

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

УТВЕРЖДЕНО

Учебно-методическим объединением
по специальностям железнодорожного
транспорта в качестве учебника для
студентов высших учебных заведений
железнодорожного транспорта

Москва, 1999

УДК 625. 1/2 : 652. 2(075)

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ:**

Учебник для вузов ж.д. транспорта/
В.С.Дикаревский, П.П.Якубчик, В.Г.Иванов,
Е.Г.Петров. - М. : Транспорт. 1999. - 440 с.

В книге приведены основные сведения об особенностях водоснабжения и водоотведения на железнодорожном транспорте. Содержатся данные о системах и схемах водоснабжения и водоотведения, о расчете и проектировании водопроводных сетей и сетей водоотведения, водонапорных и регулирующих резервуарах, арматуре, водозаборных сооружениях, насосных станциях. Особое внимание уделено методам и приемам улучшения качества водопроводной воды и очистке сточных вод. Приведены основные правила эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения.

Книга утверждена УМО вузов железнодорожного транспорта в качестве учебника для студентов специальностей “Строительство железных дорог”, “Промышленное и гражданское строительство”, “Инженерная защита окружающей среды на железнодорожном транспорте”, а также может служить пособием для студентов специальности “Водоснабжение и водоотведение”, и для специалистов занятых проектированием, строительством и эксплуатацией систем водоснабжения и водоотведения на железнодорожном транспорте.

Книгу написали:

Профессор, д-р техн. наук В.С.Дикаревский введение, раздел 4,3 и 4,4, главы 10, 11, 12 и 14; профессор, канд. техн. наук П.П.Якубчик главы 1, 2, 3, 4 (кроме раздела 4,3 и 4,4), 5 и 6; профессор, канд. техн. наук В.Г.Иванов главы 13, 15 и 16; профессор, д-р техн.наук Е.Г.Петров главы 7, 8 и 9.

Рецензенты: зав. кафедрой «Водоотведение и охрана водных ресурсов»

СПбГАСУ проф., д.т.н. М.И.Алексеев и начальник дирекции водоснабжения
и водоотведения Октябрьской жел.-дор. к.т.н. С.М.Левитин.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	
1.	Основные понятия о железнодорожном водоснабжении	
1.1.	Потребители воды на железнодорожном транспорте	
1.2.	Нормы водопотребления и режимы расходования воды	
1.3.	Определение расчетных расходов воды	
2.	Системы и схемы водоснабжения	
2.1.	Общие сведения о системах водоснабжения	
2.2.	Схемы водоснабжения железнодорожного транспорта	
2.3.	Взаимосвязь в работе отдельных сооружений системы водоснабжения	
3.	Проектирование и расчет водопроводной сети	
3.1.	Схемы водопроводных сетей и правила их трассирования	
3.2.	Отбор воды из водопроводной сети. Составление расчетной схемы сети	
3.3.	Определение диаметров труб водопроводных линий	
3.4.	Определение потерь напора в водопроводных линиях сети	
3.5.	Теоретические основы и задачи гидравлического расчета водопроводных сетей	
3.6.	Практические методы расчета кольцевых водопроводных сетей	
3.7.	Принципы технико-экономического расчета водопроводных сетей	
3.8.	Расчет водопроводных сетей на ЭВМ	
4.	Устройство водопроводной сети	
4.1.	Трубы, применяемые для устройства водопроводных сетей	
4.2.	Трубопроводная арматура водопроводной сети	
4.3.	Выпуск и впуск воздуха при опорожнении и наполнении труб водой	
4.4.	Гидравлический удар в водопроводах и противоударная защита труб	
4.5.	Водопроводные колодцы и камеры	
4.6.	Прокладка водопроводных линий через естественные и искусственные препятствия	
4.7.	Испытания и сдача водопроводной сети в эксплуатацию	
5.	Водонапорные и регулирующие резервуары	
5.1.	Общие сведения о емкостях систем водоснабжения	
5.2.	Водонапорные башни и колонны	
5.3.	Резервуары чистой воды	
5.4.	Гидропневматические установки	
6.	Насосы и насосные станции	

- 6.1. [Основные параметры насосных установок](#)
- 6.2. [Классификация, устройство и принцип действия насосов](#)
- 6.3. [Основное уравнение центробежного насоса](#)
- 6.4. [Характеристика центробежного насоса](#)
- 6.5. [Совместная работа насоса и трубопровода](#)
- 6.6. [Параллельная и последовательная работа центробежных насосов](#)
- 6.7. [Подбор насоса и двигателя](#)
- 6.8. [Кавитация в насосах и допустимая высота всасывания](#)
- 6.9. [Регулирование подачи центробежных насосов](#)
- 6.10. [Водопроводные насосные станции](#)
- 6.11. [Принцип размещения насосного оборудования](#)
7. [Источники водоснабжения и водозаборы](#)
- 7.1. [Поверхностные источники водоснабжения](#)
- 7.2. [Подземные источники водоснабжения](#)
- 7.3. [Классификация водозаборов](#)
- 7.4. [Водозаборы берегового типа](#)
- 7.5. [Водозаборные сооружения руслового типа](#)
- 7.6. [Водозаборы на озерах и водохранилищах](#)
- 7.7. [Типы и схемы водозаборов из подземных водоисточников](#)
- 7.8. [Скваженные водозаборы](#)
- 7.9. [Горизонтальные и лучевые водозаборы](#)
8. [Улучшение качества питьевой воды. Подготовка воды для](#)
[промпредприятий](#)
- 8.1. [Физические и химические показатели качества воды](#)
- 8.2. [Классификация загрязнений природных вод и физико-химических процессов воздействия на загрязнения](#)
- 8.3. [Требования к качеству воды различного назначения](#)
- 8.4. [Основные технологические схемы и сооружения для улучшения качества воды](#)
- 8.5. [Методы безреагентной очистки воды](#)
- 8.6. [Коагулирование загрязнений воды. Коагулянты и флокулянты](#)
- 8.7. [Реагентное хозяйство](#)
- 8.8. [Осветление воды отстаиванием. Основные типы отстойников и их характеристики](#)
- 8.9. [Очистка воды в слое взвешенного осадка](#)
- 8.10. [Доочистка воды фильтрованием. Основные типы фильтров и их характеристики](#)
- 8.11. [Метод контактного осветления воды. Контактные осветлители и контактные фильтры](#)
- 8.12. [Обезжелезивание и деманганация подземных вод](#)
- 8.13. [Обеззараживание природных вод](#)
- 8.14. [Подготовка воды для промпредприятий](#)
9. [Основы эксплуатации железнодорожного водоснабжения](#)

10. [Основные понятия о водоотведении на железнодорожном транспорте](#)
- 10.1. [Назначение систем водоотведения и виды сточных вод](#)
- 10.2. [Значение систем водоотведения в деле охраны водной среды от загрязнений](#)
- 10.3. [Системы водоотведения](#)
- 10.4. [Схемы коллекторов водоотведения](#)
- 10.5. [Основные элементы систем водоотведения](#)
- 10.6. [Водоотведение на железнодорожном транспорте](#)
11. [Устройство сетей водоотведения](#)
- 11.1. [Трубы для водоотведения, водоотводные лотки и кюветы](#)
- 11.2. [Колодцы на сетях водоотведения](#)
- 11.3. [Дюкеры. Переходы под железными и автомобильными дорогами](#)
- 11.4. [Устройства для отведения воды в железнодорожных тоннелях, и в метрополитенах](#)
- 11.5. [Особенности устройства сетей водоотведения в условиях сурового климата и вечной мерзлоты](#)
12. [Проектирование и расчет сетей водоотведения](#)
- 12.1. [Расположение сетей водоотведения в плане и профиле](#)
- 12.2. [Нормы водоотведения. Определение расчетных расходов производственно-бытового водоотведения](#)
- 12.3. [Формулы, таблицы и графики, используемые при расчете производственно-бытовой сети водоотведения](#)
- 12.4. [Порядок гидравлического расчета производственно-бытовой водоотводящей сети](#)
- 12.5. [Гидравлический расчет дождевой сети водоотведения](#)
- 12.6. [Особенности расчета сети при общесплавной и полураздельной системах водоотведения](#)
13. [Особенности перекачки сточных вод при помощи насосов](#)
- 13.1. [Классификация канализационных насосных станций и насосы для перекачки сточных вод](#)
- 13.2. [Устройство канализационных насосных станций](#)
- 13.3. [Определение объема и размеров приемного резервуара насосной станции](#)
14. [Очистка бытовых сточных вод](#)
- 14.1. [Состав загрязнений бытовых сточных вод и их характеристики](#)
- 14.2. [Понятие о концентрации загрязнений в сточных водах](#)
- 14.3. [Правила выпуска сточных вод в водные объекты](#)
- 14.4. [Определение допустимой концентрации загрязнений в сточных водах перед выпуском их в водный объект](#)
- 14.5. [Способы очистки бытовых сточных вод и схемы очистных станций](#)
- 14.6. [Сооружения для очистки сточных вод и обработки осадка](#)
15. [Очистка производственных сточных вод предприятий](#)

	железнодорожного транспорта
15.1.	Состав загрязнений производственных сточных вод и их характеристики
15.2.	Приемники производственных сточных вод
15.3.	Способы и схемы очистки производственных сточных вод
15.4.	Сооружения для очистки производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта
15.5.	Схема очистки сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта
16.	Эксплуатация систем водоотведения
	Приложение 1
	Приложение 2
	Список литературы

ВВЕДЕНИЕ

Развитие железнодорожной техники, улучшение жилищно-бытовых условий и благоустройство железнодорожных поселков и станций, охрана окружающей природной среды невозможны без широкого распространения на транспорте централизованного водоснабжения и современного водоотведения.

Под железнодорожным водоснабжением понимают систему инженерных сооружений, предназначенных для обеспечения доброкачественной водой железнодорожников и пассажиров, станций, локомотивных и вагонных депо, промышленных предприятий железнодорожного транспорта и других подобных объектов. При этом вода расходуется на хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные нужды.

Системы водоснабжения представляют собой сложные комплексы сооружений и оборудования, включающие водозаборные устройства, насосные станции, сооружения для очистки и обработки воды, напорные и разводящие сети, водоразборную и предохранительную арматуру и т.д.

Водоотведением (канализацией) называют систему санитарных мероприятий и инженерных сооружений, назначением которых является сбор сточных вод, в том числе атмосферных, отвод их за пределы жилых территорий, железнодорожных станций и промышленных предприятий для очистки и обезвреживания с целью повторного использования в технической водоснабжении или, как исключение, для сброса в водные объекты (реки, озера, водохранилища) без нарушения их нормальной деятельности.

Общее водопотребление на железных дорогах России достигает почти 500 млн. м³/год. Количество потребителей более 4000 пунктов

водоснабжения. Протяженность водопроводных сетей на железнодорожном транспорте свыше 20 тыс. км. Водоотведением охвачено несколько меньше станций и поселков, объем сбрасываемых в водные объекты сточных вод 77 млн. м³/год из них недостаточно очищенных почти 70 млн. м³/год и совсем без очистки примерно 7 млн. м³/год. Остальные сточные воды попадают в городскую систему водоотведения и очищаются на общих сооружениях.

В начале 60-х годов нашего столетия, водопотребление на железнодорожном транспорте снизилось ввиду перехода на новые виды тяги - электровозную и тепловозную. Однако это понижение длилось недолго и уже к 1979 г водопотребление даже превысило прежний уровень. Это объясняется тем, что стало больше внимания уделяться благоустройству железнодорожных поселков, дальнейшее развитие получили также транспортные промышленные предприятия.

