загрузка – гранитный щебень, высота слоя загрузки – 1,9 м, высота поддерживающего слоя – 0,6 м;

2) диаметры трубопроводов: подводящего воду на фильтрование – 250 мм, отводящего чистую воду в РЧВ – 250 мм, подачи воды на промывку – 500 мм, отвод загрязненной промывной воды – 500 мм;

3) скорость фильтрования 10-15 м/ч, интенсивность подачи промывной воды 12-16 л/с·м<sup>2</sup>, интенсивность подачи воздуха 15-20 л/с·м<sup>2</sup>, продолжительность промывки 15-20 мин.

1. Изучение параметров, контролируемых в процессе работы фильтра:

- уровень воды над загрузкой на скорых фильтрах;
- прирост потери напора – каждые 2-4 ч, в зависимости от условий эксплуатации;
- толщина фильтрующего слоя – 1 раз в месяц;

- гранулометрический состав фильтрующего материала – 2 раза в квартал;
- горизонтальность расположения поддерживающих загрузку фильтра` слоев гравия и гальки – 1 раз в месяц производится проверка прощупыванием щупом во время промывки:
- остаточные загрязнения в фильтрующей загрузке – 1 раз в месяц; распределение загрязнений по высоте и грузоёмкость загрузки – периодически, по мере изменения параметров загрузки:
- уменьшение количества щебня в фильтре – 2 раза в год, проверка производится путем измерения расстояния от поверхности загрузки до кромок желобов и сравнения с проектным; перед дозагрузкой фильтра необходимо удалить верхний загрузенный слой загрузки на глубину 3-5 см;
- горизонтальность промывных желобов – 1 раз в год в случае надобности производя выравнивание кромок;
- состояние дренажной системы – 1 раз в квартал;

Контроль за работой фильтра включает в себя в том числе перебивку сальников, удаление песка из-под дренажа, хлорирование, испытание фильтра на утечку.

## 2. Изучение определения скорости фильтрации.

Замер скорости фильтрации производится путем понижения уровня воды на фильтре при открытой задвижке на трубе, отводящей фильтрованную воду и при одновременном прекращении поступления воды на фильтр желобами и равна площади фильтра. Промежуток времени между отсчетами 1-3 мин.

Скорость фильтрации может быть определена по формуле:

$$V = 3,6 \cdot \frac{l}{t}, \text{ м/ч,}$$

где  $l$  – отсчеты по рейке, мм;

$t$  – время между отсчетами, с.

Скорость фильтрования контролируют каждые 2-4 часа в зависимости от условий эксплуатации фильтров. Скорость фильтрации следует поддерживать постоянной в течении всего фильтроцикла. Включение фильтра в работу должно производиться со скоростью фильтрации 2-3 м/ч, после чего постоянно, без рывков, в течение 15 минут скорость увеличивается до заданной. Скоростной режим фильтрования выбирают с учетом местных условий и степени подготовки воды исходя из условий, чтобы при наибольшем загрязнении воды число промывок не превышало трое суток. Поддержание заданного режима фильтрования и равномерность работы сооружения должны обеспечиваться автоматическими регуляторами скорости фильтрования (проверка работы пультов – меньше 1 раз/мес).

## 3. Изучение ведения процесса промывки фильтра:

- интенсивность промывки определяется 1-2 раза в месяц и чаще, по мере изменения температуры воды, толщины и состояния фильтрационной загрузки; варьируется 10-15 л/сек·м<sup>2</sup> в зависимости от крупности зерен и системы фильтров; устанавливается методом, заключающемся в определении времени подъема промывной воды на определенную высоту над поверхностью фильтрующей загрузки, и вычисляется по формуле:

для фильтров с центральным каналом и для фильтров без центрального канала соответственно:

$$W = \frac{l \cdot S}{t \cdot S'}, \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2,$$

$$W = \frac{l}{t}, \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2,$$

где  $l$  – расстояние, на которое поднялась вода, мм;

$t$  – время подъема воды, с;

$S$  – площадь фильтра,  $\text{м}^2$ , с центральным каналом (рабочая  $16,59 \text{ м}^2$ );

$S'$  – площадь фильтра,  $\text{м}^2$ , без центрального канала (рабочая  $10,2 \text{ м}^2$ );

- периодичность промывки: 1-2 раза в месяц и чаще, по мере изменения режима промывки;
- степень расширения фильтрующего слоя во время промывки – 1 раз в месяц и чаще, по мере изменения толщины и состояния фильтрующего слоя, а также интенсивность промывки;
- длительность рабочего цикла сооружений – каждый цикл;
- состояние фильтрующего слоя – 1 раз в месяц.

В процессе промывки следует обратить особое внимание на следующее: перед промывкой – на общий вид загрязненного песка, толщину пленки, равномерность распределения загрязнений на поверхности фильтра, наличие грязевых скоплений, ям, воронок, трещин в загрузке; после промывки – на состояние загрузки, наличие недостаточно промытых мест, остаточного загрязнения, выброса поддерживающего слоя.

4. Разработка инструкции по проведению промывки скорого безнапорного фильтра.

5. Изучение эксплуатационных данных качества воды, поступающей на фильтровальные сооружения, и воды, подаваемой в городскую водопроводную сеть (по эксплуатационным данным водозабора).

6. Изучение формы журнала учета работы станции обезжелезивания (по эксплуатационным данным водозабора).

7. Выводы по работе.

## Лабораторная работа № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

**Цель работы:** установление направления движения потоков при трех схемах питания кольцевой сети, определение потерь напора и расходов на участках сети, установление баланса притока и оттока в узлах.

Гидравлический расчет водопроводной сети сводится к выбору экономически наиболее выгодных диаметров труб и определению потерь напора на его участках. Вычисленные потери напора используются затем для расчета высоты водонапорной башни и требуемого напора насосов, питающих водопроводную сеть

После трассировки магистральную сеть разбивают на расчетные участки. Начало и конец каждого участка нумеруют. Для каждого расчетного случая работы сети определяют узловые отборы. Но для начала определяют путевые расходы на участках.

Удельный расход воды и магистральной сети:

$$q_{уд.} = \frac{q_{х.п.}}{\sum L}, \text{ л/с} \cdot \text{м},$$

где  $q_{х/п}$  - расход на хозяйственно-питьевые нужды населения в час максимального водопотребления, л/с (см. сводную таблицу водопотребления);

$\sum L$  – суммарная протяженность водоводов кольцевой сети (исключая тупиковые линии, ведущие к мастерским и животноводческому комплексу, а также водоводы, ведущие от башни и насосной станции), м.

Зная удельный расход воды, мы можем определить путевые расходы воды на каждом участке:

$$q_{пут} = q_{уд} * L_i, \text{ л/с}$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -го участка кольцевой сети, м.

Узловые расходы воды условно принимаются постоянными, не зависящими от напора в водопроводной сети.

Для расчета узловых расходов используют следующую формулу:

$$q_{узл} = 0,5 \sum q_{пут} + Q_{кр.п.}, \text{ л/с}$$

где  $\sum q_{пут}$  – сумма путевых расходов на участках, примыкающих к расчетному узлу, л/с;  $Q_{кр.п.}$  – расход воды крупными потребителями в расчетном узле (сосредоточенные расходы), л/с, принимается из сводной таблицы водопотребления для часа максимального водопотребления.

Зная узловые расходы и подачи насосной станции и водонапорной башни, можно сделать предварительное потокораспределение, целью которого является назначение направлений движения воды в линиях сети и определение линейных расходов. Очевидно, что количество воды,

подаваемое в водопроводную сеть водопитателями, должно быть равно количеству воды, отбираемой потребителями.

На схеме водопроводной сети проставляются узловыe расходы и расходы, поступающие в сеть от насосной станции и водонапорной башни. Перед распределением намечается точка схода потоков. Выбор этой точки зависит от взаимного расположения водопитателей. За точку схода потоков принимается наиболее удаленный от водопитателей и высоко расположенный узел. Для всех линий сети намечается направление движения воды к точке схода потоков, затем участки сети нумеруются.

Предварительное потокораспределение расходов воды начинается с ближайшего к главному водопитателю узла, затем намечаются линейные расходы таким образом, чтобы для каждого узла было справедливо тождество:

$$\sum q_i = 0;$$

где  $\sum q_i$  – сумма поступающих в  $i$ -тый узел и уходящих из него расходов воды.

Поступающие в узел расходы принимаются со знаком “+”, уходящие со знаком “-”.

По результатам предварительного потокораспределения делается гидравлическая увязка кольцевой сети, результат которой сводится в таблицу. Предварительно необходимо подобрать материал водопроводных труб. Скорость движения воды определяется по формуле:

$$v = \frac{q}{\omega}, \text{ м/с}$$

где  $q$  – расходы воды на участке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  – площадь живого сечения трубопровода, определяемая по формуле:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2$$

где  $d$  – диаметр трубопровода,  $\text{м}^2$ .

Удельное сопротивление  $A$ ,  $\text{м}^2/\text{с}^6$ , зависящее от материала труб и их диаметра.

Поправочные коэффициенты  $K$  к значениям удельных сопротивлений  $A$ .

Сопротивление на участке определяется по формуле:

$$S = K \cdot L \cdot A \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2 / \text{с}^6$$

Потери напора на участке определяются по формуле:

$$h = S \cdot q^2, \text{ м}$$

Знаки потерь напора расставляют в зависимости от выбранного



направления обхода кольца. Если движение воды на участке совпадает с направлением обхода, то потеря напора берется со знаком «+», если не совпадает – со знаком «-».

Невязка определяется как алгебраическая сумма потерь напора в кольце:

$$\sum h = \pm \Delta h$$

Увязку ведут до тех пор, пока одновременно для всех колец не будет выполняться условие:  $\Delta h \leq \pm 0,5 \text{ м}$ .

Если невязка  $\Delta h$  хотя бы в одном кольце превышает допустимую, то сеть увязывают, последовательно перераспределяя расходы воды, вводя при каждом исправлении поправочный расход  $\Delta q$ , который определяется отдельно для каждого кольца по формуле:

$$\Delta q = \frac{\pm \Delta h}{2 \sum S q}, \text{ л/с}$$

Знак поправочного расхода означает, какие участки перегружены (если «-» $\Delta q$ , то перегружены участки, на которых вода движется против часов стрелки, если «+» $\Delta q$ , то перегружены участки, на которых вода движется по часовой стрелке). Поэтому необходимо с перегруженных участков снять расход воды в объеме  $\Delta q$  и прибавить к недогруженным участкам в объеме  $\Delta q$ .

Исправленные расходы определяют по формуле:

$$q^* = q + \Delta q^*, \text{ л/с (первое исправление)}$$

$$q^{**} = q^* + \Delta q^{**}, \text{ л/с (второе исправление и т.д.)}$$

Отрицательный знак расхода означает, что на данном участке изменилось направление движения воды.

## **Лабораторная работа № 6**

### **ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОНСТРУКЦИЕЙ И РАБОТОЙ ВОДОПРОВОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ВОДОЗАБОРЕ БРЕСТСКОГО РАЙОНА**

**Цель работы:** ознакомиться с технологической схемой, сооружениями, компоновкой и оборудованием водозаборных сооружений.

#### **Общие сведения**

К сооружениям 1-го подъема на водозаборах из подземных источников водоснабжения относятся: водоприемные сооружения (скважины, насосы 1-го подъема) и водоводы 1-го подъема.

Методы получения воды из скважин зависят от глубины расположения ее уровня. Чаще подъем напорных вод осуществляется при помощи глубинных насосов, гидроэлеваторов или эрлифтов. Насосы 1-го подъема, как правило, устанавливаются непосредственно в водоприемном сооружении. Из скважин по водоводам 1-го подъема вода подается для очистки на станцию водоподготовки. Схема оборудования водозаборной скважины представлена на рисунке 1.

#### **Методика проведения работы**

Лабораторная работа выполняется на основе эксплуатационных данных действующего водозабора «Граевский» г. Бреста. Забор воды на водозаборе осуществляется из 19 водозаборных скважин глубиной 218 - 252 м (рисунок 2).

1. Изучение эксплуатации скважин:
  - 1) проведение замеров статического и динамического уровней;
  - 2) проведение замеров производительности скважин;
  - 3) эксплуатация насосного оборудования скважин;
  - 4) проведение физико-химических и бактериологических анализов;
  - 5) возможные нарушения в работе скважин и методы их устранения;
  - 6) проведение ППР и ППО скважины.

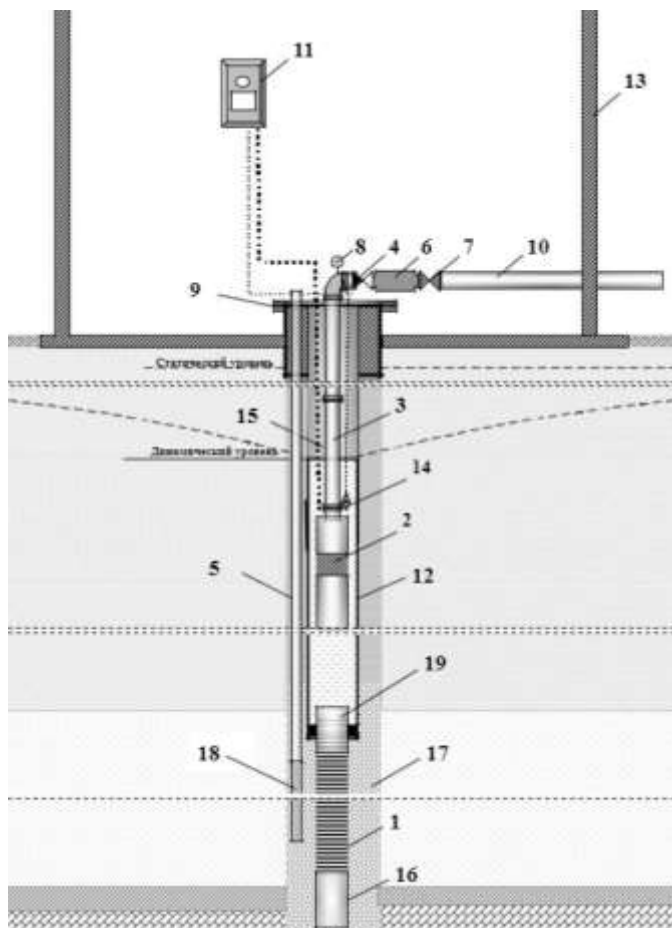


Рисунок 1 – Схема оборудования водозаборной скважины:

- 1 – фильтр; 2 – погружной насос; 3 – водоподъемная колонна труб; 4 – обратный клапан; 5 – пьезометр; 6 – водомер; 7 – задвижка; 8 – манометр; 9 – оголовок; 10 – соединительный напорный трубопровод; 11 – станция (щит) управления; 12 – обсадная труба; 13 – павильон (колодец); 14 – датчик уровня; 15 – электрический кабель; 16 – отстойник; 17 – гравийная обсыпка; 18 – фильтр пьезометра; 19 – уплотнение сальниковое

1.1 Замеры статических и динамических уровней воды в скважинах осуществляются электроконтактным способом, с использованием напряжения до 24В. Через отверстия для замера уровней в скважине, расположенной в опорной плите водоподъемной колонны, опускается электрод на прочном стальном изолированном проводе. При достижении электродом уровня воды замыкается электрическая цепь «фаза-земля», фиксирование момента замыкания производится при помощи электролампы или миллиамперметра, включенных в цепь. Электрод должен иметь вес, достаточный для полного натяжения провода, в противном случае при замерах будет допущена погрешность, превышающая допустимую. Электрод необходимо изолировать таким образом, чтобы исключить замыкание на обсадную трубу или колонну водоподъемных труб. Замеренным уровнем считается длина электрического провода от электрода в момент касания уровня воды до корки верхней опорной плиты скважины с точностью до 1 см. Динамический уровень в эксплуатационных скважинах измеряется пневматическим или электрическим указателем уровня не менее, чем через 1 час после включения насоса в работу, но не реже одного раза в месяц. Статический уровень — не менее чем через 1 час после остановки насоса в скважине, но не реже одного раза в месяц.

1.2. Учёт производительности скважин ведется с помощью водометров или расходомеров, установленных на напорной линии. Один раз в год во время генеральной проверки необходимо проверять производительность каждой скважины одиночными и групповыми откачками.

Контрольные замеры производительности насосов артскважин производятся при помощи поверенных турбинных водометров диаметром 100-150 мм.