Вода на железнодорожном транспорте, кроме хозяйственно-питьевых целей, расходуется на промывку и обмывку вагонов, на заправку систем водоснабжения и отопления пассажирских вагонов, на водопой перевозимых животных, на обмывку локомотивов, а также для охлаждения двигателей внутреннего сгорания и компрессоров, приготовление льда и т.д. Значительная часть воды расходуется на железнодорожных предприятиях: локомотиво- и вагоно-ремонтных заводах, на промышленно-пропарочных станциях, дезинфекционно-промывочных станциях и пунктах, автобазах, шпалопропиточных заводах, в котельных, прачечных и др.

Использованные сточные воды поступают в сеть водоотведения. При этом так называемые бытовые сточные воды, образовавшиеся в жилых домах, общественных зданиях и частично на предприятиях, сбрасываются в городскую сеть водоотведения или непосредственно в водные объекты (реки, озера, пруды). Для этого они предварительно подвергаются очистке до требуемого по нормам уровня. Производственные сточные воды следует использовать по замкнутому циклу, т.е. после очистки снова направлять на технические нужды этих же или других аналогичных предприятий.

Научными исследованиями в области водоснабжения и водоотведения на транспорте занимаются лаборатории Центрального научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС), отраслевая лаборатория Петербургского государственного университета путей сообщения, соответствующие кафедры четырех Российских университетов путей сообщения.

Следует отметить, что в железнодорожных институтах в разное время работали крупнейшие ученые, написавшие капитальные труды и первые учебники по водоснабжению и водоотведению в России. К таким специалистам, внесшим наиболее значительный вклад в теорию и практику водного хозяйства страны, относятся В.Е.Тимонов., А.А.Саткевич, Ф.Е.Максименко, Н.Н.Павловский, А.А.Сурин, Б.Ф.Иванов, Н.Н.Белов, Н.Н.

Гениев, С.Х.Азерьев, Г.Г.Шигорин и многие другие. Поэтому не удивительно, что именно на железнодорожном транспорте впервые нашли применение многие оригинальные технические решения,

Инженер А.П.Бородин еще в прошлом веке решил задачу рационального размещения остановочных пунктов с учетом необходимости набора воды паровозами. Предварительная обработка воды с целью ее умягчения впервые была применена в России в 1875 году. На железнодорожном транспорте построены и применяются - уникальные продольные водопроводы, при помощи которых снабжаются водой сразу ряд железнодорожных станций и поселков. Такие водопроводы, расположенные вдоль железнодорожных линий, достигают в длину десятки и сотни километров. Крупнейший из них водопровод (или водовод) Иртыш-Тобол, протяженностью 270 км. На железнодорожном транспорте широко применяются оригинальные конструкции водонапорных башен системы В.Г. Шухова. Особый интерес представляет опыт строительства и эксплуатации железнодорожных водопроводов в условиях вечномёрзлых грунтов. При строительстве Амурской железной дороги (1910-1917гг.) впервые в мире были применены многие новые приемы проектирования и новые конструкции водопроводных устройств. В условиях, когда источники водоснабжения (реки и озера) промерзают до дна были построены специальные сооружения для каптажа (забора) грунтовых вод - шахтные колодцы и галереи. Для накопления воды во время паводка строились плотины новой конструкции, применяемые в условиях вечной мерзлоты и наиболее подходящие к бурным летним паводкам, несущим большое количество наносов. Вместо весьма дорогостоящей и надежной в эксплуатации укладки труб в отапливаемых подземных галереях на Амурской железной дороге еще в 1909 г применили подогрев и непрерывную циркуляцию воды в трубах, что оказалось экономичней.

Водонапорные башни, построенные на транссибирской магистрали представляют собой памятники архитектуры и инженерного искусства конца XIX столетия. Оригинальные конструкции водонапорных башен системы В.Г. Шухова и неотапливаемые башни А.А.Рожновского также впервые были построены на железнодорожном транспорте.

В послевоенные годы сначала была осуществлена массовая электрификация насосных станций, а затем и их автоматизация, внедрены способы борьбы с гидравлическим ударом в трубопроводах и приборы для удаления нерастворенного воздуха из них. В ЦНИИ МПС разработаны и широко применяется на транспорте флотационные установки для очистки промышленных стоков от нефтепродуктов. В лабораториях ПГУПС исследованы и внедрены новые типы тонкослойных отстойников, эффективные искусственные сорбционные материалы для фильтров,

способы восстановления дебита водозаборных скважин, установлены гидравлические характеристики железобетонных труб.

В Сибирском государственном университете путей сообщения созданы новые способы глубокой очистки подземных вод, а в Дальневосточном университете путей сообщения проведены работы по оптимизации тепловых расчетов трубопроводов, уложенных в условиях вечной мерзлоты.

Перспективными задачами в области водоснабжения и водоотведения на железнодорожном транспорте являются полная ликвидация, так называемого, привозного водоснабжения, при котором в безводных районах на отдельные станции и в поселки вода доставляется в цистернах; уменьшение расходов чистой воды на производственные нужды за счет более широкого применения оборотного водоснабжения; совершенствование методов очистки природных вод и загрязненных стоков до такой степени, при которой питьевая вода удовлетворяла бы требованиям новых гигиенических нормативов (Сан ПиН 2.14.-559-96), а сточная вода - требованиям ГОСТов, совершенствование управления системами водоснабжения и водоотведения путем применения компьютеризации.

Все эти задачи невозможно решить без подготовки специалистов железнодорожного транспорта, хорошо владеющих знаниями в области водоснабжения и водоотведения, на что и направлен настоящий учебник.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ

1.1. Потребители воды на железнодорожном транспорте

Потребители воды на железнодорожном транспорте разнообразны по своему составу. Воду используют практически все службы железнодорожного хозяйства, а также многочисленные пристанционные населенные пункты. Водоснабжение на железнодорожном транспорте связано непосредственно с перевозочным процессом. Вода расходуется на заправку пассажирских вагонов, обмывку и промывку подвижного состава. На промывочно-пропарочных станциях подвергают горячей или холодной водой обработке с пропаркой и промывкой до 70 % всех порожних цистерн, предназначенных для перевозки нефтепродуктов и ряда других наливных грузов. При этом расход воды на таких станциях колеблется в среднем от 200 до 900 м³/сут.

На пунктах подготовки грузовых вагонов вода расходуется на промывку вагонов после перевозки штучных и навалочных грузов (кирпича, цемента, зерна, минеральных удобрений и др.). На дезпромстанциях и дезпромпунктах водой промывают грузовые вагоны после перевозки в них скота, птиц, мяса и сырья животного происхождения.

В локомотивных депо вода расходуется на обмывку, заправку и обслуживание тепловозов и электровозов. Суточное водопотребление в таких депо колеблется от 30 до 300 м³/сут. В вагонных депо вода используется на обслуживание, обмывку и промывку вагонов, цистерн и их узлов. Водой заправляют пассажирские вагоны и рефрижераторные секции. Расход воды в вагонных депо достигает 300 м³/сут.

Основными потребителями воды в путевом хозяйстве являются шпалоприточные и щебеночные заводы, рельсосварочные поезда, мастерские и звеносборочные базы.

Среднесуточное водопотребление на одном таком предприятии колеблется от 100 до 250 м³/сут.

Для снабжения льдом изотермических вагонов на сети железных дорог действуют льдозаводы и льдопункты, на которых для приготовления 1 м³ льда расходуется около 1,5 м³ воды.

Во многих депо, на железнодорожных станциях и заводах имеются компрессорные установки, которые охлаждаются водопроводной водой. Продолжительность работы одного компрессора колеблется от 6 до 18 ч. в сутки с расходом воды на охлаждение 0,1...0,2 м³/ч.

Более 45 % всей используемой воды на железнодорожном транспорте приходится на хозяйственно-питьевое водоснабжение пристанционных поселков.

В железнодорожных водопроводах обычно применяют объединенную систему водоснабжения с подачей из нее воды всем потребителям. При этом водопроводные сооружения должны пропускать одновременно расход воды для удовлетворения хозяйственно-питьевых, производственных и противопожарных нужд. При объединенном водопроводе расход воды на пожаротушение должен быть обеспечен с учетом наибольшего потребления на другие нужды железнодорожной станции.

1.2. Нормы водопотребления и режимы расходования воды

Для проектирования системы водоснабжения и правильного размещения на железнодорожной станции всех водопроводных сооружений и устройств необходимо иметь данные о числе и составе водопотребителей, количестве расходуемой каждым из них воды и режиме ее потребления. Для определения количества воды, которое должно быть подано водопроводными сооружениями пользуются расчетными нормами водопотребления.

Нормой водопотребления называют количество воды, расходуемое данным потребителем за определенный промежуток времени или количество воды, необходимое для производства единицы продукции (удельная норма водопотребления).

Для специфических железнодорожных водопользователей существуют ведомственные удельные нормы водопотребления. Временные удельные нормы водопотребления для основных технологических процессов на железнодорожном транспорте приведены в приложении 1.

Нормы расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих и служащих во время их пребывания на производстве составляют 45 л/чел. в смену в горячих цехах и 25 л/чел. в смену в холодных цехах. Часовой расход воды на одну душевую сетку на промышленных предприятиях принимается равным 500 л, продолжительностью пользования душем 45 мин.

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления в пристанционных поселках и других населенных пунктах принимаются по СНиП 2.04.02-84 (см. табл. 1.1.). Для удовлетворения нужд местной промышленности, обслуживающей население продуктами, и неучтенные расходы для населенных пунктов рекомендуется принимать дополнительно в размере 10...20 % общего расхода на хозяйственно-питьевые нужды.

Таблица 1.1. Нормы хозяйственно - питьевого водопотребления

Степень благоустройства районов жилой застройки	Удельное среднесуточное хозяйственно-питьевое водопотребление в нас. пунктах
---	--

	на одного жителя (за год), л/сут.
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией:	
без ванн	125 - 160
с ваннами и местными водонагревателями	160 – 230
с центральным горячим водоснабжением	230 - 350
Застройка с водопользованием из уличных водоразборных колонок	30 - 50

Приведенные в таблице 1.1. нормы предусматривают водопотребление только в жилых и общественных зданиях. Для других потребителей, таких как дома отдыха, санаторно-туристические комплексы, детские лагеря, школы-интернаты, которые часто подключают к железнодорожным водопроводам, расходы воды следует принимать согласно СНиП 2.04.01-85.

Расход воды на поливку и мойку улиц и площадей, а также на поливку зеленых насаждений, газонов и цветников учитывается дополнительно. Предусмотрены следующие удельные нормы расхода воды, л/м², на одну мойку или одну поливку:

Механизированная мойка усовершенствованных покрытий проездов и площадей.	1,2 - 1,5
механизированная поливка усовершенствованных покрытий проездов и площадей.	0,3 - 0,4
поливка вручную (из шлангов) усовершенствованных покрытий тротуаров и проездов	0,4 - 0,5
поливка городских зеленых насаждений	3 - 4
поливка газонов и цветников	4 - 6

Число поливок в зависимости от климатических условий принимается равным 1-2 в сутки. Расходы воды на пожаротушение в суммарное суточное водопотребление не включают, так как они являются эпизодическими. Однако система водоснабжения должна обеспечить возможность подачи требуемых количеств воды к месту пожара в любое время. Нормы расхода воды на наружное пожаротушение в населенном пункте приведены в табл. 1.2., а для железнодорожных производственных предприятий - в табл. 1.3.

Таблица 1.2. Нормы расхода воды на пожаротушение в населенных пунктах

Количество жителей в населенном пункте, тыс.чел.	Расчетное количество одновременных пожаров	Расход воды, л/с, на один пожар при высоте застройки	
		до двух этажей включительно	три этажа и более
До 1	1	5	5
5	1	10	10
10	1	10	15
25	2	10	15
50	2	20	25
100	2	25	35
200	3	-	40
300	3	-	55

При определении нормы расхода воды на наружное пожаротушение для железнодорожных производственных предприятий учитывают, что локомотивные депо имеют III степень огнестойкости зданий и категорию производства по пожарной опасности Г, а для вагонных депо III степень огнестойкости и категорию В.

Таблица 1.3. Нормы расхода воды на пожаротушение в зданиях

Степень огнестойкости зданий	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды, л/с, на один пожар при объемах зданий, тыс. м ³				
		До 3	3-5	5-20	20-50	50-200
I и II	Г, Д, Е	10	10	10	10	15
	А, Б, В	10	10	15	20	30
III	Г, Д	10	10	15	25	35
	В	10	15	20	30	40
IV и V	Г, Д	10	15	20	30	-
	В	15	20	25	40	-

Норму расхода воды (л/с) на наружное пожаротушение открытых площадей хранения контейнеров с грузом до 5 т следует принимать при количестве контейнеров от 30 до 50...15; 51...100...20; 101...300...25; 301...1000...40.

Для производственных и общественных зданий, оборудованных внутренними пожарными кранами, дополнительно учитывается расход воды на внутреннее пожаротушение, который определяется по нормам СНиП 2.04.01-85.

Продолжительность тушения пожара в большинстве случаев принимается равной 3 ч.

Обычно запас воды на тушение пожара хранится в резервуарах чистой воды.

Для объединенного водопровода, обслуживающего железнодорожную станцию и населенный пункт количество одновременных наружных пожаров принимают: при площади территории железнодорожной станции до 150 га и численности жителей в населенном пункте до 10 тыс. чел., - один пожар (по наибольшему расходу на железнодорожной станции или в населенном пункте); то же, при числе жителей в населенном пункте от 10 до 25 тыс. чел. - два пожара (один на железнодорожной станции и один в населенном пункте);

при числе жителей в населенном пункте более 25 тыс. чел. расчетный расход на пожаротушение принимают как сумму потребного большего расхода (на железнодорожной станции или в населенном пункте) и 50% потребного меньшего расхода (на железнодорожной станции или в населенном пункте).

Режим работы отдельных сооружений системы водоснабжения определяется режимом расходования воды потребителями, который непрерывно меняется в течение всего периода эксплуатации. Потребители расходуют воду на протяжении года, суток и часов весьма неравномерно. Например, суточные расходы воды населением изменяются в течение года в связи с колебанием температуры и влажности воздуха, обычаями и привычками людей, чередованием праздничных, выходных и рабочих дней.

Наблюдениями, проводимыми в течение ряда лет за изменением суточного водопотребления в разных условиях можно получить графики суточного водопотребления в течение года. Однако для проектирования системы водоснабжения сведений о среднесуточном водопотреблении недостаточно. Необходимо иметь расходы воды и в другие сутки, когда имеют место максимальное и минимальное водопотребление. Для

определения расходов воды в населенном пункте в различные сутки года по данным среднесуточного за год расхода воды вводятся понятия коэффициентов суточной неравномерности водопотребления, которые учитывают уклад жизни людей, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий, изменение водопотребления по сезонам года и дням недели. Значения этих коэффициентов принимаются в следующих пределах: $K_{сут.маx} = 1,1...1,3$; $K_{сут.мин} = 0,7...0,9$.

Большая неравномерность водопотребления в течение года обычно имеет место в населенных пунктах с небольшим числом жителей при слабом развитии промышленности и значительных сезонных колебаниях температуры.

В течение суток также заметны довольно значительные колебания часовых расходов, вызываемые сменой дня и ночи, распорядком работы, различными случайными явлениями. Часовые расходы воды потребителями колеблются на протяжении суток от $Q_{ч.маx}$ до $Q_{ч.мин}$.

Размер и характер колебаний расходов на хозяйственно-питьевые нужды населения резко отличаются от размеров и характера колебаний расходов воды на производственные нужды. Поэтому общий максимальный расход воды в пункте водоснабжения не может быть получен путем простого суммирования максимальных часовых расходов отдельных водопотребителей.

Для построения общего суточного графика водопотребления необходимо распределить расчетные расходы воды по часам суток каждым потребителем в отдельности, после чего эти часовые расходы суммируют и получают общий расход воды всеми потребителями за каждый час суток. На основании анализа общих часовых расходов воды находят максимальный и минимальный часовые расходы.

Режим расходования воды производственными предприятиями зависит от технологии производства, типа используемого оборудования, количества смен и других факторов и задается технологом производства.

Режим расходования воды на хозяйственно-питьевые нужды в населенных пунктах зависит от числа жителей, степени развития промышленности и ряда других факторов и характеризуется коэффициентами часовой неравномерности водопотребления, значения которых для населенных пунктов определяют по следующим факторам:

$$K_{ч.маx} = \alpha_{маx} \beta_{маx} ; K_{ч.мин} = \alpha_{мин} \beta_{мин} ; \quad (1.1)$$

Коэффициент α учитывает степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия. Он принимается равным:

$$\alpha_{маx} = 1,2...1,4 ; \alpha_{мин} = 0,4...0,6$$

Коэффициент β учитывает влияние численности населения объекта и его выбирают в зависимости от числа жителей N

N тыс.чел.	до 1	1,5	2,5	4	6	10	20	50	100
$\beta_{маx}$	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1
$\beta_{мин}$	0,1	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7

Коэффициенты часовой неравномерности производственного водопотребления $K_{ч.маx.п}$ и $K_{ч.мин.п}$ устанавливаются технологическим проектом предприятия.

Общий график суточного водопотребления группы потребителей железнодорожной станции и поселка при ней представлен на рис. 1.1.

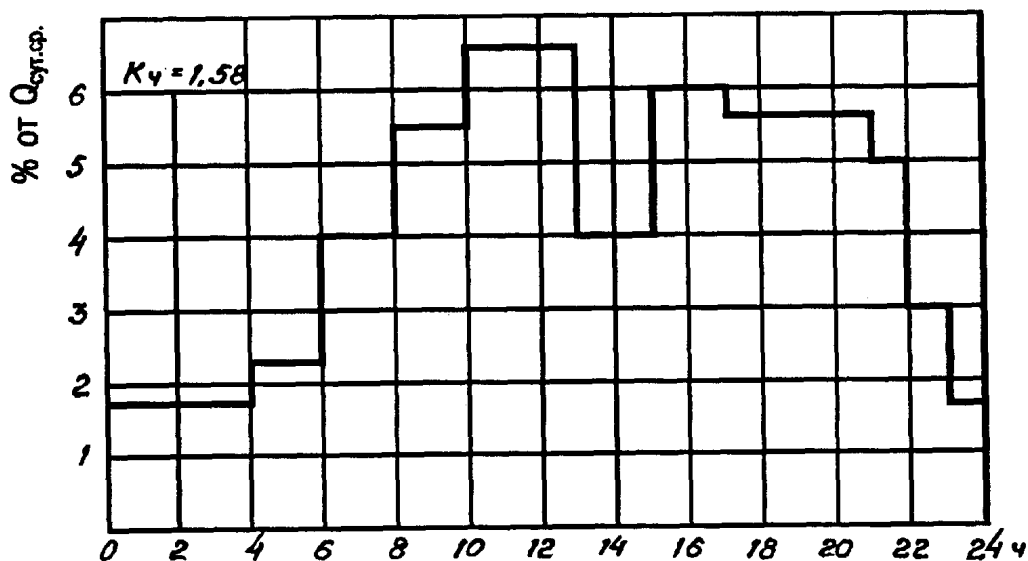


Рис. 1.1. Общий график суточного водопотребления

Следует отметить, что в течение часа расходование воды потребителями также неравномерно. Однако учет этой неравномерности водопотребления значительно усложняет расчет, не давая существенного его уточнения. Поэтому в практике проектирования и расчета системы водоснабжения с достаточной для практических целей точностью принимают равномерное в течение часа расходование воды.

1.3. Определение расчетных расходов воды

Для бесперебойного и полного снабжения водой всех потребителей отдельные сооружения системы водоснабжения рассчитывают исходя из разных расходов воды, а именно:

разводящую водопроводную сеть, из которой вода поступает непосредственно потребителям, рассчитывают на подачу максимальных секундных расходов воды Q_{max} ; насосные станции, напорные водоводы, водозаборные и очистные сооружения - на подачу среднечасовых расходов в сутки максимального водопотребления $Q_{ч.сп.}$;

регулирующие емкости водонапорных сооружений определяют по расчетному расходу в сутки максимального водопотребления $Q_{сут.мах.}$;

себестоимость 1 м^3 подаваемой воды определяют исходя из годового объема водопотребления $Q_{год}$.

Различают фактические и расчетные расходы воды. Фактическими расходами принято называть расходы воды замеренные приборами, которые устанавливают на насосных станциях и на вводах в отдельные здания. Расчетными называют расходы воды, определенные теоретически по нормам водопотребления и числу водопотребителей. Расчетные суточные расходы воды обычно определяют отдельно для каждой категории водопотребителей.

Средний суточный расход воды $Q_{сут.сп.х.}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте определяют по формуле

$$Q_{\text{сут.ср.х.}} = \sum q_{\text{ж}_i} \cdot N_{\text{ж}_i} / 1000, \quad (1.2)$$

где $q_{\text{ж}_i}$ - удельное водопотребление, л/сут, принимаемое по СНиП 2.04.02-84;
 $N_{\text{ж}_i}$ - расчетное число жителей в районах жилой застройки с различной степенью благоустройства;
 1000 - переводной коэффициент (метр кубический в литры).

Максимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.мах.х.}}$, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте

$$Q_{\text{сут.мах.х.}} = K_{\text{сут.мах}} Q_{\text{сут.ср.х.}}, \quad (1.3)$$

где $K_{\text{сут.мах}}$ - максимальный коэффициент суточный неравномерности водопотребления.

Минимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.мин.х.}}$, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте

$$Q_{\text{сут.мин.х.}} = K_{\text{сут.мин}} Q_{\text{сут.ср.х.}}, \quad (1.4)$$

где $K_{\text{сут.мин}}$ - минимальный коэффициент суточной неравномерности во допотребления.

Максимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.мах.полив.}}$, м³/сут на поливку улиц, площадей, зеленых насаждений, газонов и цветников определяют по формуле

$$Q_{\text{сут.мах.полив.}} = \sum q_{\text{полив}_i} \times F_{\text{полив}_i} \times n_{\text{полив}} / 1000, \quad (1.5)$$

где $q_{\text{полив}_i}$ - удельная норма на поливку, л/м², принимается по СНиП 2.04.02-84;
 $F_{\text{полив}_i}$ - поливаемая площадь, м²;
 $n_{\text{полив}}$ - количество поливок в сутки.

Средний суточный расход воды $Q_{\text{сут.ср.полив.}}$, м³/сут, на поливку улиц, площадей, зеленых насаждений, газонов и цветников

$$Q_{\text{сут.ср.полив.}} = \frac{Q_{\text{сут.мах.полив.}} \times T}{365}, \quad (1.6)$$

где T - число дней полива в году.