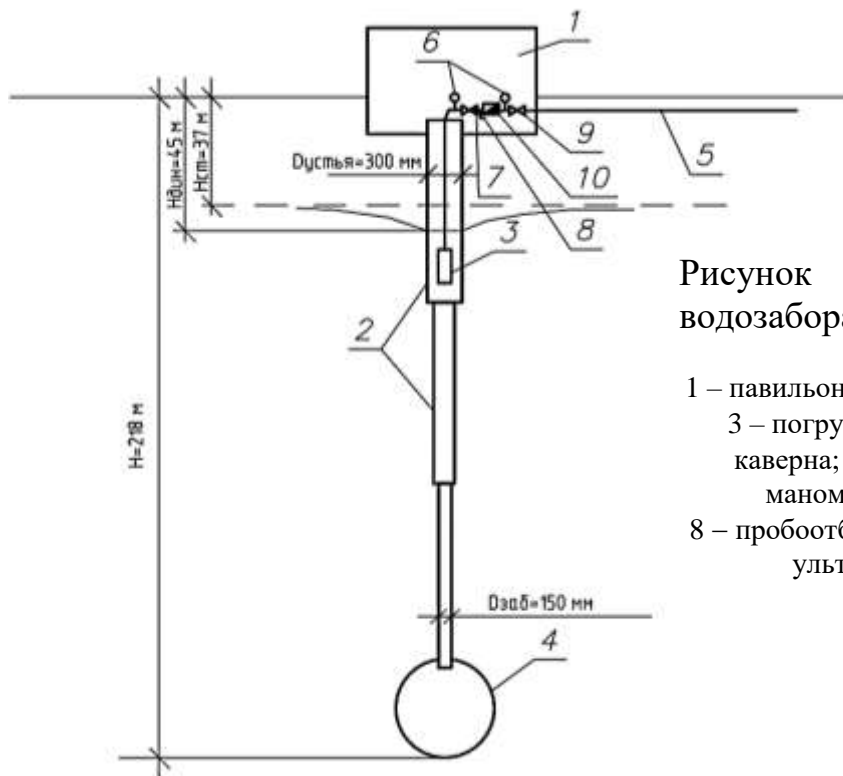


Рисунок 2 – Схема скважины водозабора «Граевский»:

1 – павильон скважины; 2 – обсадные трубы; 3 – погружной насос ЭЦВ 10-63-65; 4 – каверна; 5 – водоводы 1 подъема; 6 – манометр; 7 – обратный клапан; 8 – пробоотборник; 9 – задвижка; 10 – ультразвуковой расходомер

Порядок проведения контрольного замера:

- производится установка насосного агрегата;
- снимается катушка, установленная вместо водомера;
- устанавливается турбинный водомер;
- производится пуск насосного агрегата;
- производится замер по водосчётчику.

1.3. Каждый насосный агрегат, устанавливаемый в скважину, должен иметь свой инвентарный номер, нанесенный краской на корпусе, заводскую металлическую табличку, на которой выбиты заводской номер и все технические данные насоса, паспорт завода-изготовителя, а также рабочие характеристики, снятые на стенде мастерской и заверенные ответственным лицом. Рабочие характеристики заносятся в карточку эксплуатации и ремонта оборудования (журнал режимных наблюдений за артскважинами).

Монтаж и демонтаж насосных агрегатов скважин производится согласно утвержденного графика, но не реже 2-х раз в год.

Контроль работы насосных агрегатов производится ежедневно по контрольно-измерительным приборам, специально назначенным ответственным лицом (обходчиком). Показания приборов заносятся в «Журнал учёта работы насосного оборудования».

Нормальная работа насосного агрегата характеризуется стабильной подачей, давлением и потреблением электроэнергии.

1.4 Оценка качества воды производится на основании выполненных лабораторных анализов.

Отбор проб для оценки качества воды в водозаборной скважине осуществляется при пуске её в эксплуатацию, а при эксплуатации скважин в течение первого года эксплуатации — не реже 4-х раз по сезонам года, дальнейшем – не реже одного раза в год в наиболее неблагоприятный период (по результатам наблюдений первого года), но не менее 2-х проб, взятых с интервалом 24 ч.

При ухудшении качества воды, вызванного поступлением в скважину загрязненных вод — необходимо предотвратить их доступ, произвести дезинфекцию скважины хлорной водой с концентрацией активного хлора 50-100 мг/л при контакте 3-6 ч. (надводная часть), подводная часть — концентрация хлора после смешения с водой не менее 50 мг/л. Через 3-6 ч контакта производят откачку воды до исчезновения заметного запаха хлора и берут пробы для контрольного бактериологического анализа.

1.5. Планово-предупредительные осмотры (ППО) скважин производятся согласно утвержденному графику, но не реже 2-х раз в год и включает в себя:

- изменение гидрогеологических условий эксплуатации водоносного горизонта;
- состояние обсадных труб и водоприемной части;
- изменение качества воды.

Состояние обсадных труб до статического уровня воды в скважине проверяется визуально, путем опускания в скважину электрической лампочки. Наличие подтёков на обсадных трубах, а также постоянная рябь уровня воды, свидетельствуют о нарушении герметичности обсадных труб и поступлении в скважину грунтовых вод.

О нарушении в водоприемной части скважины свидетельствуют следующие признаки:

- появление в воде повышенного содержания песка или мела (белая вода);
- обвал каверны;
- падение динамического уровня при неизменном статическом уровне, засор или кальматация фильтра.

На основании ППО должен быть назначен тот или иной вид ремонта и приняты меры для нормальной эксплуатации.

## 2. Изучение эксплуатации водоводов 1-го подъема

В состав работ по эксплуатации водоводов 1-го подъема входят:

- профилактический осмотр сети;
- осмотр и ремонт арматуры: сети;
- ремонт колодцев, перекрытий на колодцах;
- очистка колодцев от грязи;
- маркировка колодцев и задвижек.

Планово-предупредительный осмотр сети водоводов производится по утвержденному графику, но не реже 1 раза в 6 месяцев.

Перечень основных видов работ по текущему и капитальному ремонту сведены в табл. 3.1.

Состояние водоводов контролируется обходами ежедневными. На трассе водоводов должны быть установлены указатели. Каждый колодец на сети водоводов и каждая задвижка в колодцах имеют свой номер. Номера колодцев наносятся на люках масляной краской или указываются на стойках-указателях. Номера задвижек выбиваются на металлических табличках, прикрепленных к маховикам задвижек.

Таблица 3.1 – Основные виды работ по текущему и капитальному ремонту

Наименование объекта	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
Задвижки	Набивка сальников и подтяжка гаек. Смена болтов, прокладок, окраска корпуса	Разборка задвижек, чистка, смазка с заменой изношенных частей, расточка или замена уплотнительных колец. Замена

		изношенных задвижек
Водоводы	Заделка отдельных участков, где есть течь путем зачеканки, постановки ремонтных муфт, хомутов или сваркой	Замена участков труб, пришедших в негодность. Перечеканка и заделка стыков
Колодцы и камеры	Устранение свищей, заделка отдельных повреждений кладки или железобетонных колец	Ремонт кирпичной кладки, железобетонных колодцев с разборкой и заменой перекрытий. Замена ходовых скоб. Полное восстановление гидроизоляции колодцев

В зависимости от характера производимой работы, размера повреждений, на сети водоводов могут быть следующие случаи:

- когда необходимо отключить водовод;
- когда отключение водовода производится только с момента начала работ;
- немедленное отключение поврежденного водовода производится при поврежденных, носящих катастрофический характер, когда изливающаяся вода подмывает фундаменты сооружений, заливает павильоны скважин, разрушает пути, дороги и т.д.

Порядок переключения скважин на различные водоводы, отключения и подключения участков водоводов сводится к следующему:

- отключение участка производится перекрытием задвижек, сначала большего, затем меньшего диаметра;
- подключение участка производится открытием задвижек, в первую очередь меньшего диаметра, а затем большего.

### 3. Изучение эксплуатации зон санитарной охраны:

Санитарная охрана источников водоснабжения осуществляется путем организации на водосборных бассейнах зон санитарной охраны. При использовании подземных вод зона санитарной охраны разделяется на два пояса. Границы первого пояса зоны санитарной охраны устанавливаются с учетом характера рельефа местности и направления грунтового потока, но не менее 30 м вокруг скважины из напорного пласта и не менее 50 м при заборе из грунтовых вод. Границы второго пояса устанавливаются в зависимости от местных гидрогеологических условий и характера использования поверхностного потока.

К зоне санитарной охраны 1-го пояса предъявляются следующие требования:

- должна быть обеспечена герметичность обсадных труб скважины; эксплуатация скважины при нарушении герметичности обсадных труб запрещается;
- верхний обрез обсадной трубы скважины должен быть надежно герметизирован при помощи резиновых уплотнителей или цементной обмазки опорной плиты водоподъемной колонны, включая отверстия для выхода силового кабеля электродвигателя насоса и отверстия для замеров уровней;
- павильоны скважин должны содержаться в надлежащей чистоте, стены и потолок побелены, оборудование окрашено. Запрещается складирование в павильоне посторонних предметов, инструментов, материалов;
- двери павильонов должны надежно запираются, исключая проникновение в павильон посторонних лиц;
- на территорию запрещен доступ посторонних лиц, выпас скота, разведение огородов, строительство, не связанное с нуждами водоснабжения;

- на территорию запрещен выпуск каких-либо стоков, в том числе ливневой и производственной канализации водопровода.

К зоне санитарной охраны 2-го пояса предъявляются следующие требования:

- запрещается загрязнять территорию сбросом нечистот, мусором, навозом, промышленными отходами, ядохимикатами и т.д.;

- все виды строительства разрешаются только с разрешения органов санитарно-эпидемиологической службы;

- недействующие, директивные скважины подлежат ликвидации (тампонированию) или восстановлению;

- поглощающие скважины и шахтные колодцы подлежат ликвидации.

4. Изучение данных и журналов режимных наблюдений за водозаборными скважинами (по эксплуатационным данным водозабора).

5. Выводы по работе.

## II Раздел

### Лабораторная работа № 1

#### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

**Цель работы:** изучить устройство и порядок разборки и сборки насосов марки К 80-65-180 и Д 320-70.

#### 1 Общие сведения

В соответствии с ГОСТ 17398-72 насосом называется гидравлическая машина для создания потока жидкой среды.

Наиболее широкое применение в системах водоснабжения и водоотведения, а также в области мелиорации получили центробежные насосы. Это объясняется простотой конструкции, широким диапазоном подачи и напора, высоким КПД и удобством эксплуатации.

В центробежных насосах передача энергии перекачиваемой жидкой среде осуществляется за счет взаимодействия лопаток рабочего колеса с потоком. Под действием центробежной силы жидкая среда перемещается от центра рабочего колеса к его периферии.

#### 2 Устройство консольного одноступенчатого насоса К 80-65-160

Большую группу консольных одноступенчатых насосов представляют насосы типа К (консольные) и КМ (консольные моноблочные). Эти насосы предназначены для подачи чистой воды и других чистых жидких сред температурой до 105 °С. Подача их составляет 4,5...360 м<sup>3</sup>/ч при напоре 8,8...90 м.

В соответствии с ГОСТ 22247-90 консольные насосы маркируются следующим образом: К – консольный; КМ – консольный моноблочный; 80 – номинальный диаметр всасывающего патрубка в мм; 65 – номинальный диаметр нагнетательного патрубка в мм; 160 – номинальный диаметр рабочего колеса в мм.

Если после цифры в маркировке насоса, указывающий на диаметр рабочего колеса, находится буква «а» или буква «б», они означают вариант обточки рабочего колеса, обеспечивающего работу насоса в средней или нижней части поля Q – Н.

Технические параметры насоса К 80-65-160:

- ✓ Подача  $Q = 45 \text{ м}^3/\text{ч}$  (при максимальном КПД);
- ✓ Напор  $H = 30 \text{ м.вод.ст.}$  (при максимальном КПД);
- ✓ Максимальный КПД —  $\eta_{\text{max}} = 71 \%$ ;
- ✓ Частота вращения рабочего колеса  $n = 2900 \text{ об/мин}$ ;
- ✓ Допускаемая вакуумметрическая высота всасывания  $H_{\text{вак}}^{\text{дон}} = 6 \text{ м}$ .

Базовой деталью консольного насоса является опорный кронштейн, в котором на шарикоподшипниках установлен стальной вал.

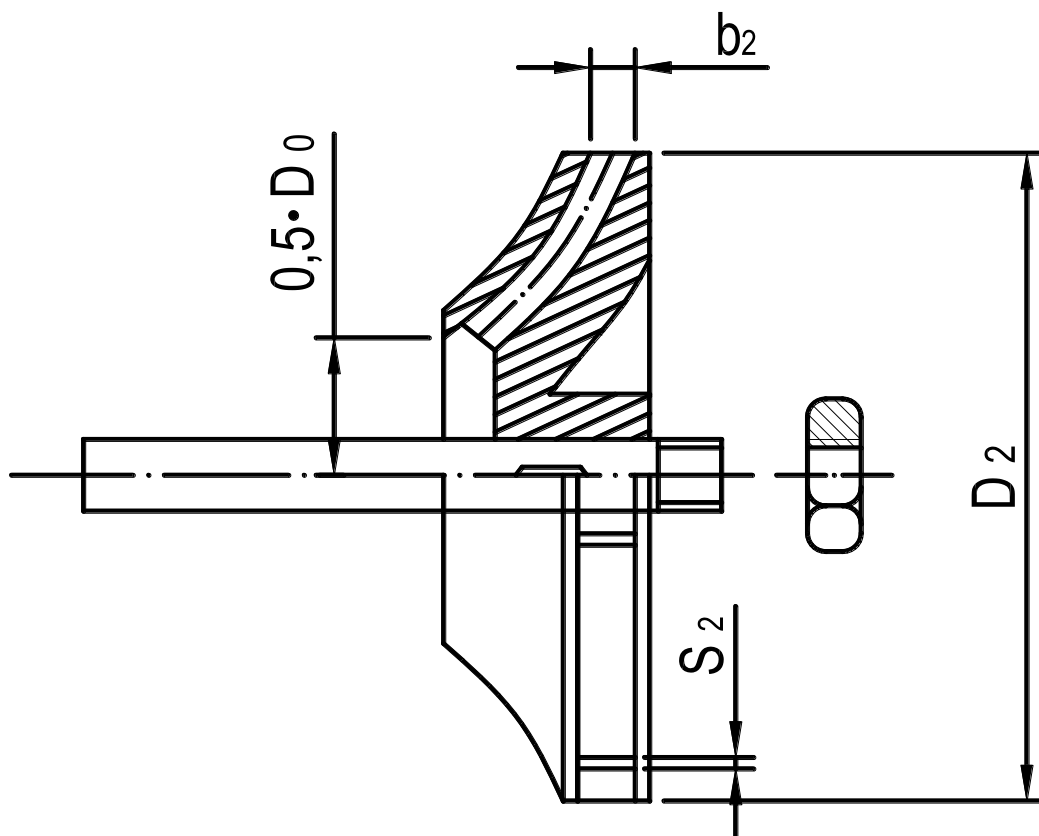
К кронштейну шпильками крепится спиральный чугунный корпус, переходящий в нагнетательный патрубок. В нормальном исполнении нагнетательный патрубок направлен вертикально вверх. При необходимости патрубок можно повернуть на угол 90°, 180°, и 270° от нормального положения. В корпусе предусмотрены отверстия для выпуска воздуха, слива воды и присоединения манометра.

На консольном конце вала с помощью гайки крепится рабочее колесо (рисунок 1.1)

Со стороны входа в колесо корпус закрывается крышкой с всасывающим патрубком, обеспечивающим организованный осевой подвод жидкой среды к рабочему колесу. Между рабочим колесом и крышкой корпуса установлено уплотнительное кольцо. Концевое уплотнение состоит из сальниковой камеры,



сальниковой набивки, нажимной втулки, с помощью которой регулируется степень уплотнения. Утечка через уплотнения отводится через специальное отверстие. Подшипники смазываются жидкой или консистентной смазкой.



**Рисунок 1.1. Рабочее колесо насоса типа К.**

### **3 Порядок разборки и сборки консольного насоса**

Разборка консольного насоса производится в следующем порядке:

- отвернуть с помощью гаечного ключа гайки, крепящие торцевую крышку к всасывающему патрубку;
- снять крышку, не повреждая прокладки сопрягаемых фланцев;
- отвернуть гайку крепления рабочего колеса к валу насоса (вращать по часовой стрелке);
- снять рабочее колесо насоса;
- отвернуть гайки нажимной втулки сальника;
- отвернуть гайки крепления корпуса насоса (спиральный отвод с нагнетательным патрубком) к опорному кронштейну;
- снять корпус насоса.

Сборка насоса производится в обратной последовательности.

### **4 Устройство центробежного насоса Д 320-70 (1Д 315-71)**

Центробежные насосы типа Д по ТУ 26-06-1176-78 – горизонтальные одноступенчатые с полуспиральным подводом жидкой среды к рабочему колесу. Предназначены для перекачивания воды и жидкостей, сходных с водой по вязкости и химической активности, температурой до 358 К (85 °С), содержащих не более 0,05% по массе твердых включений максимальным размером 0,2 мм.