Средний суточный расход воды $Q_{\text{сут.ср.п.}}$, м³/сут, на производственные нужды предприятий составляет

$$Q_{\text{сут.ср.п.}} = \sum q_{\text{п}_i} \cdot \Pi_i, \quad (1.7)$$

где $q_{пi}$ - норма потребления воды на одну расчетную единицу, производственную операцию или агрегат, м³;
 $П_i$ - количество расчетных единиц в сутки на предприятии.

Максимальный суточный расход $Q_{сут.мах.п.}$, м³/сут, на производственные нужды предприятий

$$Q_{сут.мах.п.} = K_{сут.мах.п.} Q_{сут.ср.п.}, \quad (1.8)$$

где $K_{сут.мах.п.}$ - максимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления для предприятия.

Минимальный суточный расход воды, $Q_{сут.мин.п.}$, м³/сут, на производственные нужды предприятия

$$Q_{сут.мин.п.} = K_{сут.мин.п.} Q_{сут.ср.п.}, \quad (1.9)$$

где $K_{сут.мин.п.}$ - минимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления для предприятия.

Суточный расход воды $Q_{сут.х.-п.}$, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды рабочих на предприятии определяют по формуле

$$Q_{сут.х.-п.} = 0,025(n'_x + n''_x + n'''_x) + 0,045(n'_г + n''_г + n'''_г), \quad (1.10)$$

где 0,025 и 0,045 - норма водопотребления за одну смену на одного рабочего соответственно в холодном и горячем цехах, м³;
 n_x и $n_г$ - количество рабочих, соответственно в холодных и горячих цехах, за каждую смену.

Суточный расход воды $Q_{сут.душ.}$, м³/сут, на душевые нужды предприятия определяют по формуле

$$Q_{сут.душ.} = 0,5 (n' + n'' + n''') \frac{45}{60} a, \quad (1.11)$$

где 0,5 - норма расхода вода на одну душевую сетку, м³/ч.;
 n - количество рабочих, пользующихся душем в конце каждой смены;
 45 - продолжительность приема душа, мин.;
 60 - множитель перевода часового расхода душевой сетки в минутный;
 a - количество рабочих, приходящихся на одну душевую сетку.

Общий среднесуточный расход воды $Q_{сут.ср.п.}^{общ.}$, м³/сут, для предприятия составляет

$$Q_{сут.ср.п.}^{общ.} = Q_{сут.ср.п.} + Q_{сут.х.-п.} + Q_{сут.душ.} \quad (1.12)$$

Общий максимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.мах.п}}^{\text{общ.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$ для предприятия

$$Q_{\text{сут.мах.п}}^{\text{общ.}} = Q_{\text{сут.мах.п.}} + Q_{\text{сут.х.п.}} + Q_{\text{душ.}} \quad (1.13)$$

Средний суточный расход воды $Q_{\text{сут.ср.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$ для объекта водоснабжения

$$Q_{\text{сут.ср.}} = Q_{\text{сут.ср.х.}} + Q_{\text{сут.ср.п.}}^{\text{общ.}} + Q_{\text{сут.ср.полив}} \quad (1.14)$$

Максимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.мах.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, для объекта водоснабжения

$$Q_{\text{сут.мах.}} = Q_{\text{сут.мах.х.}} + Q_{\text{сут.мах.п.}}^{\text{общ.}} + Q_{\text{сут.мах.полив}} \quad (1.15)$$

Минимальный суточный расход воды $Q_{\text{сут.мин.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, для объекта водоснабжения

$$Q_{\text{сут.мин.}} = Q_{\text{сут.мин.х.}} + Q_{\text{сут.мин.п.}}^{\text{общ.}} + Q_{\text{сут.ср.полив}} \quad (1.16)$$

Объем годового водопотребления $Q_{\text{год.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, для объекта водоснабжения составляет

$$Q_{\text{год.}} = 365 Q_{\text{сут.ср.}} \quad (1.17)$$

Расчетные часовые расходы воды определяют по формулам:
средний часовой расход $Q_{\text{ч.ср.}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, в сутки максимального водопотребления

$$Q_{\text{ч.ср.}} = K_{\text{сут.мах.}} Q_{\text{сут.ср.}}/24, \quad (1.18)$$

максимальный часовой расход $Q_{\text{ч.мах.}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, в сутки максимального водопотребления

$$Q_{\text{ч.мах.}} = K_{\text{ч.мах.}} Q_{\text{сут.мах.}}/24, \quad (1.19)$$

минимальный часовой расход $Q_{\text{ч.мин.}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, в сутки минимального водопотребления

$$Q_{\text{ч.мин.}} = K_{\text{ч.мин.}} Q_{\text{сут.мин.}}/24, \quad (1.20)$$

где $K_{\text{ч.мах.}}$ и $K_{\text{ч.мин.}}$ - максимальный и минимальный коэффициенты часовой неравномерности.

Расчетные секундные расходы воды q , л/с, определяют для каждого потребителя в отдельности в час максимального (минимального) водопотребления по формуле

$$q = \frac{1000Q_{\text{ч.}}}{60t}, \quad (1.21)$$

где $Q_{\text{ч}}$ - часовой расход воды данным потребителем в час максимального (минимального) водопотребления, м³/ч.;
 t - время расходования воды в течение часа, мин.

2. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Общие сведения о системах водоснабжения

Системы железнодорожного водоснабжения представляют собой комплекс инженерных сооружений, предназначенных для природной воды, очистки, хранения и подачи ее на хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные нужды железнодорожных станций и населенных пунктов при них.

В качестве источников железнодорожного водоснабжения используются открытые водоемы или подземные грунтовые и артезианские воды.

В состав системы водоснабжения входят следующие основные водопроводные сооружения:

водозаборные сооружения, при помощи которых осуществляется прием воды из источников. Из природных поверхностных источников забор воды осуществляется береговыми или русловыми водоприемниками, из подземных - водозаборными скважинами;

насосные станции, подающие воду по трубам на очистные сооружения и к месту водопотребления. Из источника водоснабжения вода, как правило, перекачивается на очистные сооружения насосной станцией I подъема, а после очистки подается водопотребителям насосной станцией II подъема;

очистные сооружения, предназначенные для очистки воды;

резервуары чистой воды, в которых осуществляется регулирование неравномерности режима работы насосных станций I и II подъемов, а также хранение аварийных и противопожарных объемов воды;

напорные водоводы и водопроводная сеть, служащие для транспортирования воды к местам ее потребления;

водонапорные башни или другие сооружения для хранения и аккумуляирования воды, предназначенные для сглаживания неравномерности водопотребления и подачи воды насосами, а также для создания необходимых напоров в водопроводной сети.

Общая схема системы водоснабжения железнодорожной станции из поверхностного источника (реки) показана на рис. 2.1.

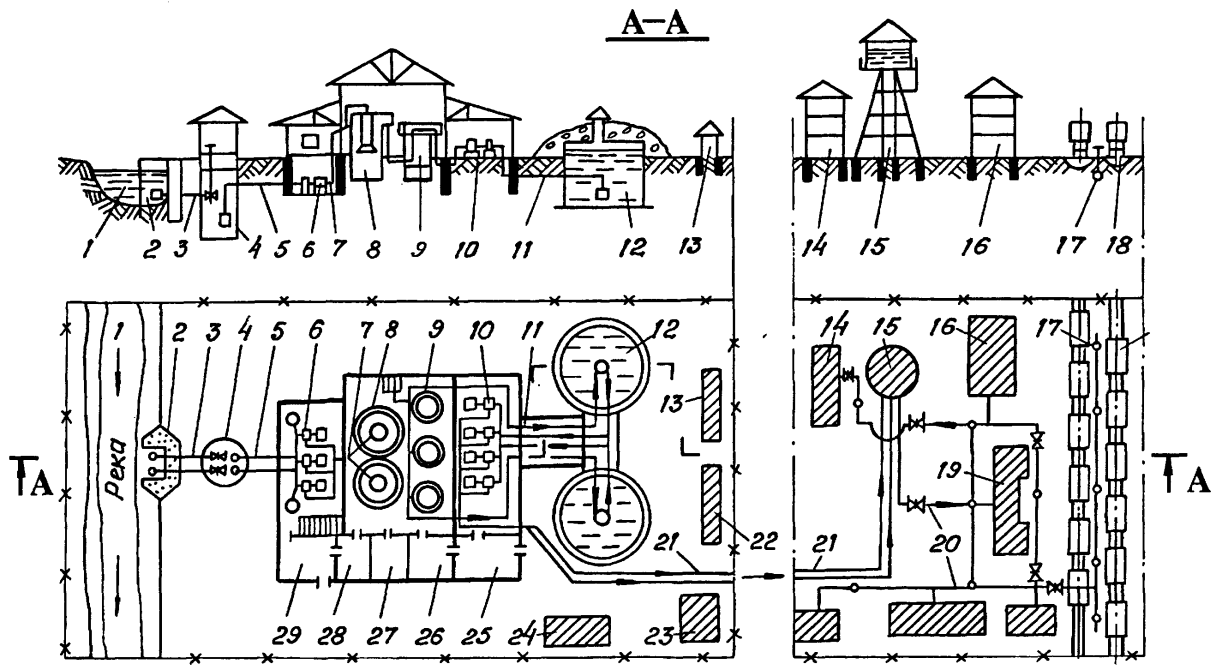


Рис. 2.1. Общая схема системы водоснабжения железнодорожной станции

Вода из реки 1 поступает в водоприемник 2, откуда по двум самотечным трубопроводам 3 стекает в береговой колодец 4. Из колодца вода забирается по всасывающим трубопроводам 5 насосами 6 станции первого подъема. Насосы подают воду на очистку по напорному трубопроводу 7 в отстойники 8 и на фильтры 9.

Одновременно во всасывающие трубопроводы подаются раствор хлора (из хлораторной установки, расположенной в помещении 29) и раствор коагулянта. Очищенная вода из фильтров по трубам 11 сливается в резервуары чистой воды 12.

Качество очищенной воды контролируют работники физико-химической 28 и бактериологической 27 лабораторий. Комната 26 служит для отдыха обслуживающего персонала, а 25 отведена для работы заведующего очистными сооружениями и работников снабжения.

Из резервуаров 12 очищенная вода забирается насосами 10 станции второго подъема и подается по двум напорным водоводам 21 в водонапорную башню 15 и в разводящую водопроводную сеть 20 железнодорожной станции и населенного пункта при ней. Эта вода идет для снабжения всех потребителей, в том числе для заправки пассажирских вагонов, обмывки локомотивов и грузовых вагонов, тушения пожаров, поливки улиц, садов и огородов в поселке.

На территории очистных сооружений устраивают склад 13 баллонов с хлором, склады для хранения топлива 23 и коагулянта 22, а также котельную 24.

В населенном пункте размещаются водонапорная башня 15, разводящая сеть 20, жилые 14 и промышленные 16 здания и сооружения, а на станции - пассажирское здание 19 и водоразборные устройства 17 для заправки водой поездов 18.

Основные нормативные требования, предъявляемые к системам водоснабжения, в том числе для железнодорожных станции и поселков при них, изложены в Строительных нормах и правилах "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения".

Системы водоснабжения классифицируют по ряду признаков.

По назначению системы водоснабжения делят на хозяйственно-питьевые, удовлетворяющие нужды населения, производственные, снабжающие водой

технологические процессы производства и противопожарные, обеспечивающие подачу необходимого объема воды под требуемым напором на тушение пожара.

По виду обслуживаемого объекта системы водоснабжения подразделяют на городские, поселковые, а также промышленные, железнодорожные, сельскохозяйственные и др.

В зависимости от используемых источников они подразделяются на системы, забирающие воду из поверхностных источников (рек, водохранилищ, озер) и подземных (артезианских, родниковых).

По способу подачи воды потребителям системы могут быть напорными и с подачей воды насосами и безнапорными (гравитационными), обеспечивающими естественную подачу воды потребителям.

По надежности подачи воды системы водоснабжения подразделяются на три категории:

I - допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30% расчетного расхода и на производственные нужды до предела, установленного аварийным графиком работы предприятий; длительность снижения подачи воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы, но не более чем на 10 мин.;

II - допускаемое снижение подачи воды то же, что и при I категории, длительность снижения подачи не должна превышать 10 суток. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов или проведения ремонта, но не более чем на 6 ч.;

III - допускаемое снижение подачи воды то же, что и при I категории: длительность снижения подачи не должна превышать 15 суток. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время проведения ремонта, но не более чем на 24 часа.

Категорию отдельных элементов систем водоснабжения необходимо устанавливать в зависимости от их функционального значения в общей системе водоснабжения. Элементы систем водоснабжения II категории, повреждения которых могут нарушить подачу воды на пожаротушение, должны относиться к I категории.

Системы водоснабжения могут обслуживать как один объект, например населенный пункт, железнодорожную станцию или промышленное предприятие, так и несколько объектов. Поэтому вода к потребителю может подаваться как по раздельным системам водоснабжения, так и по единой (объединенной) системе. В населенных пунктах, а также в городах, как правило, устраивают единую систему водоснабжения для хозяйственно-питьевых и противопожарных целей. Вода на технологические и противопожарные нужды предприятий в зависимости от требуемого качества и экономической целесообразности может быть получена как от объединенной системы водоснабжения, так и от раздельной. Отдельный противопожарный водопровод устраивают очень редко и, как правило, для наиболее пожароопасных объектов - предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, складов нефти и нефтепродуктов, лесобирж, хранения сжиженных газов и др.

По характеру использования воды системы водоснабжения могут быть прямыми, обратными и с повторным использованием воды. В прямых системах вода после использования в технологическом цикле сбрасывается в водоем. Обратные системы, как правило, применяют на промышленных предприятиях и представляют собой систему в которой вода, участвующая в технологическом процессе, не сбрасывается в водоем, а после обработки возвращается в производственный цикл. Потери воды, имеющие место в производстве, восполняются из источника.

В системах повторного использования воды, свежая вода, пройдя технологический цикл на одном производстве, участвует в технологическом процессе следующего производства. При использовании такой системы необходимо, чтобы качество воды после использования на первом предприятии удовлетворяло требованиям технологического процесса второго производства или при необходимости требуется ее очистка или охлаждение.

Для снабжения водой отдельных участков железной дороги, расположенных в безводных районах применяют систему водоснабжения с п р о д о л ь н ы м и или с разветвленными г р у п п о в ы м и водопроводами.

Выбор системы водоснабжения зависит от многих факторов. Основными предпосылками к выбору схемы системы водоснабжения являются вид имеющегося источника, объемы водопотребления, размещение водопотребителей, санитарные требования и др.

2.2. Схемы водоснабжения железнодорожного транспорта

На железнодорожном транспорте наиболее часто используется объединенная (централизованная) система водоснабжения, при которой поездные, технологические, хозяйственно-питьевые и противопожарные нужды обеспечиваются из одного источника и общей системой технологических сооружений водоснабжения.

Схема водоснабжения железнодорожной станции из открытого источника (реки) приведена на рис. 2.1.

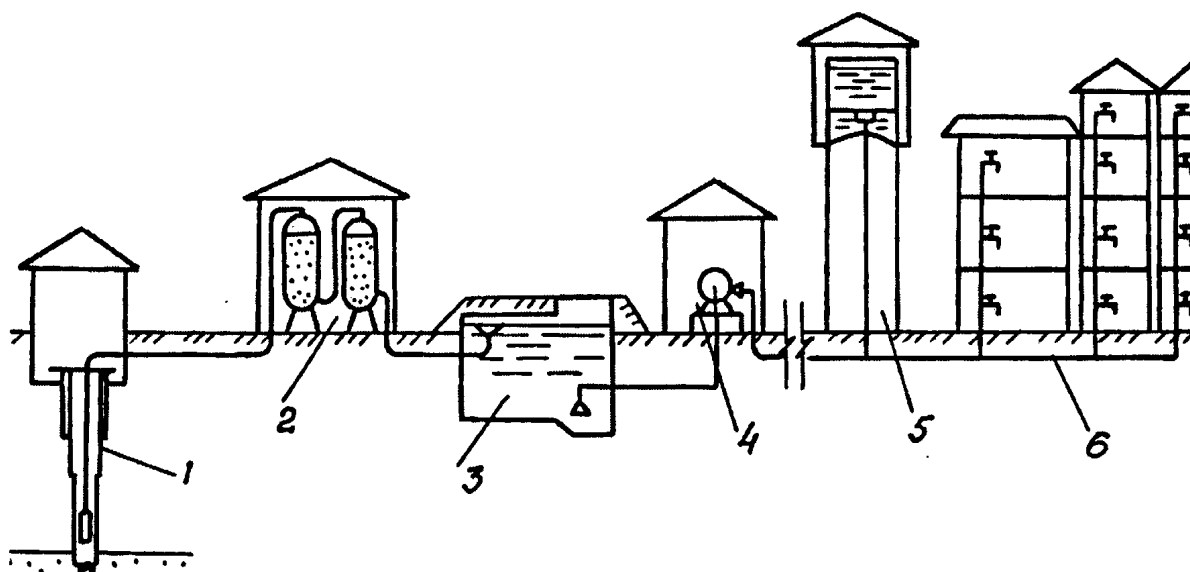


Схема водоснабжения с забором воды из подземных источников представлена на рис. 2.2, где указаны все сооружения, входящие в нее. Рис. 2.2. Схема водоснабжения с забором воды из подземного источника:

1 – артезианская скважина с насосом; 2 – водоочистная станция; 3 - резервуар чистой воды; 4 - насосная станция второго подъема; 5 - водонапорная башня; 6 – водопроводная сеть

Воду из подземных источников берут обычно из нескольких скважин, внутрь которых опускают погружные электронасосы. Из скважин воду подают на очистку, так как подземные воды очень часто содержат примеси железа, солей жесткости или других соединений в количествах, превышающих допустимые нормы. После очистки вода

сливается в резервуары чистой воды. Для перекачки воды из резервуаров в водонапорную башню железнодорожной станции служит насосная станция второго подъема.

Устройство остальной части водопровода на территории железнодорожной станции примерно такое же, как в схеме 2.1. В пунктах с небольшим потреблением воды и наличием надежного подземного источника надобность в устройстве резервуаров чистой воды и насосной станции второго подъема отпадает. В этих случаях из каждой скважины воду подают электронасосами через напорные фильтры в водонапорную башню и в сеть.

Схема водоснабжения с продольными водопроводами. Продольные водопроводы устраивают для снабжения водой отдельных участков железной дороги, расположенных в безводных районах. На рис. 2.3 приведены план и разрез продольного водопровода. С помощью берегового водозабора вода после очистки насосной станцией второго подъема подается по продольному водопроводу, проложенному параллельно железной дороге, к трем железнодорожным станциям. На каждой железнодорожной станции предусмотрены резервуары-наполнители чистой воды, насосная станция и водонапорная башня, обеспечивающие необходимые расчетные расходы и напоры в сети.

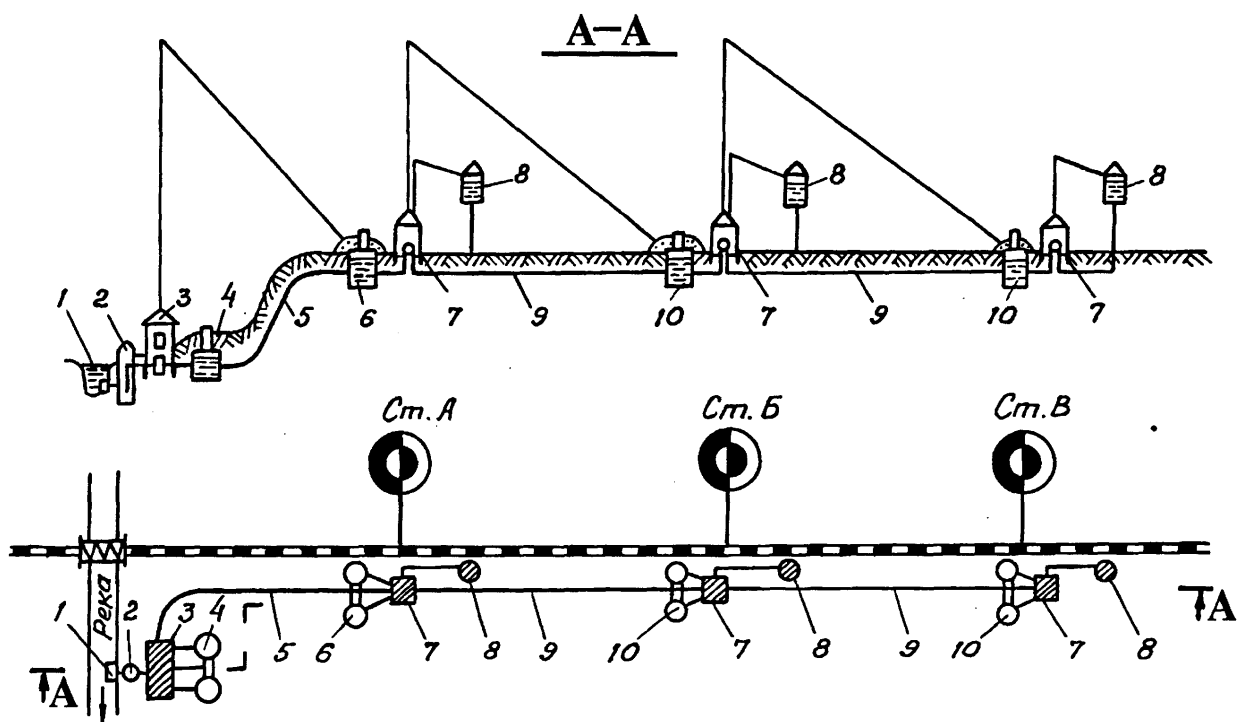


Рис. 2.3. Схема водоснабжения с продольными водопроводами:

1 – водоприемник; 2 – береговой колодец; 3 - насосные станции первого и второго подъемов, совмещенные с очистными сооружениями; 4 - резервуары чистой воды; 5, 9 – напорные трубопроводы; 6, 10 – резервуары-накопители станций; 7 - линейные насосные станции; 8 - водонапорные башни

Схемы водоснабжения с групповыми водопроводами (рис. 2.4) применяют в маловодных районах для подачи воды по трубам в несколько центров обводнения (железнодорожные станции, населенные пункты, фермы, полевые станы, совхозы, колхозы, пастбища и другие объекты).