Насосы применяются на насосных станциях первого и второго подъемов городского, промышленного и сельского водоснабжения, в том числе для орошения и осушения полей, а также в других отраслях народного хозяйства. Насосы типа Д выпускаются с параметрами: подача  $Q$  от 160 до 12500 м<sup>3</sup>/ч, напор  $H$  от 15 до 250 м.

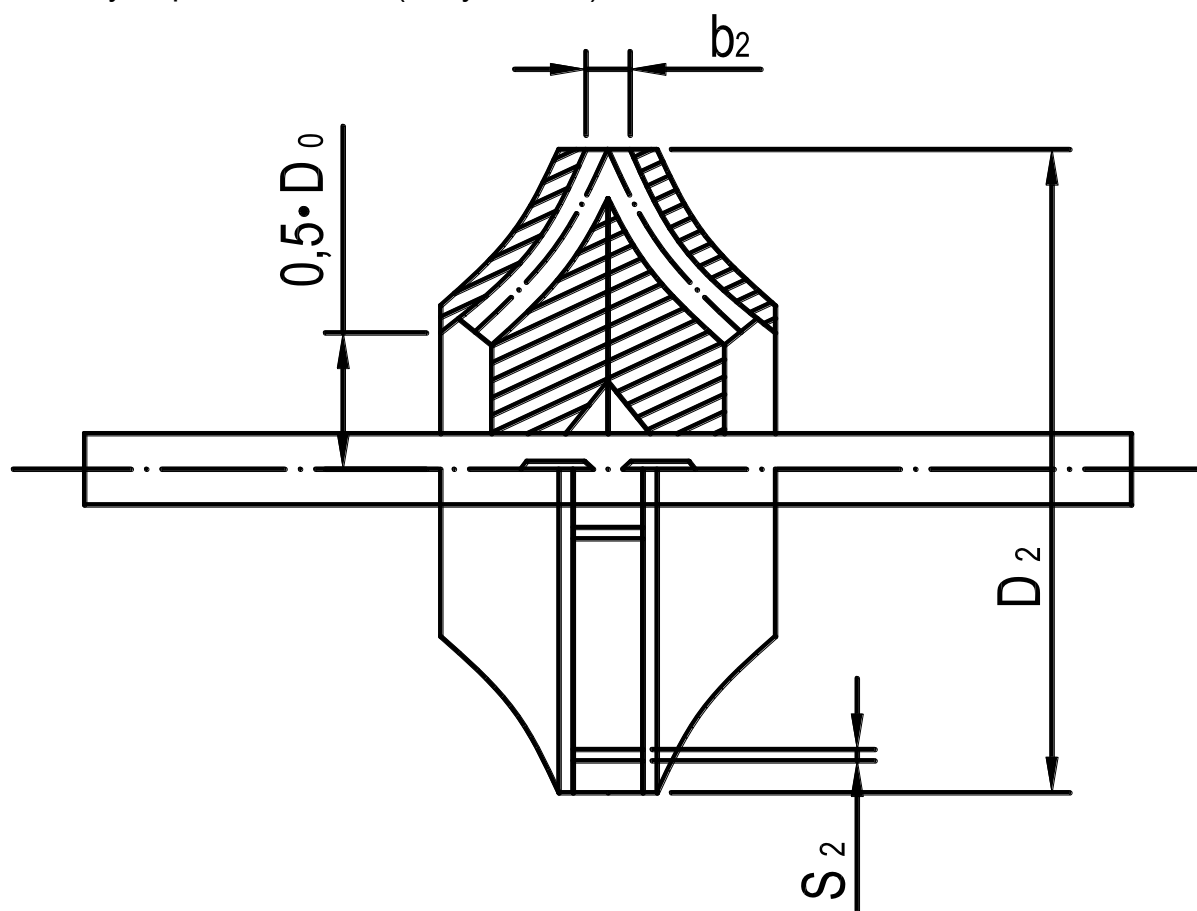
В соответствии с ГОСТ маркировка этих насосов следующая: Д Q–Н (Д – двухсторонний вход; Q — подача, м<sup>3</sup>/ч; Н – напор, м.вод.ст. (при максимальном КПД).

Для всех насосов типа Д, кроме насоса Д 200-36, в маркировке впереди буквы «Д» записывается цифра «1» или «2».

Технические параметры насоса Д 320-70:

- ✓ подача  $Q = 320 \text{ м}^3/\text{ч}$  (при максимальном КПД);
- ✓ напор  $H = 70 \text{ м}$  (при максимальном КПД);
- ✓ максимальный КПД  $\eta_{\text{max}} = 80\%$ ;
- ✓ частота вращения рабочего колеса  $n = 2950 \text{ об/мин}$ ;
- ✓ мощность насоса  $N = 74 \text{ кВт}$ .

Насос типа Д состоит из корпуса, крышки и рабочего колеса. Рабочее колесо насоса двустороннего входа (Рисунок 1.2.).



**Рисунок 1.2. Рабочее колесо насоса типа Д**

Оно установлено на стальном валу и крепится с помощью шпонки и специальной гайки. Вал вращается в двух подшипниках скольжения с кольцевым смазыванием. Всасывающий и нагнетательный патрубки насоса расположены в нижней части корпуса и направлены горизонтально в противоположные стороны. Плоскость разъема корпуса уплотняется паронитовой прокладкой. Уплотняющее усилие создается шпильками, расположенными по периметру плоскости разъема.

Концевые уплотнения сальникового типа с гидравлическим затвором. Все корпусные детали и рабочее колесо выполнены из чугуна.

### **5 Порядок разборки и сборки насоса типа Д**

Разборка насоса типа Д производится в следующем порядке:

- отвернуть с помощью гаечного ключа гайки, поджимающие нажимные втулки сальников;

- выдвинуть нажимные втулки из корпуса насоса;
- отвернуть гайки, крепящие крышку насоса.
- снять крышку насоса;
- отсоединить корпуса опорных подшипников;
- снять вал насоса с рабочим колесом.

Сборка насоса производится в обратной последовательности.

### 6 Порядок оформления отчета

- записать марку насоса и его технические параметры;
- дать описание устройства насоса;
- составить эскизный чертеж рабочего колеса с указанием его основных геометрических параметров;
- результаты измерения заносятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 Результаты измерений

Тип насоса	Геометрические параметры				Число сторон		Диаметры патрубков, мм	
	$D_0$	$D_2$	$b_2$	$S_2$	входа	нагнетания	Всасывающий $D_в$	Нагнетательный $D_н$
К								
Д								

### 7 Контрольные вопросы

- 1 Как маркируются центробежные насосы типа «К» и типа «Д»?
- 2 Какое назначение патрубков насоса?
- 3 Какое назначение рабочего колеса насоса?
- 4 Как уплотняется вал насоса относительно корпуса?
- 5 Для чего нужна втулка на валу насоса?
- 6 Сколько сальниковых уплотнений в насосах типа «К» и типа «Д»?
- 7 Почему корпус насоса имеет спиральную форму?
- 8 Почему диаметр всасывающего патрубка насоса больше диаметра нагнетательного патрубка?
- 9 Где расположены подшипники в насосах типа «К» и типа «Д»?
- 10 Как выгнуты лопатки по отношению к направлению вращения рабочего колеса?

## Лабораторная работа № 2

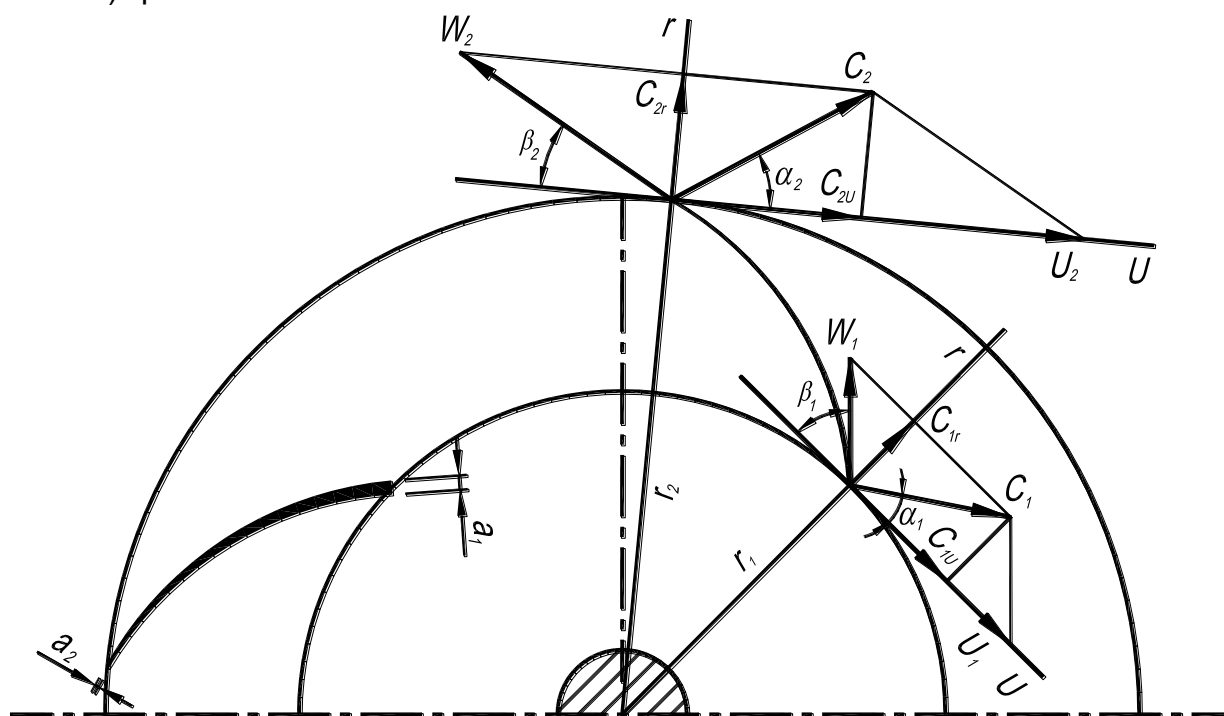
### ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОТОКА В РАБОЧЕМ КОЛОСЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОТОКА

- Цель работы:** 1. По результатам обмера рабочего колеса центробежного насоса определить его подачу  $Q$ , напор  $H$ , мощность  $N$  и сравнить с паспортными данными.
2. Построить треугольники скоростей при входе в рабочее колесо и выходе из него.

#### 1 Общие сведения

Жидкая среда к рабочему колесу центробежного насоса подводится в осевом направлении. Попав в межлопаточные каналы колеса, каждая частица жидкой среды принимает участие в сложном движении. С одной стороны частица жидкой среды вращается вместе с рабочим колесом, и это движение характеризуется вектором окружной скорости  $\vec{U}$ , направленным перпендикулярно к радиусу вращения. С другой стороны эта же частица перемещается относительно колеса, и это движение характеризуется вектором относительной скорости  $\vec{W}$ , направленным по касательной к линии тока в относительном потоке (по касательной к поверхности лопатки колеса). Абсолютное движение частицы характеризуется вектором абсолютной скорости  $\vec{C}$ , равным геометрической сумме векторов окружной и относительной скоростей, т.е.  $\vec{C} = \vec{U} + \vec{W}$ . Таким образом, в любой точке межлопаточного канала колеса можно построить параллелограммы скоростей.

При рассмотрении кинематики потока жидкой среды в рабочем колесе принято строить параллелограммы (или треугольники) скоростей на входной 1 и выходной 2 (рис. 2.1.) кромках лопатки.



**Рис. 2.1** Схема рабочего колеса и параллелограммы скоростей

На рис 2.1. представлены:  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы входа и выхода;  $a_1$  и  $a_2$  – толщина лопатки на входе и выходе по образующей колеса;  $U_1$  и  $U_2$  – окружные скорости на входе и выходе;  $W_1$  и  $W_2$  – относительные скорости на входе и выходе;  $C_1$  и  $C_2$  – абсолютные скорости на входе и выходе;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы между векторами абсолютных и окружных скоростей на входе и выходе;  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – углы между векторами относительных скоростей и продолжением векторов окружных скоростей на входе и выходе;  $C_{1u}$  и  $C_{2u}$  – проекции абсолютных скоростей на направление окружных скоростей на входе и выходе;  $C_{1r}$  и  $C_{2r}$  – проекции абсолютных скоростей на направление радиуса.

Треугольники скоростей строятся вне схемы рабочего колеса (рисунок 2.2.)

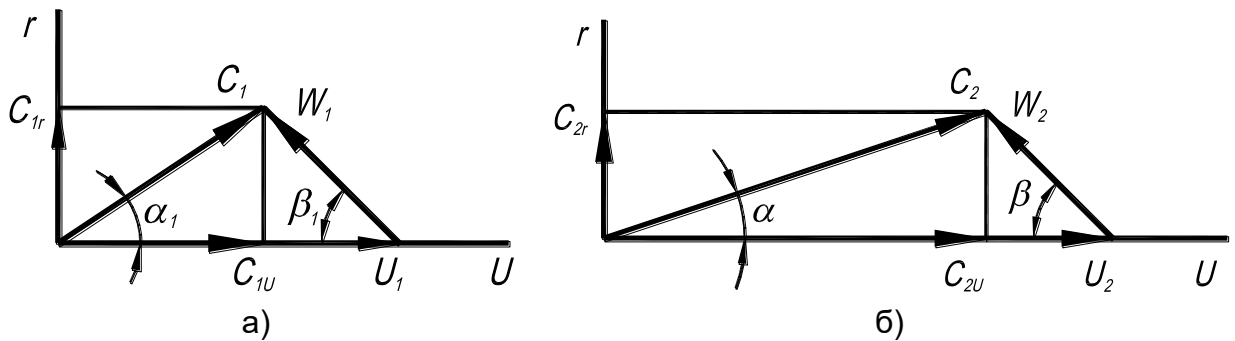


Рисунок 2.2 Треугольники скоростей а) входа. б) выхода

## 2 Порядок выполнения работы

- выполняется эскиз рабочего колеса, на котором указываются основные размеры, определяемые по результатам обмера. ( $D_1, D_2, \alpha_1, \alpha_2, b_1, b_2, \beta_1, \beta_2$ )
- определяется подача насоса из формулы:

$$Q = \eta_0 \cdot Q_u \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (2.1)$$

$\eta_0$  – объёмный КПД насоса (принять  $\eta_0 = 0,99$ );

$Q_u$  – идеальная подача насоса,

$$Q_u = \omega_1 \cdot C_{1r} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (2.2)$$

$\omega_1$  – площадь входных каналов на входе рабочего колеса.

$$W_1 = b_1 \cdot (\pi \cdot D_1 - z \cdot a_1) \quad (2.3)$$

$D_1$  – диаметр входа в каналы рабочего колеса, м;

$b_1$  – ширина лопатки на входе, м;

$z$  – количество лопаток.

$$C_{1r} = U_1 \cdot \text{tg} \beta_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \cdot \text{tg} \beta_1 \quad \text{м} / \text{с} \quad (2.4)$$

$n$  – частота вращения рабочего колеса, об/мин. (принять из каталога для данного насоса).

Выражение (2.4) справедливо при  $\alpha_1 = 90^\circ$ , что и принимается в лабораторной работе.

- определяется напор насоса по формуле:

$$H = \frac{\sigma_z \cdot \eta_z}{g} \cdot U_2 \cdot C_{2u} \quad \text{м} \quad (2.5)$$

$\sigma_z$  – коэффициент, учитывающий влияние числа лопаток на напор насоса;

$$\sigma_z = \frac{1}{1 + \frac{3,6}{z} \cdot \frac{\sin \beta_2}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}} \quad (2.6)$$

$D_2$  – диаметр на выходе из каналов рабочего колеса, м;  
 $\eta_z$  – гидравлический КПД насоса (принять  $\eta_z = 0,86$ );  
 $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} \quad \text{м/с}$$

$$C_{2u} = U_2 - W_{2u} = U_2 - C_{2r} \cdot \text{ctg} \beta_2 \quad \text{м/с} \quad (2.7)$$

$$C_{2r} = \frac{Q_u}{\omega_2} = \frac{Q_u}{b_2 \cdot (\pi \cdot D_2 - z \cdot a_2)} \quad \text{м/с}$$

➤ определяется мощность насоса по формуле:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 1000} \quad \text{кВт} \quad (2.8)$$

$\rho$  – плотность жидкой среды, для воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия насоса, определяемый из выражения

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_z \cdot \eta_m \quad (2.9)$$

$\eta_m$  – механический КПД (принять  $\eta_m = 0,97$ ).

➤ проводится сравнение расчетных технических параметров насоса (при максимальном значении КПД для данного насоса).

Результаты сравнения сводятся в нижеследующую таблицу.

Таблица 2.1 Результаты сравнения расчетных и паспортных технических параметров насоса

Марка насоса	$n$ об/мин	Параметры из каталога				Расчетные параметры			
		$Q$ , $\text{м}^3/\text{с}$	$H$ , м	$N$ , кВт	$\eta$ , %	$Q$ , $\text{м}^3/\text{с}$	$H$ , м	$N$ , кВт	$\eta$ , %

➤ по расчетным величинам строятся треугольники скоростей для входа и выхода из рабочего колеса.

### 3 Контрольные вопросы

1. Как направлены векторы окружной и относительной скоростей?
2. Почему относительная скорость потока на входе рабочего колеса больше относительной скорости на выходе?
3. Как определяется подача насоса?
4. Как определяется напор насоса?
5. Как определяется мощность насоса?

## Лабораторная работа № 3

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

**Цель работы:** по результатам испытаний центробежного насоса К 100-80-160 построить его рабочие характеристики.

#### 1 Общие сведения

Работу насоса принято характеризовать техническими параметрами, к числу которых относятся: подача, мощность, коэффициент полезного действия и высота всасывания.

Подача насоса ( $Q$ ) – объем (масса) жидкой среды, подаваемой насосом в единицу времени.

Напором ( $H$ ) называется приращение удельной энергии потока жидкой среды при прохождении ее через рабочие органы насоса.

Мощность насоса ( $N$ ) – мощность, потребляемая насосом для создания определенных  $Q$  и  $H$ .

Полезная мощность ( $N_n$ ) – мощность, сообщаемая насосом перекачиваемой жидкой среде.

Коэффициент полезного действия насоса ( $\eta$ ) – отношение полезной мощности к мощности насоса.

При подборе центробежных насосов для конкретных установок необходимо знать зависимость одних параметров насоса от других. В качестве независимого переменного параметра принимают подачу насоса. Изменение же остальных технических параметров насоса ( $H$ ,  $N$ ,  $\eta$ ) зависит от его подачи.

Таким образом, зависимости напора, мощности и КПД насоса от его подачи при постоянной частоте вращения рабочего колеса называются характеристиками насоса. Характеристики насосов могут быть представлены в виде графических построений и аналитических зависимостей.

Испытания насосов проводят, руководясь ГОСТ 6134-87 «Насосы динамические. Методы испытаний». Этот ГОСТ предусматривает несколько видов испытаний: энергетические, которые проводятся в настоящей лабораторной работе, и кавитационные.

#### 2 Схема и описание лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда представлена на рисунке 3.1.

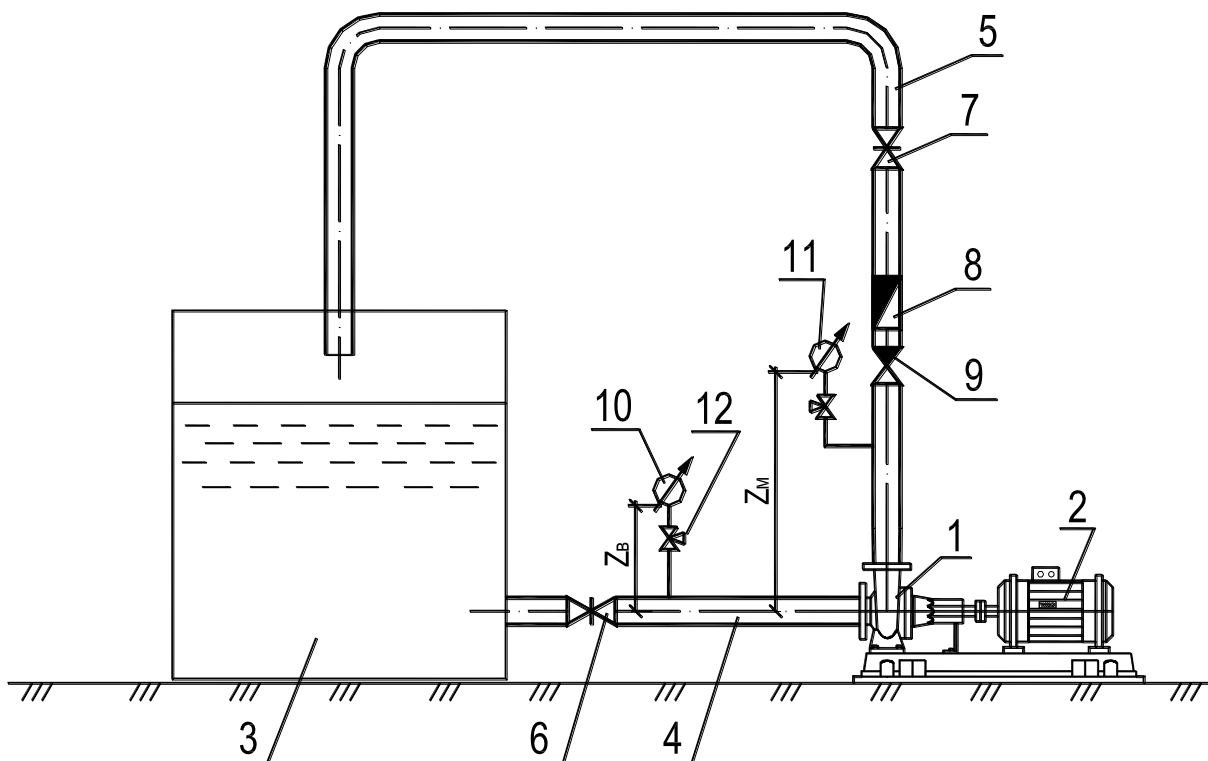
Испытуемый центробежный насос (К 100 – 80 – 160) 1 приводится в действие от балансирного электродвигателя (мотор весы) 2. Корпус электродвигателя установлен на стойках в подшипниках и имеет возможность поворачиваться относительно ротора.

Таким образом, при работе электродвигателя статор стремится вращаться в сторону, противоположную вращению ротора.

Статор электродвигателя обеспечен уравновешивающим устройством в виде весов. К нему прикреплен рычаг длиной  $l = 0.51$  м, к которому подвешена чашка для гирь. Накладывая на чашку весов груз, уравновешивают момент на статоре до совпадения подвижного указателя весов с неподвижным.

Насос 1 всасывающим трубопроводом 4, диаметр которого  $d_s = 100$  мм, забирает из резервуара 3 воду и подает ее по нагнетательному трубопроводу 5 ( $d_n = 80$  мм) в тот же резервуар. На всасывающем трубопроводе установлен вакуумметр 10, а на нагнетательном – манометр 11.

Подача насоса регулируется задвижкой 7. Частота вращения измеряется тахометром. Объем воды, подаваемой насосом, измеряется водомером 8.



**Рисунок 3.1** Схема лабораторного стенда

1 – центробежный насос; 2 – мотор-весы; 3 – резервуар; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – нагнетательный трубопровод; 6 – задвижка на всасывающем трубопроводе; 7 – задвижка на нагнетательном трубопроводе; 8 – водомер; 9 – обратный клапан; 10 – вакуумметр; 11 – манометр; 12 – трехходовой кран.

### 3 Порядок выполнения работы

- произвести заливку корпуса насоса и всасывающего трубопровода водой, открыв задвижку 6.
- закрыть задвижку 7 на напорном трубопроводе и застопорить мотор-весы.
- при помощи пусковой кнопки на щите управления запустить в работу насосный агрегат.
- после включения электродвигателя задвижку 7 открыть полностью.
- открыть краны измерительных приборов давления и снять их показания. Сбалансировать мотор-весы и записать массу груза, измерить объем воды по водомеру и время его наполнения, а с помощью тахометра измерить частоту вращения ротора электродвигателя.
- прикрыть задвижку 7 на нагнетательном трубопроводе и повторить опыты 8...10 раз.
- Последний опыт выполнять при закрытой задвижке.
- закрыть краны измерительных приборов давления, застопорить мотор-весы и отключить электродвигатель.

### 4 Расчетные формулы

Объемная подача насоса определяется по формуле:

$$Q = \frac{W}{t} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (3.1)$$

Где  $W$  – объем воды по водомеру,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время наполнения объема  $W$ , с.

Манометрический напор насоса определяется по формуле:



$$H = \frac{P_M + P_B}{\rho \cdot g} + Z_M - Z_B + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2 \cdot g} \quad \text{м} \quad (3.2)$$

где  $P_M$  и  $P_B$  – манометрическое и вакуумметрическое давление в нагнетательном и всасывающем патрубках насоса, Па.

$Z_M$  – высота подключения манометра,  $Z_M = 1,12$  м.

$Z_B$  – высота подключения вакуумметра,  $Z_B = 0,35$  м.

$v_H$  и  $v_B$  – скорости движения воды в нагнетательном и всасывающем патрубках насоса, м/с.

$$v_{н.в.} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{н.в.}^2} \quad \text{м/с} \quad (3.3)$$

где  $d_{н.в.}$  – диаметр нагнетательного или всасывающего трубопроводов,  $d_H = 0,08$  м;  
 $d_B = 0,1$  м.

Полезная мощность насоса определяется по формуле:

$$N_n = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad \text{Вт} \quad (3.4)$$

где  $\rho$  – плотность воды, ( $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

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

$Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор насоса, м.

Мощность насоса определяется по формуле:

$$N = G \cdot l \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \text{Вт} \quad (3.5)$$

где  $G$  – сила, уравнивающая крутящий момент, Н.

$G = m \cdot g$  ( $m$  – масса гирь на весах, кг).

$l$  – плечо рычага мотора,  $l = 0,51$  м.

$n$  – частота вращения ротора мотора весов, об/мин.

Коэффициент полезного действия определяется по формуле:

$$\eta = \frac{N_n}{N} \cdot 100 \% \quad (3.6)$$

## 5 Протокол испытаний и расчетов

Таблица 3.1

№ опыта	$W$ м <sup>3</sup>	$t$ с	$Q$ м <sup>3</sup> /с	$v_H$ м/с	$v_B$ м/с	$P_M$ Па	$P_B$ Па	$H$ м	$N_n$ кВт	$G$ Н	$n$ об/мин	$N$ кВт	$\eta$ %

## 6 Контрольные вопросы

1. Что называют техническими параметрами насоса?
2. Что называют характеристиками центробежного насоса?
3. Какие измерительные приборы используются при проведении энергетических испытаний центробежного насоса?
4. Какое различие между манометрическим и требуемым напором насоса?
5. Как определяется напор насоса?
6. Как определяется полезная мощность насоса?
7. Как определяется мощность насоса?
8. Как определяется КПД насоса?

## Лабораторная работа № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Цель работы:** по результатам испытаний центробежного насоса построить его опытные расходно-напорные характеристики для различных частот вращения рабочего колеса. Определить значения расчетных расходно-напорных характеристик для соответствующих частот вращения рабочего колеса. Выполнить сравнение опытных и расчетных расходно-напорных характеристик насоса.

#### 1 Общие сведения

Одним из методов регулирования подачи насосов является метод изменения частоты вращения рабочего колеса. Применение этого метода открывает значительные возможности экономии электроэнергии.

Заданные характеристики насоса, полученные при частоте вращения  $n$ , можно пересчитать и построить ряд других характеристик для различных частот вращения. Пересчет напорных характеристик насоса ведется по нижеследующим формулам:

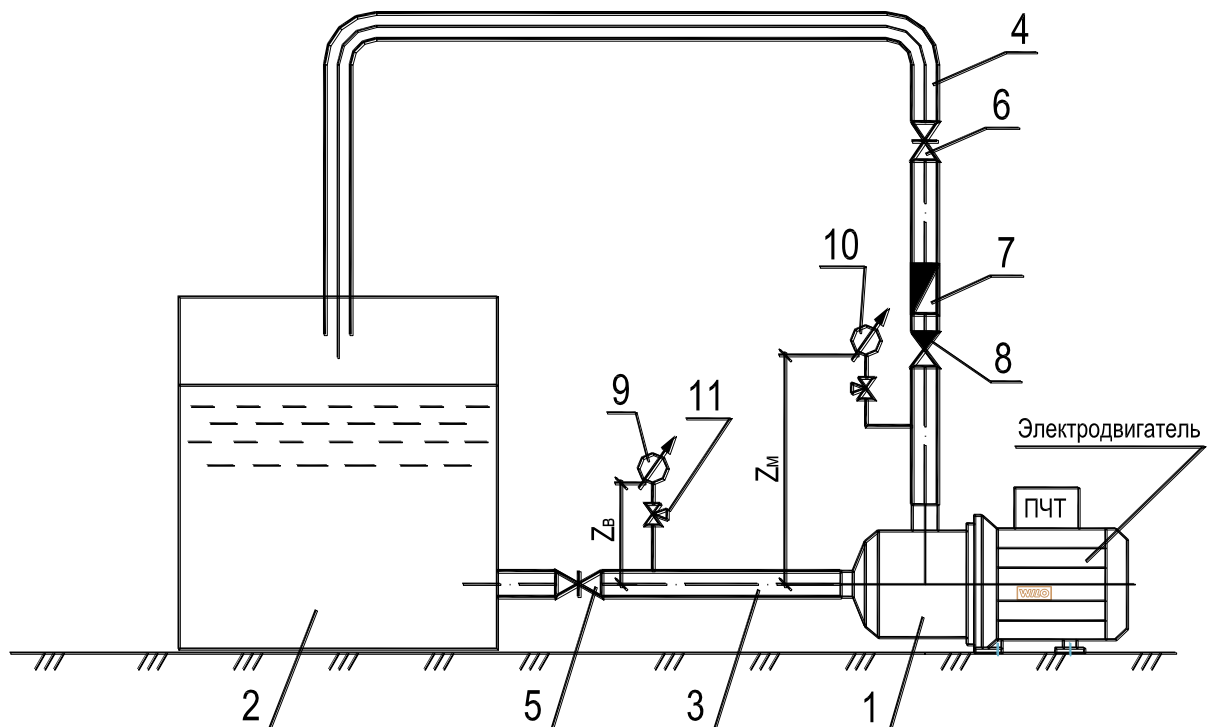
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (5.2)$$

$Q_1, H_1$  – соответственно подача и напор насоса при частоте вращения  $n_1$ ;

$Q_2, H_2$  – соответственно подача и напор при частоте вращения  $n_2$ .

Опыты проводятся на лабораторном стенде с использованием насоса, имеющего преобразователь частоты тока. При изменении частоты тока изменяется частота вращения рабочего колеса насоса.



### Рисунок 5.1 Схема лабораторного стенда

1 – центробежный насос; 2 – резервуар; 3, – всасывающий трубопровод; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – задвижка на всасывающем трубопроводе; 6 – задвижка на нагнетательном трубопроводе; 7 – водомер; 8 – обратный клапан; 9 – вакуумметр; 10 – манометр; 11 – трехходовой кран.

#### 2 Порядок проведения работы

- открытием вентиля на всасывающем трубопроводе насоса произвести его заливку.
- при закрытом вентиле на нагнетательном трубопроводе запустить в работу насос.
- открытием вентиля на нагнетательном трубопроводе выставить режим работы насоса (опыт).
- измерить объем воды  $W$ , поданный насосом за время  $t$ .
- произвести замеры показаний измерительных приборов вакуумметра  $P_e$  и манометра  $P_m$ .
- с помощью вентиля на нагнетательном трубопроводе выставить следующий режим насоса и повторить измерения (6...8 режимов).
- установить другую частоту вращения рабочего колеса насоса и опыты повторить. Для изменения частоты вращения рабочего колеса необходимо крутить красную кнопку на блоке ПЧТ, смотреть на жидкокристаллическом индикаторе значение частоты вращения и для принятия частоты вращения нажать на эту красную кнопку.
- по окончании всех опытов сначала остановить (выключить) насос затем закрыть вентили на всасывающем и нагнетательном трубопроводах насоса.

#### 3 Расчетные формулы

Объемная подача насоса определяется по формуле:

$$Q = \frac{W}{t} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (5.3)$$

$W$  – объем воды, поданный насосом,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время, за которое осуществлялась подача данного объема, с;

Манометрический напор насоса определяется по формуле:

$$H = \frac{P_m + P_e}{\rho \cdot g} + Z_m - Z_e + \frac{v_n^2 - v_e^2}{2 \cdot g} \quad \text{м} \quad (5.4)$$

$P_m$  и  $P_e$  – показания вакуумметра и манометра, Па;

$Z_m$  и  $Z_e$  – высоты подключения манометра и вакуумметра относительно оси насоса, м.

$Z_m = 1,17 \text{ м}$ ;  $Z_e = 0,33 \text{ м}$ ;

$v_n$  и  $v_e$  – средние скорости движения потока в сечениях нагнетательного и всасывающего трубопроводов, где подключаются измерительные приборы, м/с.

$$v_{n,e} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{n,e}^2} \quad \text{м} \quad (5.5)$$

$Q$  – подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$d_{n,e}$  – диаметр нагнетательного или всасывающего трубопроводов, м.