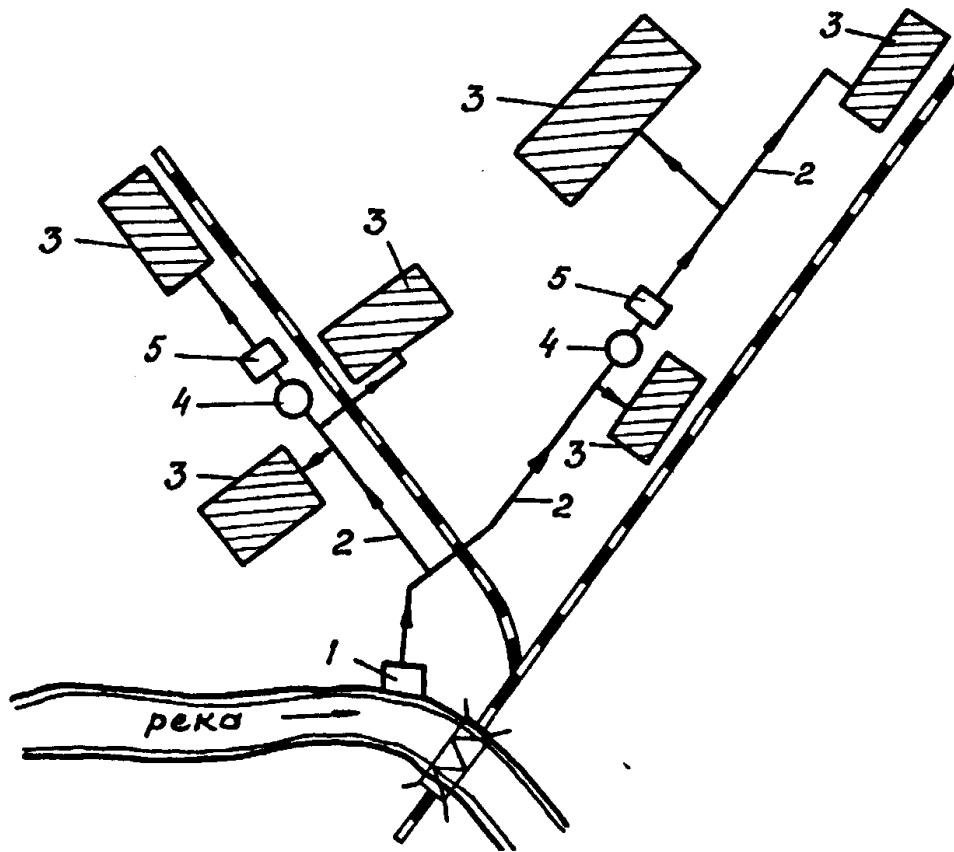


Рис. 2.4. Схема водоснабжения с групповыми водопроводами: 1 - головные водопроводные сооружения; 2 - напорные трубопроводы; 3 – объекты водоснабжения; 4 - резервуары-накопители чистой воды; 5 - насосные станции

Для этой схемы характерна большая протяженность водоводов, которая иногда достигает сотен километров. В состав групповых водопроводов входят ряд насосных станций и резервуаров - накопителей чистой воды, а также мощные очистные сооружения. С целью бесперебойного снабжения водой потребителей в случае аварии на магистральных водоводах на территории объектов помимо водонапорных башен устраивают резервуары. В них содержится аварийный запас воды, который может быть подан в сеть насосной станцией, расположенной рядом с резервуаром.

С х е м ы м е с т н о г о в о д о с н а б ж е н и я применяют для снабжения водой отдельных зданий или малочисленных групп населения, в этой схеме обычно используют подземные источники с забором воды из водозаборных скважин, горизонтальных водосборов или шахтных колодцев. Для подъема воды и подачи ее потребителям применяют автоматически действующую безбашенную установку с воздушно-водяным баком, вибрационные насосы типа НЭБ или электромагнитные вибрационные подъемники ВПУ-1. На рис.2.5 приведена схема местного водоснабжения отдельного здания с забором воды из шахтного колодца.

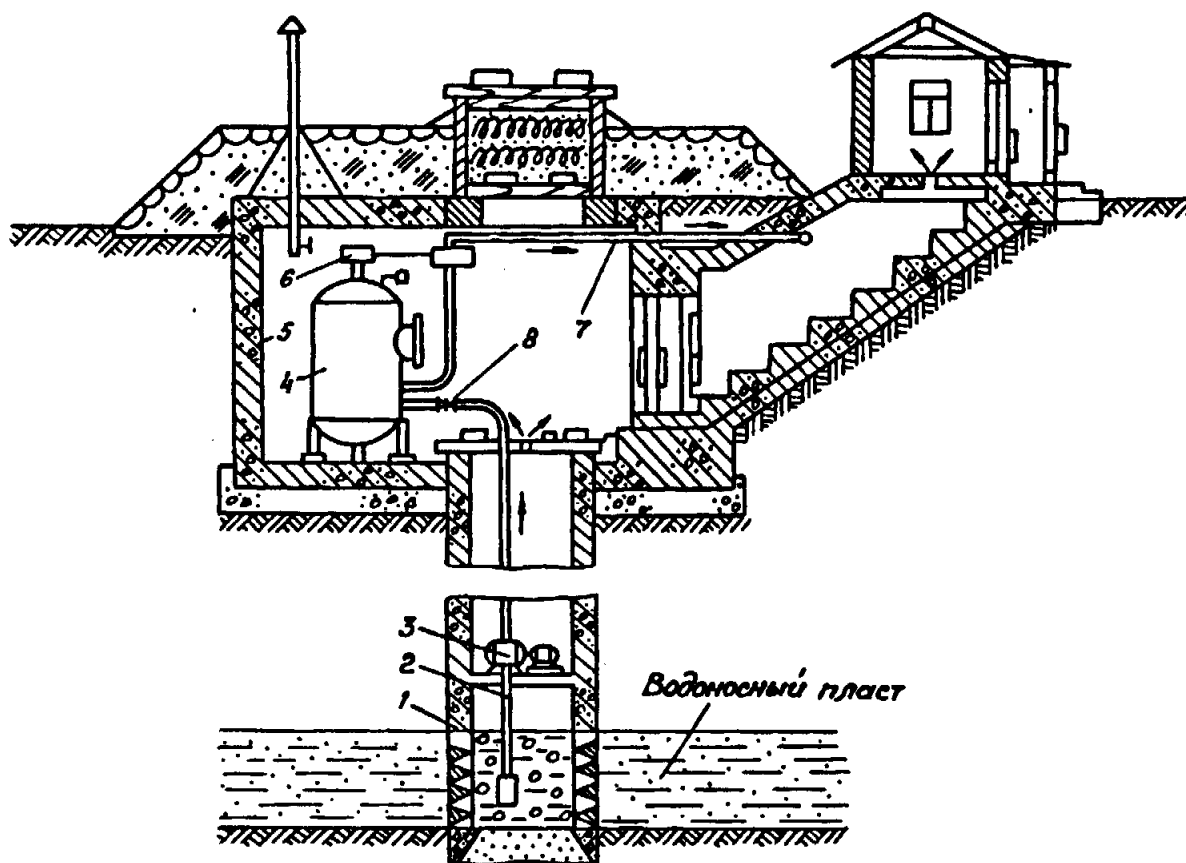


Рис. 2.5. Схема местного водоснабжения:

1 - шахтный колодец; 2 - всасывающая труба насоса; 3 - насос; 4 - воздушно-водяной бак; 5 - подземная камера; 6 - реле давления; 7 - напорно-разводящий трубопровод; 8 - напорная труба

Схемы привозного водоснабжения применяют в пунктах, где отсутствуют местные источники водоснабжения, а также в период строительства железной дороги в безводном районе. В этом случае воду подвозят в специальных металлических цистернах, а составы, оборудованные для подвоза воды находятся на особом учете. При этом вагон состава, помеченный трафаретом "Водяной состав", не может использоваться для других целей. Привозную воду сливают по трубе в подземные металлические резервуары, расположенные возле железнодорожного пути, из которых она подается в общую систему водоснабжения. Водяной поезд состоит из 8-10 цистерн вместимостью до 60 м³ каждая и классного вагона для обслуживающего персонала. Цистерны оборудуют патрубками с задвижками и соединительными шлангами.

Доставка и выдача воды потребителям таким способом неизбежно связана с ограничением норм водопотребления, опасностью загрязнения воды и большими расходами денежных средств и рабочей силы. Поэтому привозное водоснабжение допускается только как временная мера на период строительства водопроводов и при этом обязательно соблюдение следующих правил: хлорирование воды в резервуарах, кипячение ее потребителями перед употреблением для хозяйственно-питьевых нужд, организация санитарного надзора и периодического инструктажа всех потребителей.

Схема производственного водоснабжения применяется для промышленных предприятий и может быть прямоточной, с повторным использованием воды и оборотной. Выбор схемы производственного водоснабжения железнодорожных предприятий зависит от характера производства, мощности и местоположения водоисточника, требований к качеству воды и других показателей. На рис. 2.6 приведены возможные схемы производственного водоснабжения. Прямоточная система (рис. 2.6, а) предусматривает забор воды для производственных целей из водоисточника насосной станцией и подачу ее в полном объеме по водопроводной сети. После использования в технологическом цикле вода сбрасывается в водоем после соответствующей очистки.

Схема с повторным использованием воды (рис. 2.6, б) предусматривает последовательное использование воды несколькими потребителями, после чего происходит ее сброс в канализационную сеть для обработки в очистных сооружениях.

При оборотном водоснабжении (рис. 2.6, в) вода, участвующая в технологическом процессе, не сбрасывается в водоем, а после обработки вновь возвращается в производственный цикл. Пополнение потерь воды (3-5 % - испарение, утечки) в оборотный цикл восполняются из источника.

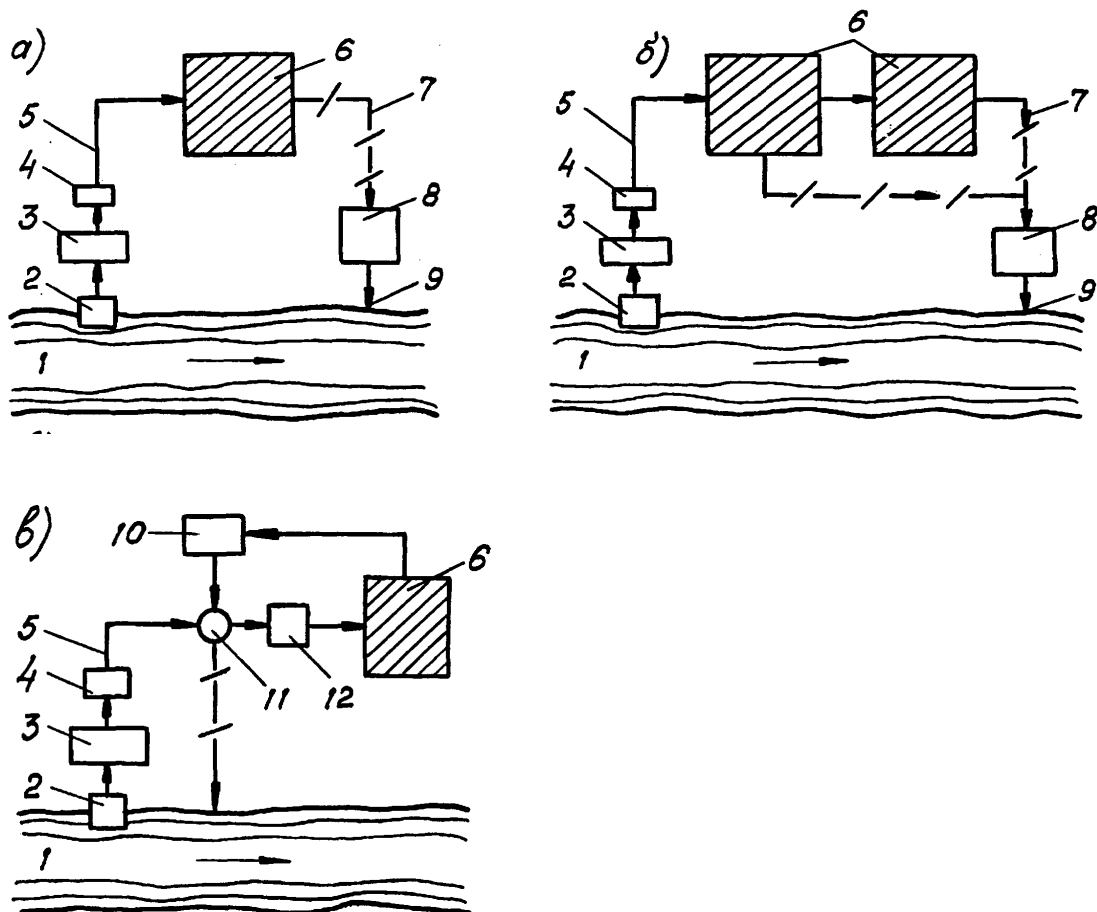


Рис. 2.6. Схемы производственного водоснабжения:

а – прямоточная; б – с повторным использованием воды; в – оборотная; 1 - река; 2 - водозаборные сооружения; 3 - очистные сооружения; 4 - насосная станция II подъема; 5 – водоводы; 6 – промышленное предприятие; 7 - сброс отработавшей воды; 8 - станция очистки сточных вод; 9 - сброс воды в реку; 10 - водоохлаждающее устройство, 11 – сборная камера; 12 – насосная станция оборотной воды

2.3. Взаимосвязь в работе отдельных сооружений системы водоснабжения

Взаимосвязь в работе отдельных сооружений системы водоснабжения можно проследить по совмещенным графикам водопотребления и подачи воды насосными станциями первого и второго подъемов (рис.2.7).

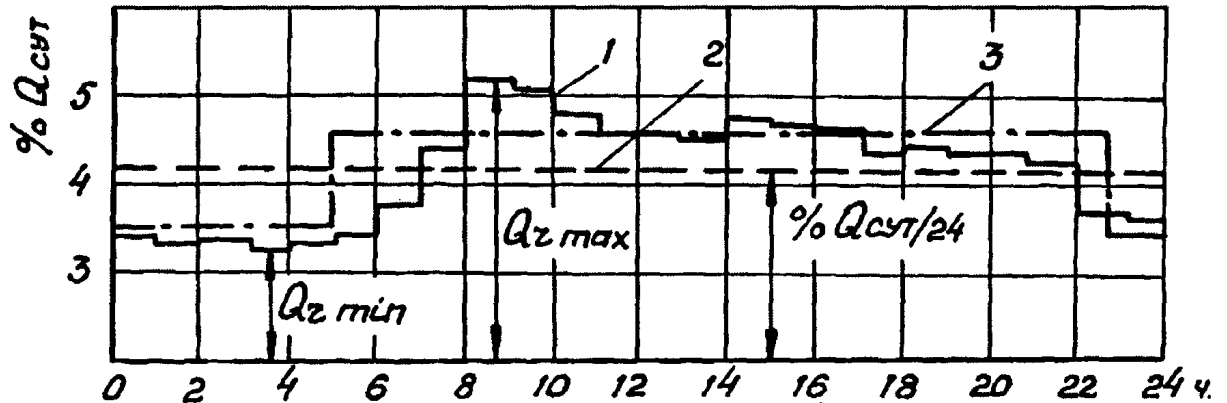


Рис. 2.7. Совмещенные графики водопотребления и подачи воды насосными станциями I и II подъемов:

1 - график водопотребления; 2 и 3 - графики работы насосных станций I и II подъемов

Водозаборные сооружения, насосная станция I подъема и очистные сооружения обеспечивают подачу воды в объеме суточного водопотребления. Поэтому режим работы этих сооружений, в основном, принимают равномерным в течение суток. При этом режиме (пунктирная линия 2 на рис.2.7) обеспечиваются наиболее эффективные и экономичные показатели работы указанных сооружений.

В водопроводную сеть вода подается из резервуаров чистой воды насосной станцией II подъема, режим работы которой как правило, принимается ступенчатым (линия 3 на рис. 2.7) в течение суток. При этом режиме в часы максимального водопотребления насосная станция II подъема подает меньший объем воды по сравнению с требуемым. В часы минимального водопотребления подача насосной станции II подъема превышает потребление воды. Совмещением графика водопотребления (линия 1 на рис. 2.7) с графиком подачи насосной станции II подъема определяют регулируемую емкость водонапорной башни. Объем регулирующей емкости будет тем меньше, чем ближе график работы насосной станции II подъема к графику водопотребления.

В резервуары чистой воды вода поступает через очистные сооружения от насосной станции I подъема, работающей равномерно. Из резервуаров вода забирается насосами станции II подъема. Режимы работы насосных станций I и II подъемов определяют регулируемую емкость резервуаров чистой воды.

Режим работы трубопроводов от водозаборных сооружений на очистные сооружения и резервуары чистой воды, определяется равномерным режимом работы насосной станции I подъема, а режим работы трубопроводов, подающих воду от резервуаров чистой воды до водонапорной башни - насосной станции II подъема.

Регим работы водопроводной сети определяется графиком водопотребления, а водопроводную сеть рассчитывают на максимальный секундный расход максимального часового водопотребления.

К системам водоснабжения предъявляются также определенные требования в отношении напоров, которые должны быть обеспечены в точках отборов. Потребители забирают воду из сети через водоразборные приборы, расположенные на некоторой высоте над поверхностью земли. Поэтому в водопроводной сети необходимо обеспечить такой напор, который будет достаточным для подъема воды до наивысшей водозаборной точки, излива воды из прибора и преодоления всех сопротивлений на пути движения воды от магистрали до точки излива. Этот напор называется свободным напором и измеряется в метрах от поверхности земли (над землей).

Для объектов водоснабжения при одноэтажной застройке минимальный напор в сети при хозяйственно-питьевом водопотреблении на вводе в здание должен приниматься в соответствии со СНиП 2.04.02-84 не менее 10 м, при большей этажности на каждый последующий этаж следует добавлять 4 м. В часы минимального водопотребления напор допускается принимать равным 3 м на каждый этаж, кроме первого.

Для производственных зданий величина свободного напора принимается в зависимости от технологии производства.

Свободный напор в сети противопожарного водопровода низкого давления в период пожаротушения должен быть не менее 10 м.

Для предупреждения аварий на водопроводной сети и уменьшения утечек воды из нее нельзя допускать, чтобы свободный напор был более 60 м; в противном случае необходимо предусматривать установку регуляторов давления или устраивать зонное водоснабжение.

На рис.2.8. показана связь между напорами в различных точках схемы водоснабжения с башней в начале сети на момент максимального водопотребления. Она определяется положением пьезометрических линий, которые отражают падение напора в сети при движении воды от насосной станции II подъема до "диктующей" точки. Обычно диктующей точкой является наиболее удаленная от башни точка отбора воды, имеющая наибольшую геодезическую отметку земли. В такой точке будут самые низкие пьезометрические напоры и самые малые свободные напоры.

Связь между напорами в точке расположения водонапорной башни и в диктующей точке определяется уравнением

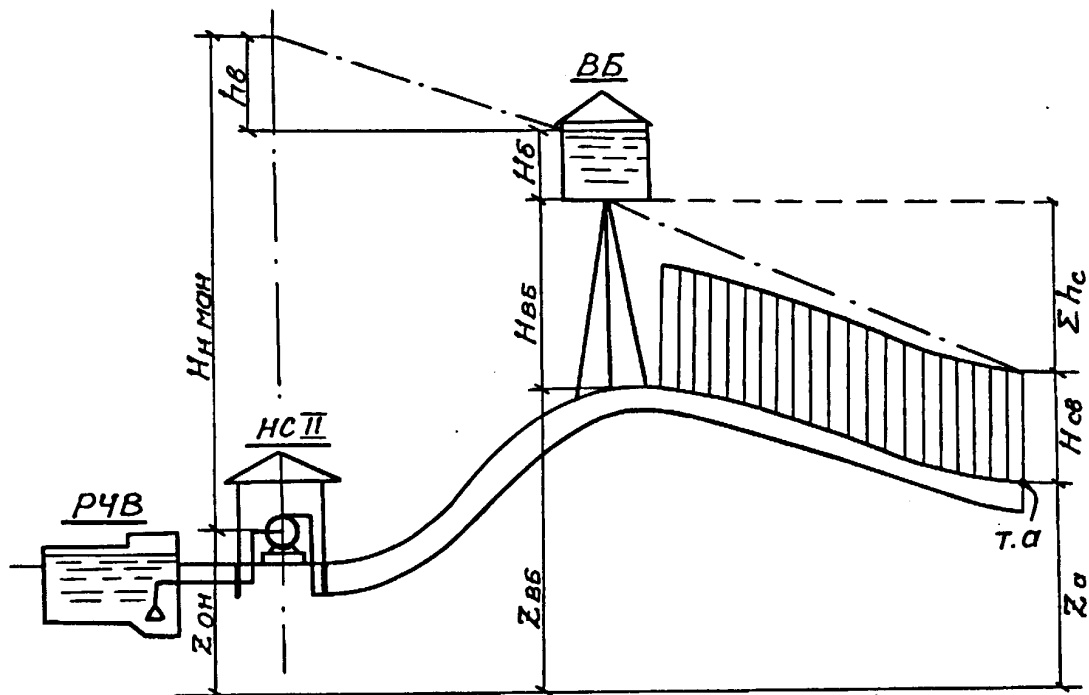


Рис. 2.8. Схема взаимосвязи между напорами в системе водоснабжения с водонапорной башней в начале сети

$$Z_{ВБ} + H_{ВБ} = Z_a + H_{св} + \sum h_c, \quad (2.1)$$

- где
- $Z_{ВБ}$ - отметка поверхности земли в месте расположения водонапорной башни;
 - $H_{ВБ}$ - высота водонапорной башни;
 - Z_a - отметка поверхности земли в диктующей точке;
 - $H_{св}$ - величина требуемого свободного напора в диктующей точке;
 - $\sum h_c$ - потери напора на участках сети от водонапорной башни до диктующей точки

Из приведенного уравнения можно определить высоту водонапорной башни

$$H_{ВБ} = H_{св} + \sum h_c - (Z_{ВБ} - Z_a). \quad (2.2)$$

Высота $H_{ВБ}$ будет тем меньше, чем больше значение $Z_{ВБ}$. Поэтому располагать водонапорные башни следует на наиболее возвышенных отметках.

Требуемый манометрический напор насосов $H_{н.ман.}$ станции II подъема определяется по максимальному уровню воды в баке водонапорной башни.

$$H_{н.ман.} = (Z_{ОН} - Z_{ВБ}) + (H_{ВБ} + H_B) + h_B, \quad (2.3)$$

- где
- $Z_{ОН}$ - отметка оси насоса;
 - H_B - расчетная высота бака водопроводной башни;
 - h_B - потеря напора в напорных водоводах.