Расчетная подача ( $Q_p$ ) и расчетный напор ( $H_p$ ) насоса при частоте вращения  $n_2$  определяется из формул 5.1 и 5.2.

#### 4 Протокол испытаний и расчета технических параметров насоса

Таблица 5.1 Опытные данные, снятые в результате эксперимента и расчетные данные, определенные по теоретическим формулам

№ опыта	$n$ об/мин	$W$ $м^3$	$t$ с	$Q$ $м^3/с$	$P_M$ Па	$P_в$ Па	$v_n$ , м/с	$v_в$ м/с	$H$ м	Расчетные параметры насоса	
										$Q_p$ $м^3/с$	$H_p$ м

Таблица 5.2 Сравнение значений опытного и расчетного напоров

№ п/п	$n$ об/мин	$Q^*$ $м^3/с$	$H^*$ м	$H_p^*$ м	$\Delta H = \frac{H - H_p^*}{H} \cdot 100\%$

По результатам протокола строятся опытные расходно-напорные характеристики насоса при частотах вращения  $n_1$  и  $n_2$ , а также определенная по теоретическим формулам расчетная расходно-напорная характеристика насоса при частоте  $n_2$ . Далее проводится сравнение построенных опытной и расчетной характеристик насоса и анализ полученных результатов. Сравнение опытного и расчетного напоров производится при одинаковой величине подачи для одной и той же частоты вращения рабочего колеса насоса.

### 5 Контрольные вопросы

1. Как определяется опытная подача насоса?
2. Как определяется опытный напор насоса?
3. Как определяется расчетная подача насоса при частоте  $n_1$ ?
4. Как определяется расчетный напор насоса при частоте  $n_2$ ?
5. Какими способами можно изменить подачу насоса?
6. Как технически осуществляется изменение частоты вращения рабочего колеса насоса?
7. Какие характеристики насоса изменяются в результате изменения частоты вращения рабочего колеса?
8. Для чего применяются преобразователи частоты электрического тока?

# Лабораторная работа № 5

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИЯХ

**Цель работы:** на основании стендовых испытаний двух центробежных насосов типа КМ построить индивидуальную и суммарные расходно-напорные характеристики  $Q$ - $H$  при их параллельном и последовательном включении.

### 1 Общие сведения

На насосных станциях в подавляющем большинстве случаев в одном машинном зале устанавливают несколько насосных агрегатов. Включение насосов на общий трубопровод может быть параллельным (чаще) и последовательным (реже).

Условием параллельной работы насосов на общий трубопровод будет равенство их напоров.

Чтобы найти режимную точку параллельно работающих насосов, необходимо построить их суммарную напорную характеристику, пересечения которой с характеристикой трубопровода и определит положение режимной точки. Суммарную напорную характеристику получают путем сложения абсцисс, определяющих подачи насосов при одинаковых напорах. Следует отметить, что общая подача насосов при параллельной работе уменьшается по сравнению с суммарной подачей этих насосов, работающих на тот же трубопровод отдельно. Напор при параллельной работе насосов больше каждого из напоров насосов, работающих индивидуально.

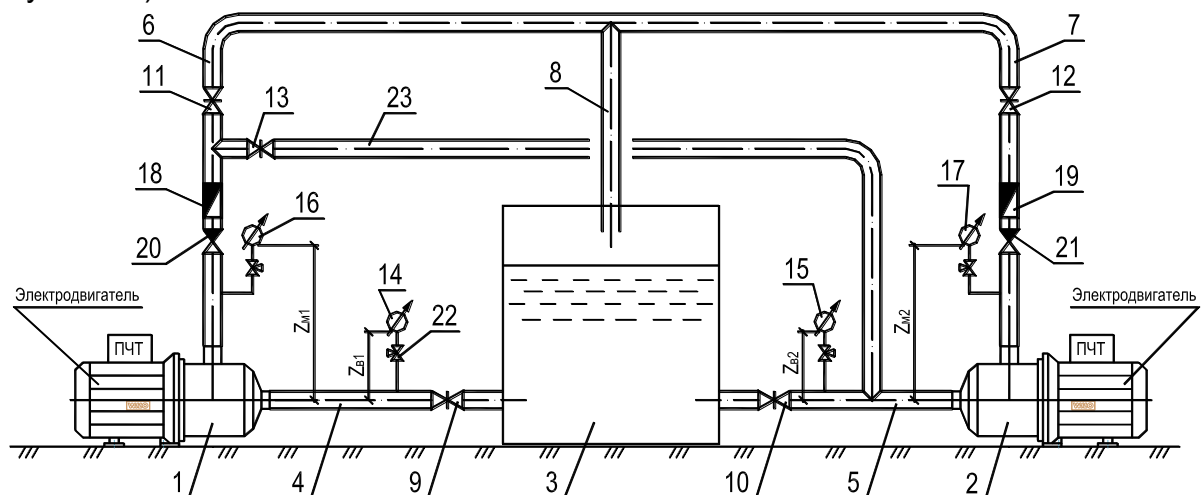
Параллельное включение насосов применяется для увеличения расхода жидкой среды в сети трубопроводов.

Последовательное включение насосов в практике водоснабжения осуществляется крайне редко. Суммарная напорная характеристика в этом случае получается путем сложения ординат напоров насосов при одинаковых значениях их подач. Последовательное включение насосов приводит не только к увеличению напора, но и подачи.

Однако такое включение применяется для увеличения напора в сети трубопроводов.

### 2 Схема и описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд для исследований совместной работы насосов состоит из двух центробежных насосов типа КМ (фирмы WILLO) с обвязкой трубопроводами, позволяющей проводить параллельное и последовательное включение (Рисунок 4.1).



### **Рисунок 4.1 Схема лабораторного стенда**

1, 2 – центробежные насосы; 3 – резервуар; 4, 5 – всасывающие трубопроводы; 6, 7 – нагнетательные трубопроводы; 8 – общий нагнетательный водовод; 9, 10 – задвижки на всасывающем трубопроводе; 11, 12 – задвижки на нагнетательном трубопроводе; 13 – задвижка для обеспечения последовательного включения насосов; 14, 15 – вакуумметры; 16, 17 – манометры; 18, 19 – водомеры; 20, 21 – обратные клапаны; 22 – трехходовой кран; 23 – трубопровод для обеспечения последовательного включения насосов.

Вода из резервуара 3 по всасывающим трубопроводам 4 и 5 забирается испытуемыми насосами 1 и 2 и по нагнетательным трубопроводам 6 и 7, объединенным в общий водовод 8, подается обратно в резервуар 3. Трубопроводы оборудованы вентилями 9, 10, 11, 12, 13. Измерение давления на входе в насосы осуществляется с помощью вакуумметров 14, 15, а на выходе из насосов – с помощью манометров 16, 17. Объем воды подаваемый насосами, определяется водомерами 18, 19.

### **3 Порядок проведения работы**

#### **3.1 Параллельная работа насосов**

- Открыв вентили 9 и 10, залить испытуемые насосы водой.
- Закрывать вентили 11, 12 и 13 и запустить в работу насос 1.
- С помощью вентиля 11 установить режим его работы.
- Провести замеры  $P_{в1}$ ,  $P_{м1}$ , отсчет по водомеру 16, время работы водомера  $t$  и занести их в протокол испытаний.
- При работающем на установленном режиме насосе 1 включить в работу насос 2.
- С помощью вентиля 12 установить давление  $P_{м2} = P_{м1}$ .
- Провести замер объема и времени  $t$  при совместной работе насосов.
- Закрывать вентиль 12 (насос 2 не отключать).
- С помощью вентиля 11 установить следующий режим работы насоса 1 и повторить измерения (6...8 режимов).
- Закрывать вентили 11, 12 и остановить насосы.

#### **3.2 Последовательная работа насосов**

- При открытом вентиле 9 (остальные вентили закрыты) запустить в работу оба насоса.
- Открыть вентиль 13;
- С помощью вентиля 12 установить режим совместной работы насосов.
- Записать показания приборов  $P_{в1}$  и  $P_{м2}$ , а также провести замер объема подаваемой воды по водомеру 18 и время  $t$ .
- С помощью вентиля 12 установить следующий режим работы насосов и повторить измерения (6...8 режимов).
- Закрывать вентили 12, 13 и остановить насосы.

### **4 Расчетные формулы**

Объемная подача насоса или совместно работающих насосов определяется по формуле:

$$Q = \frac{W}{t} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (4.1)$$

$W$  – объем воды по водомеру,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время поданного объема  $W$ , с.

Ввиду того, что испытуемые насосы однотипные, напор насоса при индивидуальной работе или при параллельном включении определяется по формуле:

$$H = \frac{P_{M1} + P_{B1}}{\rho \cdot g} + Z_M - Z_B + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2 \cdot g}, \quad \text{м} \quad (4.2)$$

$P_{M1}$  – показание манометра насоса №1, Па;

$P_{B1}$  – показание вакуумметра насоса №1, Па;

$Z_{M1}$  – высота подключения манометра насоса №1,  $Z_{M1} = 1,17$  м;

$Z_{B1}$  – высота подключения вакуумметра насоса №1,  $Z_{B1} = 0,33$  м;

$v_H$  и  $v_B$  – скорости движения воды в нагнетательном и всасывающем трубопроводах, м/с.

$$v_{H,B} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{H,B}^2} \quad \text{м/с} \quad (4.3)$$

$Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с;

$d_H$  – диаметр нагнетательного трубопровода,  $d_H = 0,025$  м;

$d_B$  – диаметр всасывающего трубопровода,  $d_B = 0,032$  м;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>. ( $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>).

При последовательном включении насосов совместный напор определяется по формуле:

$$H = \frac{P_{M2} + P_{B1}}{\rho \cdot g} + Z_{M2} - Z_{B1} + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2 \cdot g}, \quad \text{м} \quad (4.4)$$

## 5 Протоколы испытаний и расчетов

Таблица 4.1 При параллельном включении насосов

№ режима	Подача							Напор насосов включенных параллельно				
	Один насос			Два насоса включенных параллельно				$P_{M1}$ , Па	$P_{B1}$ , Па	$v_H$ , м/с	$v_B$ , м/с	$H$ , м
	$W$ , м <sup>3</sup>	$t$ , с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$W_1$ , м <sup>3</sup>	$t_1$ , с	$Q_1$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{1+2}$ , м <sup>3</sup> /с					

Таблица 4.2 При последовательном включении насосов

№ режима	Подача двух насосов включенных последовательно			Напор насосов включенных последовательно				
	$W$ , м <sup>3</sup>	$t$ , с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$P_{M2}$ , Па	$P_{B1}$ , Па	$v_H$ , м/с	$v_B$ , м/с	$H$ , м

## 6 Контрольные вопросы

1. Как определяется подача насоса?
2. Как определяется напор насосов при параллельном включении?
3. Как определяется напор насосов при последовательном включении?

4. Как включаются насосы для увеличения расхода жидкости в водопроводной сети?
5. Как включаются насосы для увеличения напора в водопроводной сети?
6. Отличаются ли подачи насосов при последовательном их включении?
7. Отличаются ли подачи насосов при параллельном их включении?
8. Когда применяется последовательное и когда применяется параллельное включение насосов?



## Лабораторная работа № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНОГО НАСОСА

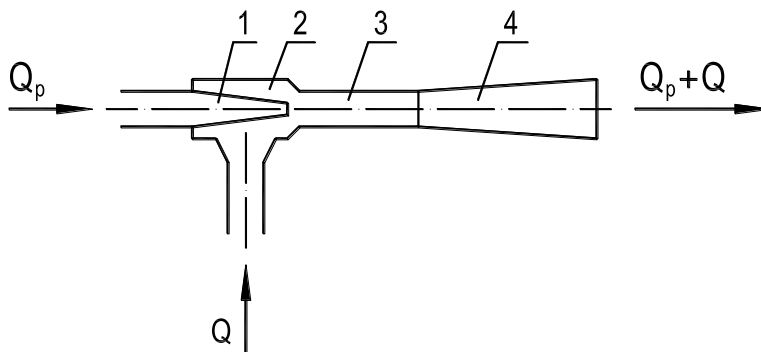
**Цель работы:** установить графическую зависимость коэффициента инжекции струйного насоса от величины давления рабочего потока.

#### 1 Общие сведения

В струйных насосах передача энергии от потока рабочей жидкости к потоку перекачиваемой жидкости или газа осуществляется без промежуточных механизмов, в связи с чем, эти насосы по характеру рабочего процесса принципиально отличаются от насосов всех других видов.

Достоинствами струйных насосов являются простота конструкции, надежность в работе, небольшие габаритные размеры и невысокая стоимость. Благодаря этому струйные насосы широко применяются для подъема сточных и грунтовых вод, для отсоса воздуха из высасывающей линии при запуске крупных центробежных насосов, для удаления ила из отстойников и т.д.

Струйный насос (рисунок 6.1) состоит из следующих основных элементов: сопла 1, всасывающей камеры 2, смесительной камеры 3, диффузора 4.



**Рисунок 6.1** Принципиальная схема струйного насоса

1 – сопло; 2 – всасывающая камера; 3 – смесительная камера; 4 – диффузор.

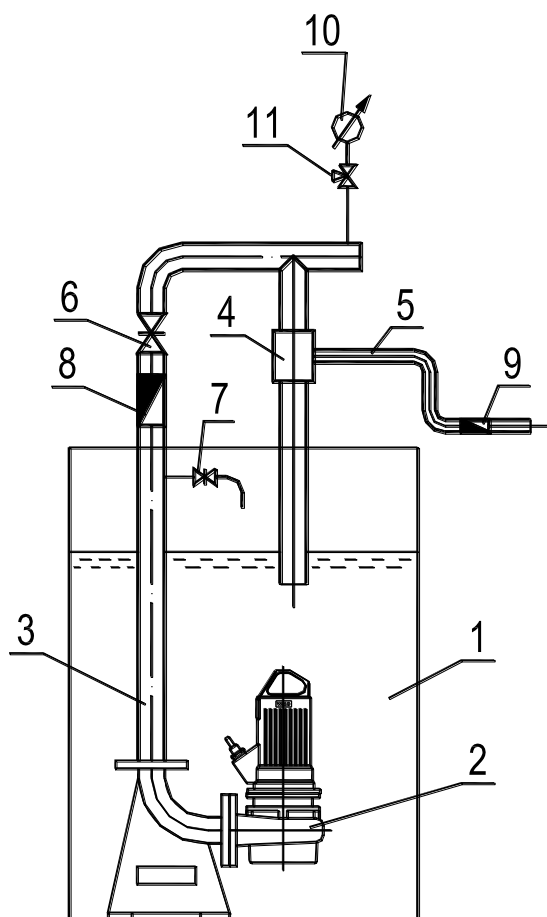
Работа струйного насоса происходит следующим образом. Рабочая жидкость подается питательным насосом под большим давлением в сопло струйного насоса, откуда с большой скоростью поступает в смесительную камеру. Вследствие значительного увеличения скорости на выходе из сопла давление в смесительной камере падает и может стать меньше атмосферного. Под действием вакуума жидкость (газ) из приемного резервуара поступает по всасывающей трубе во всасывающую камеру и далее в смесительную камеру. В смесительной камере рабочая и перекачиваемая жидкость (газ) смешиваются и обмениваются энергией, причем рабочая жидкость отдает часть энергии жидкости (газу), поступающей из приемного резервуара. При прохождении потока жидкости через диффузор, происходит преобразование кинетической энергии в потенциальную. Таким образом, давление потока на выходе из диффузора оказывается выше давления эжектируемого потока.

Отношение  $Q/Q_p = \alpha$  называется коэффициентом инжекции.

$Q$  и  $Q_p$  – соответственно расход жидкости (газа), всасываемой насосом, и рабочего потока.

#### 2 Схема и описание лабораторного стенда

Испытание струйного насоса проводится на лабораторном стенде, схема которого представлена на рисунке 6.2.



**Рисунок 6.2** Схема лабораторного стенда

1 – металлическая колонна с прозрачной стенкой; 2 – погружной насос; 3 – нагнетательный трубопровод; 4 – струйный насос; 5 – воздухопровод; 6 – задвижка на нагнетательном трубопроводе; 7 – сбросной вентиль; 8 – водомер; 9 – газовый счетчик.

Лабораторный стенд представляет собой вертикальную металлическую колонну 1 с прозрачной передней стенкой, в которой находится вода. В нижней части колонны расположен погружной питательный насос 2. Вода, забираемая питательным насосом из колонны, подается по нагнетательному трубопроводу 3 к струйному насосу 4. Атмосферный воздух поступает к струйному насосу по воздухопроводу 5. Объем воды, подаваемый питательным насосом, определяется по водомеру 8, а объем подсасываемого воздуха – с помощью счетчика 9. Расход и давление подаваемой рабочей жидкости регулируется с помощью вентиля 6. Напор рабочей жидкости перед струйным насосом определяется манометром 10. Насыщенный воздухом поток воды поступает в колонну 1.

### 3 Порядок выполнения работы

- закрыть вентиль 6 на нагнетательном трубопроводе.
- запустить в работу питательный насос.
- открывая вентиль 6 установить режим работы струйного насоса.
- измерить объем воды и воздуха поданного питательным и струйным насосом за время  $t$  по водомеру 8 и счетчику 9.
- провести замер манометрического давления по манометру 10.
- с помощью вентиля 6 выставить следующий режим работы струйного насоса и повторить измерения в таком же порядке.

- закрыть вентиль 6 и остановить питательный насос.

#### 4 Расчетные формулы

Объемная подача питательного насоса определяется по формуле:

$$Q_p = \frac{W}{t} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (6.1)$$

$W$  – объем воды, поданной питательным насосом,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время, за которое осуществлялась подача данного объема, с.

Объемная подача, подсасываемого струйным насосом воздуха, определяется по такой же формуле:

$$Q = \frac{W_e}{t_e} \quad \text{м}^3 / \text{с} \quad (6.2)$$

$W_e$  – объем воздуха, подсасываемого струйным насосом,  $\text{м}^3$ ;

$t_e$  – время за которое была осуществлена подача данного объема, с.

Коэффициент эжекции определяется отношением подач воздуха и воды, т.е.

$$\alpha = \frac{Q}{Q_p} \quad (6.3)$$

#### 5 Протокол испытаний и расчета

Таблица 6.1

№ опыта	$W$ $\text{м}^3$	$t$ с	$Q_p$ $\text{м}^3/\text{с}$	$W_e$ $\text{м}^3$	$t_e$ с	$Q$ $\text{м}^3/\text{с}$	$P_m$ кПа	$\alpha$

#### 6 Контрольные вопросы

1. Как определяется коэффициент эжекции?
2. Вследствие чего происходит снижение давления во всасывающей камере струйного насоса?
3. Какое назначение диффузора?
4. Как изменяется коэффициент эжекции струйного насоса при изменении манометрического давления на подходе к соплу?
5. Где применяются струйные насосы?
6. Достоинства и недостатки струйных насосов?

# **Лабораторная работа № 7**

## **ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОМПОНОВКОЙ И РАБОТОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА**

**Цель работы:** ознакомление с компоновкой оборудования, конструкцией здания и работой водопроводной насосной станции первого подъема.

### **1 Общие сведения**

Водопроводная насосная станция является важнейшим звеном системы водоснабжения и представляет собой довольно сложный энергетический узел, обеспечивающий подачу воды потребителям в необходимом объеме с требуемым напором. По расположению в общей схеме системы водоснабжения и назначению они делятся на станции первого подъема, второго подъема, повысительные и циркулярные.

Данная лабораторная работа проводится на действующей водопроводной насосной станции первого подъема при заборе воды из поверхностного источника (река Мухавец). Насосная станция обеспечивает подачу технической воды на промпредприятия г. Бреста.

Здание насосной станции, в котором размещается необходимое оборудование, полузаглубленного типа, прямоугольное в плане. Подземная часть выполнена из монолитного железобетона, а верхняя – из силикатного кирпича. В подземной части здания станции размещаются основные и вспомогательные насосные агрегаты, всасывающие и нагнетательные трубопроводы, оборудованные необходимой арматурой. Основные насосы (типа Д) размещаются в плане по линейной схеме. Два основных насоса марки Д 800-57 и один резервный насос марки Д 300.

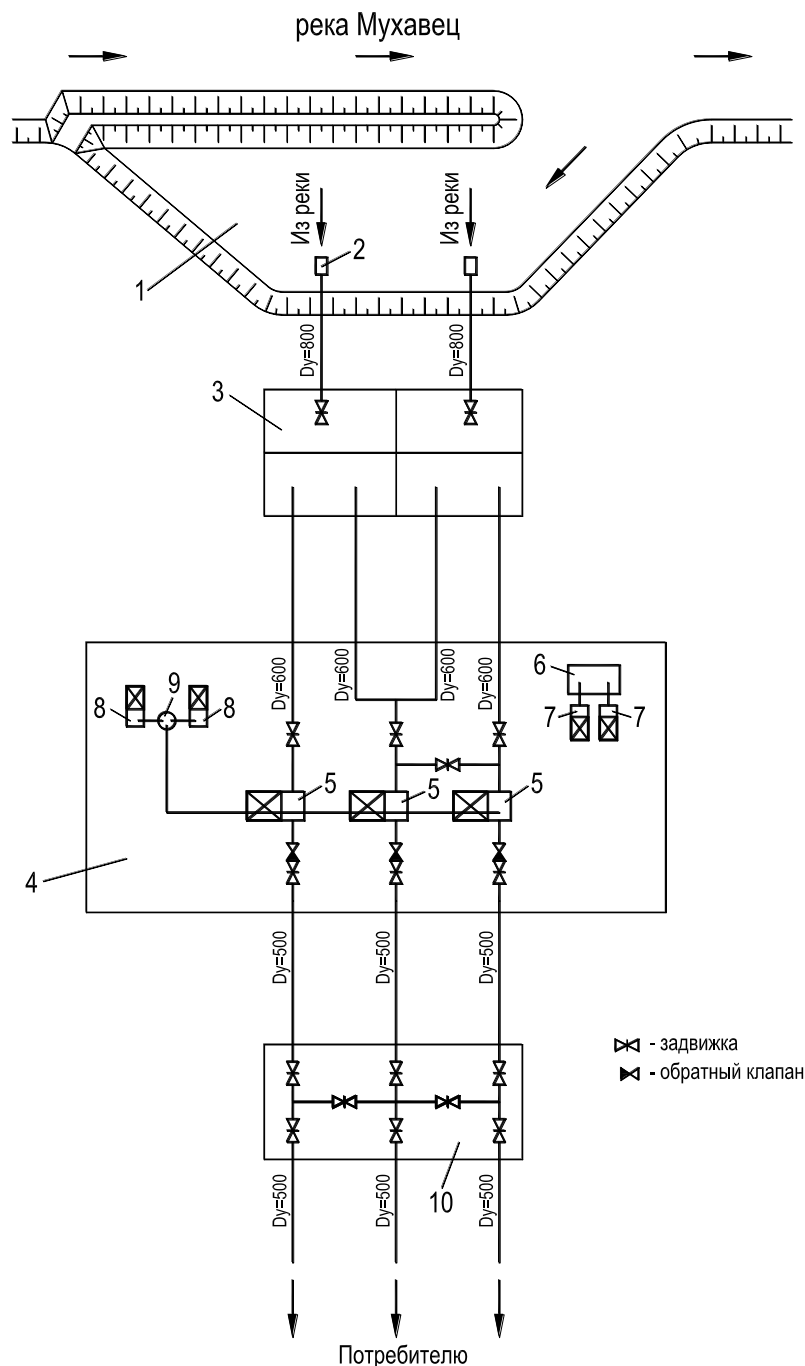
В схеме вертикальной планировки основные насосы установлены под заливом от расчетного уровня воды в источнике. Однако в зимний период времени, когда уровень воды в источнике заметно снижается, насосы работают при положительной высоте всасывания. Для запуска насосов в этом случае предусмотрены вакуумные насосы. С помощью вакуума, создаваемого вакуумными насосами, производится заливка основных насосов перед запуском. Ресивер в вакуумной системе станции исключает возможность попадания воды в вакуумные насосы.

Поскольку здание насосной станции полузаглубленного типа, происходит фильтрация грунтовых вод в машинный зал насосной станции. Грунтовые воды собираются в дренажной приемке, откуда периодически откачиваются дренажными насосами.

Внутристанционные коммуникации включают в себя два всасывающих водовода, всасывающий коллектор, всасывающие трубопроводы, нагнетательные трубопроводы, два нагнетательных водовода. Всасывающие трубопроводы оборудованы задвижками, нагнетательные – обратными клапанами и задвижками.

При изменении давления в напорном водоводе автоматически изменяется частота вращения ротора электродвигателя основного насоса, что позволяет поддерживать заданное давление и экономить электрическую энергию на насосной станции.

В наземной части здания станции размещаются подъемно-транспортное оборудование (подвесной кран) и диспетчерская.



**Рисунок 7.1** *Схема сооружений водопроводной насосной станции первого подъема*

1 – ковш; 2 – оголовок; 3 – береговой колодезь; 4 – план машинного зала насосной станции; 5 – основные насосы; 6 – дренажный приямок; 7 – дренажные насосы; 8 – вакуумные насосы; 9 – ресивер; 10 – камера переключений.

## 2 Порядок выполнения работы

- ознакомиться с конструкцией здания насосной станции; измерить ширину и длину машинного зала, глубину подземной и высоту наземной части здания;
- выполнить эскиз машинного зала с нанесением основных и вспомогательных насосов, а также трубопроводов и арматуры;
- ознакомиться со вспомогательным оборудованием, расположенным в помещении машинного зала станции и дать его краткое описание;

- ознакомиться с работой основного и вспомогательного оборудования насосной станции.

### **3 Состав отчета**

- назначение насосной станции;
- конструкция здания станции;
- эскиз машинного зала в плане с нанесением оборудования;
- вспомогательное оборудование станции;
- работа насосной станции.

### **4 Контрольные вопросы**

1. Что относится к основному и вспомогательному оборудованию насосных станций?
2. Как размещаются насосные агрегаты на водопроводной насосной станции в плане?
3. Как размещаются насосные агрегаты на водопроводной насосной станции в вертикальной плоскости?
4. Как классифицируются водопроводные насосные станции?
5. Для чего применяются вакуумные насосы на насосной станции второго подъема?
6. Для чего нужны дренажные насосы в здании насосной станции?
7. Как экономят электроэнергию на насосной станции?
8. Для чего нужна запорно-регулирующая арматура на насосной станции?

# Лабораторная работа № 8

## ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОМПОНОВКОЙ И РАБОТОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВТОРОГО ПОДЪЕМА

**Цель работы:** ознакомление с компоновкой оборудования, конструкцией здания и работой водопроводной насосной станции второго подъема.

### 1 Общие сведения

Водопроводная насосная станция второго подъема является важнейшим звеном системы водоснабжения и обеспечивает подачу воды потребителям в необходимом объеме с требуемым напором.

Данная лабораторная работа проводится на действующей водопроводной насосной станции второго подъема водозабора №2 г. Бреста («Граевский» водозабор).

Здание насосной станции второго подъема наземного типа, прямоугольное в плане. Оно совмещено с административно-бытовым корпусом и станцией обезжелезивания. В помещении насосной станции второго подъема размещаются основные и вспомогательные насосные агрегаты, а также подъемно-транспортное оборудование (подвесной кран).

К основным насосным агрегатам относятся насосы, предназначенные для перекачки воды из РЧВ к потребителю по двум напорным водоводам диаметром 600 мм. На насосной станции 2-го подъема водозабора №2 установлено 5 основных насосов. Три основных насоса имеют марку 1Д800-56а (производительность 740 м<sup>3</sup>/ч, при напоре 48 м, мощность 132 кВт). Один основной насос марки VENOS 1-300.315 (производительность 1200 м<sup>3</sup>/ч, при напоре 63 м, мощность 132 кВт). Один основной насос марки VENOS 1-200.346 (производительность 400 м<sup>3</sup>/ч, при напоре 50 м, мощность 45 кВт). При изменении водопотребления в водопроводной сети изменяется давление в напорном водоводе и автоматически изменяется частота вращения ротора электродвигателя основного насоса, что позволяет поддерживать заданное давление и экономить электрическую энергию на насосной станции.

К вспомогательным насосам относятся дренажные насосы, вакуумные насосы и насосы для промывки фильтров станции обезжелезивания.

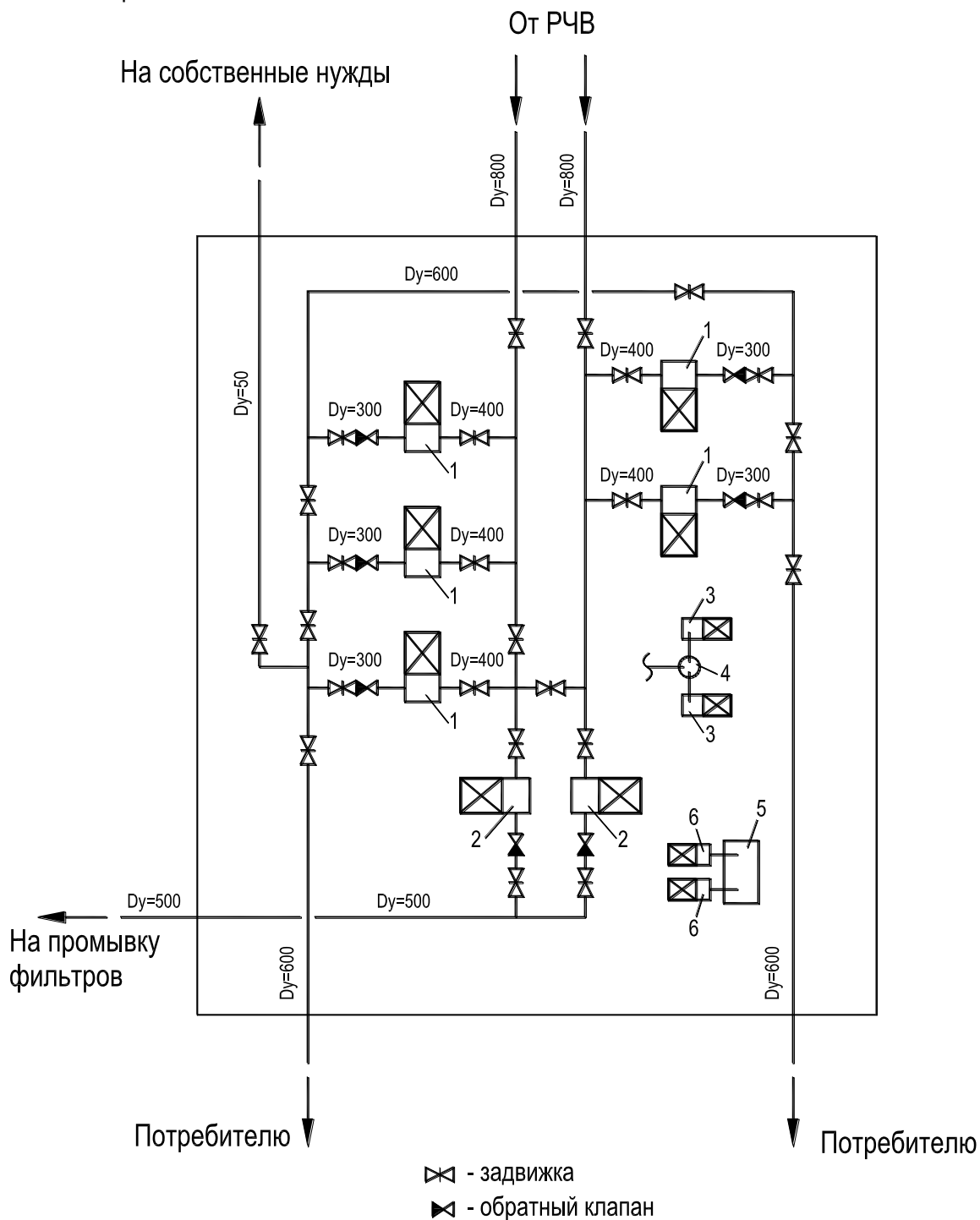
Дренажные насосы предназначены для откачки воды, образующейся в процессе эксплуатации (утечки через сальники насосов и конденсат). Дренажные насосы консольного типа смонтированы около дренажного приямка.

В схеме вертикальной планировки основные насосы установлены не под заливом и при низком уровне воды в РЧВ перед запуском насосов необходимо производить заливку основных насосов, что осуществляется с помощью вакуумных насосов марки КВН 4-19. Ресивер в вакуумной системе станции исключает возможность попадания воды в вакуумные насосы.

Для промывки фильтров станции обезжелезивания установлены два насоса марки 16 НДВ, которые имеют подачу 1200 м<sup>3</sup>/ч при напоре 20 м. Эти насосы обладают большой подачей, поскольку при проведении промывки фильтров станции обезжелезивания необходим большой расход воды.

Внутристанционные коммуникации включают в себя два всасывающих водовода, всасывающий коллектор, всасывающие трубопроводы, нагнетательные трубопроводы, нагнетательный коллектор и два нагнетательных водовода. Всасывающие трубопроводы оборудованы задвижками, нагнетательные – обратными клапанами и задвижками. Все задвижки насосной станции оборудованы

электроприводами, позволяющими полностью автоматизировать управление работой станции.



**Рисунок 8.1 План машинного зала водопроводной насосной станции второго подъема**

1 – основные насосы; 2 – промывные насосы; 3 – вакуумные насосы; 4 – ресивер; 5 – дренажный приямок; 6 – дренажные насосы.

## 2 Порядок выполнения работы

- ознакомиться с конструкцией здания насосной станции; измерить ширину и длину машинного зала, глубину подземной и высоту наземной части здания;
- выполнить эскиз машинного зала с нанесением основных и вспомогательных насосов, а также трубопроводов и арматуры;



- ознакомиться со вспомогательным оборудованием, расположенным в помещении машинного зала станции и дать его краткое описание;
- ознакомиться с работой основного и вспомогательного оборудования насосной станции.

### **3 Состав отчета**

- назначение насосной станции;
- конструкция здания станции;
- эскиз машинного зала в плане с нанесением оборудования;
- вспомогательное оборудование станции;
- работа насосной станции.

### **4 Контрольные вопросы**

1. Как классифицируются водопроводные насосные станции?
2. Что относится к основному и вспомогательному оборудованию насосных станций второго подъема?
3. Как размещаются основные насосные агрегаты на водопроводной насосной станции второго подъема в вертикальной плоскости?
4. Для чего нужны дренажные насосы в здании насосной станции второго подъема?
5. Когда применяются вакуумные насосы на насосной станции второго подъема?
6. Назначение ресивера в вакуумной системе станции?
7. Назначение промывных насосов, расположенных в насосной станции второго подъема?
8. Способы изменения подачи насосной станции второго подъема?
9. Каким образом экономят электрическую энергию на насосных станциях второго подъема?
10. С помощью каких устройств производится автоматизация работы насосной станции второго подъема?
11. Назначение запорно-регулирующей арматуры на насосной станции?
12. Назначение подъемно-транспортного оборудования в насосной станции?

### 3 Раздел контроля знаний

#### Перечень вопросов, выносимых на экзамен по учебной дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»

##### I Раздел

1. Системы сельскохозяйственного водоснабжения.
2. Схемы водоснабжения и состав водопроводных сооружений.
3. Локальные, централизованные и групповые системы водоснабжения.
4. Норма водопотребления.
5. Удельное водопотребление в сельских населенных пунктах, фермах и других сельхозпредприятиях.
6. Графики часовых и суточных расходов воды.
7. Коэффициенты неравномерности водопотребления.
8. Определение расчетных суточных и часовых расходов воды.
9. Подземные воды, как источник водоснабжения.
10. Типы сооружений для забора подземных вод.
11. Приток воды к колодцам в напорном и безнапорном водоносных пластах.
12. Вертикальные водозаборы.
13. Расчет скважин.
14. Гравитационные фильтры.
15. Бесфильтровые трубчатые колодцы.
16. Шахтные колодцы.
17. Горизонтальные водозаборы.
18. Лучевые водозаборы.
19. Каптажные камеры.
20. Поверхностные источники водоснабжения.
21. Общие условия использования воды из рек.
22. Выбор месторасположения и типа водоприемника.
23. Оборудование берегового водоприемника.
24. Водозабор из водохранилищ и озер.
25. Основные способы транспортирования воды.
26. Водопроводные трубы и способы их соединения.
27. Водопроводная арматура и фасонные части.
28. Прокладка трубопроводов и сдача их в эксплуатацию.
29. Разводящие водопроводные сети.
30. Конструкции разводящих сетей и схемы трассировки.
31. Расчет кольцевых водопроводных сетей.
32. Расчетные напоры и расходы водопроводной сети.
33. Расчет водопроводных сетей с контррезервуаром.
34. Определение экономически наиболее выгодного диаметра труб.
35. Системы пожарных водопроводов.
36. Расчет водопроводной сети на случай пожара.
37. Водоводы, их назначение и классификация.
38. Проектирование и расчет водоводов.
39. Переходы водоводов через различные водотоки.
40. Запасные и запасно-регулирующие сооружения.

41. Водонапорные башни.
42. Подземные резервуары.
43. Выбор местоположения, конструкции и определение емкости водонапорных башен и подземных резервуаров.
44. Внутренние водопроводы.
45. Схемы сетей внутреннего водопровода.
46. Трассировка внутреннего водопровода.
47. Основы расчета внутреннего водопровода в зданиях и животноводческих помещениях.
48. Водомерные узлы и устройства для измерения расхода воды.
49. Показатели качества воды и требования к качеству.
50. Методы улучшения качества воды.
51. Технологические схемы очистки воды.
52. Фильтры, осветлители с взвешенным слоем осадка, контактные осветлители.
53. Напорные фильтры.
54. Обеззараживание воды хлором.
55. Обеззараживание воды озонированием и бактерицидными помпами.
56. Опреснение и очистка воды от нитратов.

## II Раздел

1. Краткий исторический обзор развития насосостроения.
2. Классификация насосов.
3. Технические параметры насосов.
4. Схема и принцип работы центробежного насоса.
5. Классификация центробежных насосов.
6. Движение жидкой среды в рабочем колесе центробежного насоса. Треугольники скоростей.
7. Зависимость скорости потока жидкости от геометрических параметров рабочего колеса. Идеальная и действительная подача.
8. Основное уравнение работы центробежного насоса.
9. Влияние формы лопаток рабочего колеса на напор насоса.
10. Коэффициент быстроходности насоса.
11. Кавитация в насосах. Допустимая высота всасывания.
12. Теоретические характеристики центробежных насосов.
13. Рабочие характеристики центробежных насосов.
14. Влияние изменения частоты вращения рабочего колеса насоса на его характеристики.
15. Влияние изменения диаметра рабочего колеса насоса на его характеристики.
16. Алгоритм расчета обточки рабочего колеса и построения новых характеристик.
17. Работа центробежного насоса в системе трубопроводов.
18. Регулирование подачи центробежных насосов.
19. Параллельное включение центробежных насосов.
20. Последовательное включение центробежных насосов.
21. Влияние изменения геометрической высоты подъема жидкой среды на

работу насоса.

22. Схема и принцип работы осевых насосов.
23. Элементы теории, напор и подача осевых насосов.
24. Характеристики осевых насосов, регулирование подачи и маркировка.
25. Классификация мелиоративных насосных станций.
26. Схемы насосных станций на оросительных системах.
27. Схемы насосных станций на осушительных системах.
28. Схемы передвижных насосных станций.
29. Классификация водозаборных сооружений и требования, предъявляемые к ним.
30. Ковшовые водозаборные сооружения.
31. Камерные водозаборные сооружения совмещенного типа.
32. Камерные водозаборные сооружения раздельного типа.
33. Береговые камерные водозаборные сооружения раздельного типа.
34. Русловые водозаборные сооружения на реках.
35. Определение расчетной подачи мелиоративных насосных станций и числа основных насосов.
36. Определение расчетного напора мелиоративных насосных станций.
37. Всасывающие трубопроводы мелиоративных насосных станций.
38. Подводящие трубопроводы мелиоративных насосных станций.
39. Внутристанционные напорные трубопроводы мелиоративных насосных станций.
40. Трубопроводная арматура.
41. Оборудование для заливки насосов перед их запуском в работу.
42. Дренажно-осушительные системы мелиоративных насосных станций.
43. Подъемно-транспортное оборудование.
44. Подбор электродвигателей к основным насосам.
45. Трансформаторные подстанции.
46. Типы зданий насосных станций.
47. Верхнее строение зданий насосных станций.
48. Подземная часть зданий насосных станций.
49. Вспомогательные помещения мелиоративных насосных станций.
50. Общие сведения о водовыпускных сооружениях.
51. Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами.
52. Водовыпускные сооружения сифонного типа.

## **4 Вспомогательный раздел**

**Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение» для специальности:  
1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство»**

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор БрГТУ

\_\_\_\_\_ М.В. Нерода

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Регистрационный № УД- \_\_\_\_\_ /уч.

**Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности

1–74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1–74 05 01–2019, утв. Постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 66 от 28.05.2019 и учебного плана специальности\_1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство, направления специальности.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

С.Г. Белов, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, кандидат технических наук, доцент

М.А. Таратенкова, старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

В.Г. Новосельцев, заведующий кафедрой теплогасоснабжения и вентиляции учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент;

С.А. Новик, главный специалист отдела комплексного проектирования №2 УП «Институт «Брестстройпроект».

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.Г. Белов, (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2022 г.)

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ О.П. Мешик, (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2022 г.);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2022 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Код компетенции СК-13.4. Быть способным выбирать конструкции зданий мелиоративных насосных станций, схемы водоснабжения и водоотведения водопроводную и водоотводящую сеть, обосновывать их параметры с комплексами электроснабжения и автоматизации, показатели качества воды и их улучшения.

«Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение» – основа профессиональной подготовки специалистов по специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство.

Цель преподавания дисциплины – подготовка специалистов, основам проектирования и расчета, строительства и эксплуатации насосных станций и сооружений систем сельскохозяйственного водоснабжения на базе современных достижений науки и техники.

Задачи изучения дисциплины – получение знаний и умений, необходимых для успешной работы в качестве инженера в области машинного водоподъема и сельскохозяйственного водоснабжения с учетом специфики водохозяйственного строительства. В результате изучения дисциплины студент должен знать устройство, принцип работы, правила эксплуатации насосов, применяемых в области мелиорации и сельского хозяйственного водоснабжения, конструкцию отдельных элементов насосных станций и водопроводных сооружений систем водоснабжения.

Перечень дисциплин, знание которых необходимо для изучения курс:

«Физика», «Математика», «Гидравлика», «Инженерная геология и гидрология».

Для закрепления теоретического материала, овладения методикой проектирования и расчета предусмотрено проведение лабораторных и практических занятий по ключевым темам.

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направление специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Сам. работа	
1- 74 05 01	Мелиорация и водное хозяйство	3	5,6	342	9	192	80	48	64	150	экзамен, экзамен



# 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Лекционные занятия, их содержание

**1.1.1 Введение в сельскохозяйственное водоснабжение.** Цели и задачи учебной дисциплины. Понятие о водоснабжении. Хозяйственное и санитарно-гигиеническое значение водоснабжения. Закон республики Беларусь о питьевом водоснабжении.

**1.1.2 Водопотребление.** Норма водопотребления. Удельное водопотребление в сельских населенных пунктах, фермах и других сельхозпредприятиях. Графики часовых и суточных расходов воды. Коэффициенты неравномерности водопотребления. Определение расчетных суточных и часовых расходов воды.

**1.1.3 Системы и схемы сельскохозяйственного водоснабжения.** Системы сельскохозяйственного водоснабжения. Схема водоснабжения и состав водопроводных сооружений. Локальные, централизованные и групповые системы водоснабжения.

**1.1.4 Транспортирование и распределение воды.** Основные способы транспортирования воды. Водопроводные трубы и способы их соединения. Водопроводная арматура и фасонные части. Прокладка трубопроводов и сдача их в эксплуатацию. Разводящие водопроводные сети. Конструкции разводящих сетей и схемы трассировки. Расчетные напоры и расходы водопроводной сети. Определение экономически наивыгоднейшего диаметра труб. Водоводы, их назначение и классификация. Проектирование и расчет водоводов. Запасные и запасно-регулирующие сооружения. Выбор местоположения конструкции и определение емкости водонапорных башен и подземных резервуаров. Внутренние водопроводы. Основы проектирования и расчета внутреннего водопровода в зданиях и животноводческих помещениях.

**1.1.5 Водозаборные сооружения систем сельскохозяйственного водоснабжения.** Подземные воды, как источник водоснабжения. Типы сооружений для забора подземных вод. Приток воды к колодцам в напорном и безнапорном водоносных пластах. Шахтные колодцы. Горизонтальные водозаборы. Лучевые водозаборы. Каптажные камеры. Сооружения для забора воды из поверхностных источников. Поверхностные источники водоснабжения. Общие условия добывания воды из рек. Выбор местоположения и типа водоприемника. Оборудование берегового водоприемника. Водозабор из водохранилищ и озер.

**1.1.6 Сельскохозяйственное обводнение территории.** Основные понятия и задачи обводнения. Формы обводнения. Центры обводнения. Обводнение обширных территорий.

**1.1.7 Водоснабжение пастбищ.** Устройство и оборудование водопойных пунктов. Их размещение на пастбище. Определение потребности в воде. Резервуары водопойные площадки. Полевое водоснабжение.

**1.1.8 Улучшение качества воды.** Показатели качества воды и требования

к качеству. Методы улучшения качества воды. Технологическая схема очистки воды, фильтры, осветлители с взвешенным осадком, контактные осветлители. Безреагентные фильтры. Обеззараживание вода озонированием и бактерицидными помпами. Опреснение и очистка воды от нитратов.

**1.1.9 Общие сведения о насосах и насосных станциях.** Краткий исторический обзор развития насосостроения. Определение насосов и их классификация. Понятия: насосная установка, насосная станция, энергетический узел машинного водоподъема. Технические параметры, характеризующие работу насосов: подача, напор, мощность, полезная мощность, коэффициент полезного действия, высота всасывания (геометрическая, вакуумметрическая).

**1.1.10 Центробежные насосы.** Принцип работы и основные схемы центробежных насосов. Геометрические параметры рабочего колеса. Классификация центробежных насосов. Движение жидкой среды в рабочем колесе центробежного насоса. Параллелограммы и треугольники скоростей. Основное уравнение работы центробежного насоса (уравнение Л.Эйлера). Влияние угла выхода потока из рабочего колеса насоса на его напор. Формы лопаток рабочего колеса насоса. Явление кавитации в насосах. Подобие насосов и формулы пересчета основных технических параметров. Коэффициент быстроходности насосов. Характеристики насосов (теоретические, действительные, графические, аналитические). Влияние изменения частоты вращения рабочего колеса насоса на его характеристики. Влияние срезки (обточки) рабочего колеса на его характеристики. Сводные графики полей Q-N насосов. Работа насосов в системе трубопроводов. Характеристика трубопровода (сети трубопроводов). Подбор насоса. Два метода регулирования подачи центробежных насосов. Совместная работа группы центробежных насосов при их параллельном включении. Совместная работа группы центробежных насосов при их последовательном включении. Насосы, применяемые в области мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении.

**1.1.11 Осевые насосы.** Схема и принцип работы осевых насосов. Элементы теории, подача и напор осевых насосов. Характеристики, регулирование подачи и маркировка осевых насосов.

**1.1.12 Схемы и состав сооружений насосных станций мелиоративных систем.** Классификация насосных станций. Схемы и состав сооружений насосных станций на осушительных системах. Схемы и состав сооружений насосных станций на оросительных системах. Схемы передвижных насосных станций.

**1.1.13 Водозаборные сооружения насосных станций.** Назначение и классификация водозаборных сооружений и требования, предъявляемые к ним. Русловые и береговые типы водозаборных сооружений. Водозаборные сооружения на тупиковом канале (ковшовый, камерные).

**1.1.14 Основное и вспомогательное оборудование насосных станций.** Определение расчетной подачи и напора насосных станций. Выбор числа насосных агрегатов. Размещение основных насосов в плане и вертикальной плоскости. Всасывающие и проводящие трубопроводы. Напорные

трубопроводы, их проектирование и расчет. Трубопроводная арматура насосных станций. Оборудование для заливки насосов перед их запуском в работу. Дренажно-осушительные системы. Подъемно-транспортное оборудование.

**1.1.15 Электрооборудование и электроснабжение насосных станций.** Электродвигатели, применяемые для привода насосов, методика их подбора. Трансформаторные подстанции. Методика подбора силовых трансформаторов.

**1.1.16 Здания мелиоративных насосных станций.** Типы зданий насосных станций и условия их применения. Подземная часть зданий насосных станций. Верхнее строение зданий насосных станций. Вспомогательные помещения мелиоративных насосных станций.

**1.1.17 Водовыпускные сооружения насосных станций.** Назначение, классификация и условия применения водовыпускных сооружений. Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами. Сифонные водовыпускные сооружения. Водовыпускные сооружения с переливными стенками.

**1.1.18 Насосные станции систем сельскохозяйственного водоснабжения.** Классификация насосных станций. Схема водозаборного узла насосных станций на подземном источнике. Режим работы, подача и напор насосных станций первого подъема. Размещение оборудования на насосных станциях первого подъема. Здания насосных станций первого подъема на подземном источнике. Режим работы, подача и напор насосных станций второго подъема. Размещение насосного оборудования в плане и в вертикальной плоскости. Здания насосных станций второго подъема.

## **1.2. Лабораторные занятия, их содержание**

- 1.2.1 Ознакомление с водопроводными трубами и способами их соединения – 4 ч.
- 1.2.2 Ознакомление с фасонными частями водопроводных труб – 2 ч.
- 1.2.3 Ознакомление с конструкцией водопроводной арматуры – 2 ч
- 1.2.4 Устройство и принцип работы фильтра с зернистой загрузкой – 2 ч.
- 1.2.5 Исследование работы кольцевой водопроводной сети – 2 ч.
- 1.2.6 Ознакомление с конструкцией и работой водопроводных сооружений на действующем водозаборе Брестского района – 4 ч.
- 1.2.7 Изучение конструкции центробежных насосов – 4 ч.
- 1.2.8 Изучение кинематики потока в рабочем колесе центробежного потока – 4 ч.
- 1.2.9 Энергетические испытания центробежного насоса – 4 ч.
- 1.2.10 Исследование влияния изменения частоты вращения рабочего колеса центробежного насоса на его характеристики – 6 ч.
- 1.2.11 Исследование совместной работы центробежных насосов при их параллельном и последовательном включениях – 4 ч.
- 1.2.12 Исследование струйного насоса – 2 ч.
- 1.2.13 Ознакомление с компоновкой и работой насосной станции первого

подъема – 4 ч.

1.2.14 Ознакомление с компоновкой и работой насосной станции второго подъема – 4 ч.

### 1.3. Практические занятия, их содержание

1.3.1 Определение объемов водопотребления для объектов сельского хозяйства – 4 ч.

1.3.2 Определение расчетных расходов и построение графиков водопотребления – 4 ч.

1.3.3 Выбор схемы водоснабжения и трассировка водопроводной сети – 2 ч.

1.3.4 Гидравлический расчет водопроводной сети – 6 ч.

1.3.5 Проектирование и расчет водонапорной башни – 2 ч.

1.3.6 Проектирование и расчет резервуара чистой воды – 2 ч.

1.3.7 Проектирование и расчет водозаборных скважин – 6 ч.

1.3.8 Проектирование и расчет зон санитарной охраны – 2 ч.

1.3.9 Детализовка водопроводной сети – 4 ч.

1.3.10 Технические параметры насосов – 4 ч.

1.3.11 Треугольники скоростей. Основное уравнение центробежного насоса – 4 ч.

1.3.12 Коэффициент быстроходности насоса. Высота всасывания насоса – 4 ч.

1.3.13 Работа насоса на трубопровод – 4 ч.

1.3.14 Подбор насоса – 4 ч.

1.3.15 Совместная работа центробежных насосов в системе трубопроводов – 4 ч.

1.3.16 Проектирование здания мелиоративной насосной станции – 4 ч.

1.3.17 Проектирование здания насосной станции сельскохозяйственного водоснабжения – 4 ч.

### 1.1.4 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

#### *Дневная форма получения образования*

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов на сам. работу	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
5 семестр								
1	Введение в сельскохозяйственное водоснабжение	2						

2	Водопотребление	2	6				6	
3	Системы и схемы сельскохозяйственного водоснабжения	4	2		6		10	
4	Транспортирование и распределение воды	6	10		8		24	
5	Водозаборные сооружения систем сельскохозяйственного водоснабжения	6	6				14	
6	Сельскохозяйственное обводнение территории.	4					4	
7	Водоснабжение пастбищ	2					8	
8	Улучшение качества воды	6			2		10	
	Итого	32	32		16		76	экзамен
6 семестр								
9	Общие сведения о насосах и насосных станциях	2					6	
10	Центробежные насосы	10	24		24		18	
11	Осевые насосы	3					4	
12	Схемы и состав сооружений насосных станций мелиоративных систем	4					4	
13	Водозаборные сооружения насосных станций	4						
14	Электрооборудование и электроснабжение насосных станций	3					6	
15	Здания мелиоративных насосных станций	6	4		4		6	
16	Водовыпускные сооружения насосных станций	2					4	
17	Насосные станции систем сельскохозяйственного водоснабжения	4	4		4		20	
	Итого	48	32		32		74	экзамен

## **2. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1. Основная литература**

2.1.1. СТБ 2255-2012. Основные требования к документации строительного проекта.

2.1.2 СНБ 4.01.01-03. Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования // Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн., 2004.

2.1.3 СН 4.01.01-19. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения // Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн., 2019.

2.1.4 Рычагов В.В., Чебаевский В.Ф. Проектирование насосных станций и испытания насосных установок. – М.: «Колос», 2000. – 320 с.

2.1.5 Ю.В. Аникин, Н.С. Царев, Л.И. Ушаков Насосы и насосные станции.– Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 138 с.

2.1.6 К.П. Моргунов Насосы и насосные станции Учебное пособие. – М: Лань – 308 с.

2.1.7 Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений.: В 3-х т. – Т.1/ Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения. / Научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. Журбы М.Г. Вологда – Москва: ВоГТУ, 2001. – 209 с.

2.1.8 Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф. А. Шевелев. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2007. – 336 с.

### **2.2. Дополнительная литература**

2.2.1. В.С. Оводов. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. 3-е издание переработанное и дополненное. М; Колос, 1984 – 480 с.

2.2.2 В.Н.Смагин, К.А. Небольсина, В.М. Беляков. Курсовое и дипломное проектирование по сельскохозяйственному водоснабжению. М.; ВО “Агропромиздат”, 1990 – 336 с.

2.2.3 А.Е. Белан, П.Д. Хоружий. Проектирование и расчет устройств водоснабжения. Киев. Будивельник, 1981– 192 с.

2.2.4 Б.В. Карасев. Насосные и воздухоудные станции. Минск. Высшая школа. 1990 – 326 с.

2.2.5 А.С. Москвитин, Справочник по специальным работам. Трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационным сооружениям. 2-е издание переработанное. М.; 1970 – 528 с.

2.2.6 Гуринович А.Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: Планирование, проектирование, строительство и эксплуатация: Монография / А.Д. Гуринович. – Мн.: УП “Технопринт”, 2004. – 244 с.: ил.

### **2.3. Наглядные пособия, технические средства обучения**

2.3.1 Образцы насосов типа К, Д, ЭЦВ

2.3.2 Образцы трубопроводов, фасонных частей и водопроводной арматуры

2.3.3 Лабораторная установка фильтра с зернистой загрузкой

2.3.4 Лабораторная установка последовательного и параллельного подключения насосов.

2.3.5 Лабораторная установка струйного насоса.

2.3.6 Лабораторная установка кольцевой водопроводной сети

2.3.7 Плакаты и стенды

### **2.4. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности**

Для текущего контроля и самоконтроля знаний и умений студентов по данной дисциплине используется следующий диагностический инструментарий:

- промежуточные аттестации;
- устный опрос на практических и лабораторных занятиях.

### **2.5. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающимися по учебной дисциплине**

Основной учебной работой студента является самостоятельная работа в течение всего срока обучения. Начинать изучение дисциплины необходимо с ознакомления с целями и задачами дисциплины, а также знаниями и умениями, приобретаемыми в процессе изучения. Далее следует проработать рекомендуемую литературу, рассмотрев темы лекционных, практических и лабораторных занятий. Все неясные вопросы по дисциплине студент может решить на консультациях.

#### Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Нормативно-технически правовые акты по водоснабжению [2.1.1, 2.1.2, 2.1.3] – 2 ч.
2. Критерии надежности систем водоснабжения [2.1.5, 2.1.7] – 4 ч.
3. Изменение состава потребителей по сезонам года [2.1.5] – 2 ч.
4. Переходы водоводов через различные водотоки [2.1.5, 2.1.7] – 4 ч.
5. Расчет водопроводных сетей с контррезервуаром [2.1.6, 2.1.7] – 4 ч.
6. Противопожарная арматура, устройство и принцип действия [2.1.5, 2.1.7, 2.2.1] – 4 ч.

7. Способы прокладки трубопроводов [2.1.3, 2.1.5, 2.2.1] – 6 ч.
8. Испытания напорных и безнапорных трубопроводов [2.1.3, 2.1.5] – 4 ч.
9. Дезинфекция трубопроводов водоснабжения [2.1.3, 2.1.5, 2.2.2] – 4 ч.
10. Эксплуатация водопроводной сети [2.1.5, 2.2.2] – 4 ч.
11. Систему и схемы внутренних водопроводов животноводческих ферм [2.1.5, 2.1.6] – 2 ч.
12. Внутренняя противопожарная арматура [2.1.7, 2.2.1] – 2 ч.
13. Гидравлический расчет внутреннего водопровода [2.1.7] – 2 ч.
14. Эксплуатация внутреннего водопровода здания [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
15. Оборудование башни приборами сигнализации и автоматическим управлением [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
16. Кирпичные и деревянные водонапорные башни [2.1.5, 2.2.2] – 4 ч.
17. Эксплуатация водонапорных башен и РЧВ [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
18. Мероприятия во охране природных вод от загрязнения [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
19. Автопоилки, их устройство и установка [2.1.5] – 2 ч.
20. Оборудование резервуаров [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
21. Пневматические водонапорные установки [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
22. Плавающие водоприемные сооружения [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
23. Водоприемные ковши [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
24. Особенности приема воды из рек с недостаточной глубиной [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
25. Особенности приема воды из водохранилищ и озер [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
26. Эксплуатация водозаборных скважин [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
27. Каптаж родников [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
28. Способы опреснения [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
29. Резервуары, водопойные площадки. [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
30. Полевое водоснабжение [2.1.5, 2.2.2] – 2 ч.
31. Краткий исторический обзор развития насосостроения [2.1.5, 2.1.9] – 2 ч.
32. Понятия: насосная установка, насосная станция, энергетический узел машинного водоподъема [2.1.5, 2.1.9] – 4 ч.
33. Принцип работы и основные схемы центробежных насосов [2.1.5, 2.1.9] – 4 ч.
34. Формы лопаток рабочего колеса насоса [2.1.9] – 4 ч.
35. Характеристики насосов (теоретические, действительные, графические, аналитические) [2.1.5, 2.1.9] – 6 ч.
36. Насосы, применяемые в области мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении [2.1.5, 2.1.9] – 4 ч.
37. Характеристики, регулирование подачи и маркировка осевых насосов – 4 ч.
38. Схемы передвижных насосных станций [2.1.5] – 4 ч.
39. Размещение основных насосов в плане и вертикальной плоскости [2.1.5, 2.1.8, 2.1.9] – 6 ч.
40. Электродвигатели, применяемые для привода насосов, методика их подбора [2.1.5, 2.1.9] – 6 ч.
41. Вспомогательные помещения мелиоративных насосных станций [2.1.5] – 6 ч.
42. Водовыпускные сооружения с переливными стенками [2.1.5] – 4 ч.
43. Режим работы, подача и напор насосных станций первого подъема [2.1.5,



- 2.1.9, 2.2.2] – 4 ч.
44. Здания насосных станций первого подъема на подземном источнике [2.2.3] – 6 ч.
45. Режим работы, подача и напор насосных станций второго подъема [2.1.9, 2.2.2] – 4 ч.
46. Здания насосных станций второго подъема [2.1.9, 2.2.2] – 6 ч.

**Вопросы к экзамену по дисциплине «Насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение»**

**5 семестр**

1. Системы сельскохозяйственного водоснабжения.
2. Схемы водоснабжения и состав водопроводных сооружений.
3. Локальные, централизованные и групповые системы водоснабжения.
4. Норма водопотребления.
5. Удельное водопотребление в сельских населенных пунктах, фермах и других сельхозпредприятиях.
6. Графики часовых и суточных расходов воды.
7. Коэффициенты неравномерности водопотребления.
8. Определение расчетных суточных и часовых расходов воды.
9. Подземные воды, как источник водоснабжения.
10. Типы сооружений для забора подземных вод.
11. Приток воды к колодцам в напорном и безнапорном водоносных пластах.
12. Вертикальные водозаборы.
13. Расчет скважин.
14. Гравитационные фильтры.
15. Бесфильтровые трубчатые колодцы.
16. Шахтные колодцы.
17. Горизонтальные водозаборы.
18. Лучевые водозаборы.
19. Каптажные камеры.
20. Поверхностные источники водоснабжения.
21. Общие условия использования воды из рек.
22. Выбор месторасположения и типа водоприемника.
23. Оборудование берегового водоприемника.
24. Водозабор из водохранилищ и озер.
25. Основные способы транспортирования воды.
26. Водопроводные трубы и способы их соединения.
27. Водопроводная арматура и фасонные части.
28. Прокладка трубопроводов и сдача их в эксплуатацию.
29. Разводящие водопроводные сети.
30. Конструкции разводящих сетей и схемы трассировки.
31. Расчет кольцевых водопроводных сетей.
32. Расчетные напоры и расходы водопроводной сети.
33. Расчет водопроводных сетей с контррезервуаром.

34. Определение экономически наивыгоднейшего диаметра труб.
35. Системы пожарных водопроводов.
36. Расчет водопроводной сети на случай пожара.
37. Водоводы, их назначение и классификация.
38. Проектирование и расчет водоводов.
39. Переходы водоводов через различные водотоки.
40. Запасные и запасно-регулирующие сооружения.
41. Водонапорные башни.
42. Подземные резервуары.
43. Выбор местоположения, конструкции и определение емкости водонапорных башен и подземных резервуаров.
44. Внутренние водопроводы.
45. Схемы сетей внутреннего водопровода.
46. Трассировка внутреннего водопровода.
47. Основы расчета внутреннего водопровода в зданиях и животноводческих помещениях.
48. Водомерные узлы и устройства для измерения расхода воды.
49. Показатели качества воды и требования к качеству.
50. Методы улучшения качества воды.
51. Технологические схемы очистки воды.
52. Фильтры, осветлители с взвешенным слоем осадка, контактные осветлители.
53. Напорные фильтры.
54. Обеззараживание воды хлором.
55. Обеззараживание воды озонированием и бактерицидными помпами.
56. Опреснение и очистка воды от нитратов.

### **6 семестр**

1. Краткий исторический обзор развития насосостроения.
2. Классификация насосов.
3. Технические параметры насосов.
4. Схема и принцип работы центробежного насоса.
5. Классификация центробежных насосов.
6. Движение жидкой среды в рабочем колесе центробежного насоса. Треугольники скоростей.
7. Зависимость скорости потока жидкости от геометрических параметров рабочего колеса. Идеальная и действительная подача.
8. Основное уравнение работы центробежного насоса.
9. Влияние формы лопаток рабочего колеса на напор насоса.
10. Коэффициент быстроходности насоса.
11. Кавитация в насосах. Допустимая высота всасывания.
12. Теоретические характеристики центробежных насосов.
13. Рабочие характеристики центробежных насосов.
14. Влияние изменения частоты вращения рабочего колеса насоса на его характеристики.
15. Влияние изменения диаметра рабочего колеса насоса на его характеристики.

16. Алгоритм расчета обточки рабочего колеса и построения новых характеристик.
17. Работа центробежного насоса в системе трубопроводов.
18. Регулирование подачи центробежных насосов.
19. Параллельное включение центробежных насосов.
20. Последовательное включение центробежных насосов.
21. Влияние изменения геометрической высоты подъема жидкой среды на работу насоса.
22. Схема и принцип работы осевых насосов.
23. Элементы теории, напор и подача осевых насосов.
24. Характеристики осевых насосов, регулирование подачи и маркировка.
25. Классификация мелиоративных насосных станций.
26. Схемы насосных станций на оросительных системах.
27. Схемы насосных станций на осушительных системах.
28. Схемы передвижных насосных станций.
29. Классификация водозаборных сооружений и требования, предъявляемые к ним.
30. Ковшовые водозаборные сооружения.
31. Камерные водозаборные сооружения совмещенного типа.
32. Камерные водозаборные сооружения отдельного типа.
33. Береговые камерные водозаборные сооружения отдельного типа.
34. Руслевые водозаборные сооружения на реках.
35. Определение расчетной подачи мелиоративных насосных станций и числа основных насосов.
36. Определение расчетного напора мелиоративных насосных станций.
37. Всасывающие трубопроводы мелиоративных насосных станций.
38. Подводящие трубопроводы мелиоративных насосных станций.
39. Внутростанционные напорные трубопроводы мелиоративных насосных станций.
40. Трубопроводная арматура.
41. Оборудование для заливки насосов перед их запуском в работу.
42. Дренажно-осушительные системы мелиоративных насосных станций.
43. Подъемно-транспортное оборудование.
44. Подбор электродвигателей к основным насосам.
45. Трансформаторные подстанции.
46. Типы зданий насосных станций.
47. Верхнее строение зданий насосных станций.
48. Подземная часть зданий насосных станций.
49. Вспомогательные помещения мелиоративных насосных станций.
50. Общие сведения о водовыпускных сооружениях.
51. Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами.
52. Водовыпускные сооружения сифонного типа.