В реальных условиях очень часто бывает так, что возвышенные отметки снабжаемой водой территории находятся в противоположной от насосной станции стороне. В этом случае система водоснабжения с водонапорной башней установленной на этих отметках называется системой с контррезервуаром. Режим работы такой системы имеет существенное отличие от выше рассмотренной. Вопросы работы систем водоснабжения с контррезервуаром, а также взаимосвязи в работе сооружений системы водоснабжения при подаче воды на пожаротушение подробно рассматриваются в [13].

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

3.1. Схемы водопроводных сетей и правила их трассирования

Водопроводные сети предназначены для транспортирования воды к потребителям. По своему начертанию водопроводные сети бывают разветвленные или тупиковые (рис.3.1, а) и кольцевые (рис. 3,1, б). Конфигурация сети зависит от планирования снабжаемого водой объекта, размещения на его территории отдельных водопотребителей, рельефа местности, места расположения используемых источников водоснабжения, наличия естественных и искусственных препятствий.

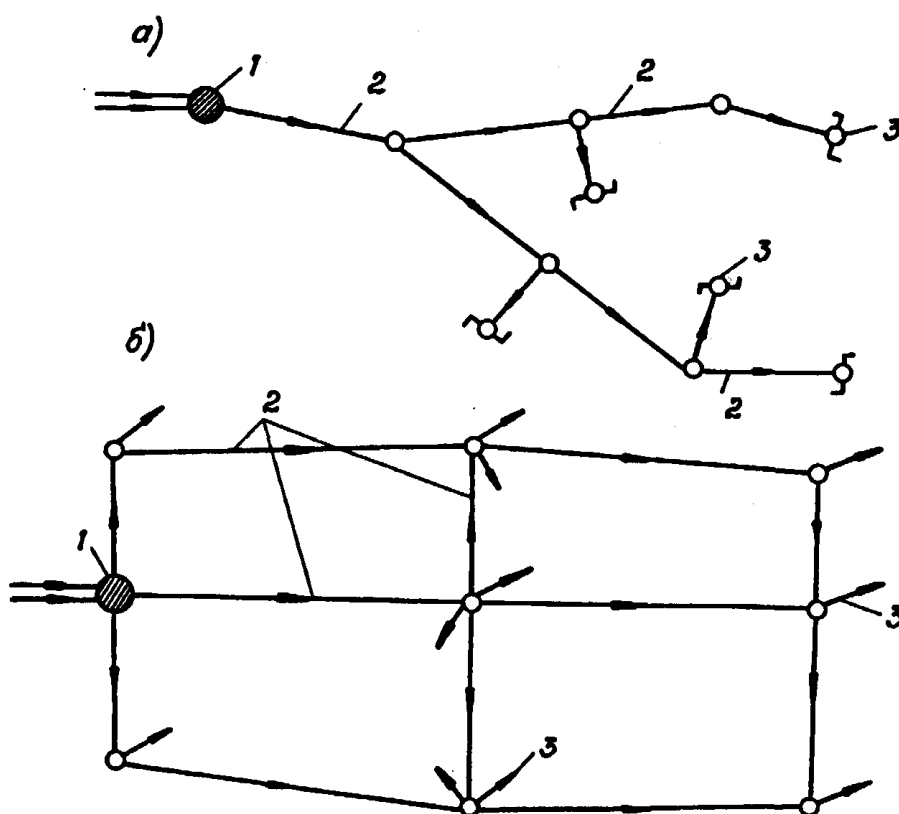


Рис. 3.1. Схемы начертания водопроводных сетей:

а - тупиковая; б - кольцевая; 1 - водонапорная башня; 2 - магистральная сеть; 3 - водопотребители

Тупиковые сети допускают транспортирование воды к потребителю по

единственному направлению. Поэтому такие сети не обеспечивают бесперебойности, так как авария на любом участке этой сети приводит к прекращению подачи воды всем потребителям, расположенным ниже места аварии по направлению движения воды. Кольцевые сети в отличие от тупиковых имеют более высокую надежность. Благодаря наличию параллельно работающих магистралей в этих сетях авария на любом участке не вызывает прекращения подачи воды всем потребителям, кроме питающихся непосредственно от поврежденного участка.

Водопроводную сеть следует проектировать кольцевой, тупиковые линии разрешается устраивать в хозяйственно-питьевых водопроводах при диаметре труб не более 100 мм, в противопожарных водопроводах при длине линии до 200 м и производственных водопроводах при допустимости перерыва в водоснабжении на время ликвидации аварии.

В зависимости от взаимного расположения насосной станции, водонапорной башни и разводящей сети различают схемы с водонапорной башней: в начале сети (рис. 3.2, а), внутри сети (рис. 3.2, б) и на противоположном конце сети (сеть с контррезервуаром, рис. 3.2, в).

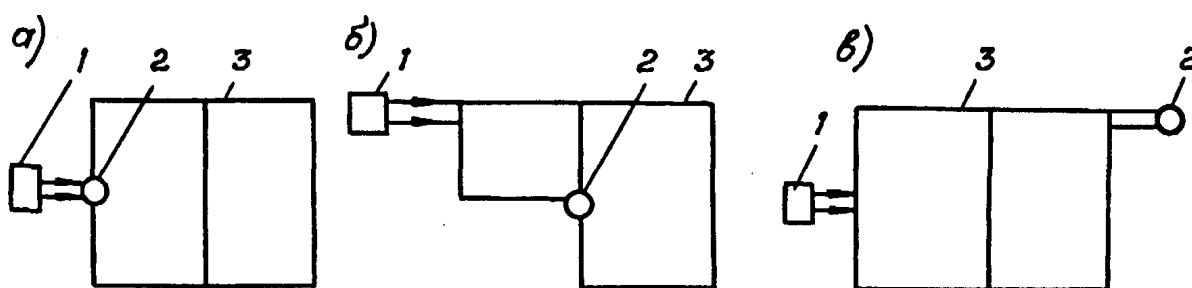


Рис. 3.2. Схемы питания водопроводных сетей с водонапорной башней: а - в начале сети; б - внутри сети; в - в конце сети (с контррезервуаром); 1 – насосная станция; 2 - водонапорная башня; 3 - разводящая сеть

Водопроводная сеть состоит из магистральных и распределительных линий. Магистральными называют линии, которые предназначены в основном для распределения воды по всей территории населенного пункта. Распределительными называют линии, которые получают воду из магистральных линий и подают ее к потребителям через центральные пункты или домовые вводы.

В практике проектирования гидравлическому расчету подвергают, как правило, только сеть магистральных линий, а диаметры распределительных линий хозяйственно-противопожарного водопровода принимают не менее 100 мм и диктуются эти размеры расходом воды на пожаротушение. В крупных городах подача пожарного расхода требует увеличения диаметра труб распределительной сети до 150 мм, а иногда и до 200 мм.

При проектировании магистральной сети следует руководствоваться следующими принципами ее трассировки:

1. Основное направление магистральных линий должно соответствовать основным направлениям потоков воды по территории снабжаемого объекта
2. По основному направлению должно быть предусмотрено несколько магистральных линий, включенных параллельно и обеспечивающих бесперебойность работы сети, продольные магистрали необходимо соединить перемычками, которые позволяют в случае аварии выключить не всю магистраль, а только отдельные ее участки.

Опыт проектирования магистральных сетей показывает, что оптимальное расстояние между магистральными линиями составляет 300-600 м. Соответственно расстояние между перемычками принимается равным 400-800 м. Диаметры труб перемычек должны назначаться с учетом работы их при аварии на магистральной линии. Обычно диаметр труб перемычки назначается на один-два размера меньше, чем диаметр магистральной линии.

3. Магистральная сеть должна охватывать наиболее крупных потребителей воды и располагаться равномерно по всей территории снабжаемого водой объекта.

4. Магистральные линии рекомендуется прокладывать по наиболее возвышенным отметкам территории для создания достаточных напоров в распределительной сети.

5. Пересечение железнодорожных путей трубопроводами следует осуществлять под прямым углом.

6. Водопроводные линии, идущие вдоль станционных путей, необходимо прокладывать в стороне от них с учетом возможного развития станции; в междупутьях разрешается укладывать только магистрали, проводящие воду к водозаборным кранам.

7. Трассирование магистральных линий необходимо увязывать с размещением других сетей и сооружений населенного пункта с соблюдением минимальных расстояний от наружной поверхности трубопровода до различных подземных коммуникаций в плане, м:

обрез фундамента здания	5
крайний рельс трамвайных путей	2
газопровод	1-2
столбы наружного освещения и ограды	1,5
стволы деревьев и бордюрные камни дорог	2
кабели связи	0,5

канализационные линии при диаметре труб, мм:

≤ 200, не менее	1,5
> 200, не менее	3

Трассирование напорных водоводов осуществляют, как правило, в две линии с устройством между ними переключений, позволяющих выключать отдельные участки во время аварии.

Водонапорные сооружения (башни, колонны, напорные резервуары) следует располагать на наиболее высоких отметках местности в непосредственной близости к водопроводной сети.

3.2. Отбор воды из водопроводной сети. Составление расчетной схемы сети

Отбор воды из сети осуществляется через вводы в здания (домовые присоединения). Потребители забирают воду на свои различные нужды в основном через водоразборные краны внутренних водопроводов зданий. Водопроводные вводы зданий присоединяют к водопроводным линиям, прокладываемым практически по всем улицам. Эти уличные линии присоединяют к магистральной сети и таким образом образуют распределительную водопроводную сеть населенного пункта. Количество воды, поступающей к потребителю через каждый ввод зависит от многих факторов (числа жителей, образа их жизни и т.д.) и имеет значительные колебания в течение суток. Поэтому картина отбора воды из сети весьма сложна и установить ее в полном объеме практически невозможно. Вместе с тем для практического расчета сети можно установить наиболее близкую к действительности схему отдачи воды сетью в отдельные периоды ее работы.

Для этого всю магистральную сеть разбивают на расчетные участки, границы которых являются узлами. Узлы сети намечают в точках отбора воды крупными потребителями, в местах устройства пересечений и ответвлений магистралей, в точках примыкания напорных водоводов и водонапорной башни.

В производственных водопроводах при относительно небольшом числе точек водоотбора из сети расчетная схема водоотдачи полностью соответствует действительной. В такой схеме расход воды на любом из участков сети складывается из отбора воды в конечной точке этого участка и транзитного расхода, проходящего по данному участку к далее расположенным потребителям.

В хозяйственно-питьевых водопроводах населенных пунктов точек водоотбора много, а колебания его в течение суток значительны. Поэтому для практических расчетов принимают упрощенную схему, допуская условно равномерное расходование воды по длине сети, т.е. принимая, что количество воды, отдаваемое каждым участком, пропорционально его длине (при одинаковой плотности застройки и одинаковой норме водопотребления). При этом расходы воды отдельными крупными потребителями вычитаются из общего количества отдаваемой воды из сети и учитываются в виде сосредоточенных отборов в соответствующих точках сети.

Отбор воды, приходящийся на единицу длины сети, называют удельным расходом и определяют по формуле

$$q_{уд} = \frac{Q - \sum Q_{соср}}{\sum l}, \quad (3.1)$$

где Q - полный расчетный расход воды, отбираемый потребителями, л/с;
 $\sum Q_{соср}$ - сумма сосредоточенных расходов воды, отбираемой крупными потребителями и противопожарные расходы, л/с;
 $\sum l$ - суммарная длина магистральной сети, м.

В величину $\sum l$ включают длины участков магистральных линий только населенного пункта, причем для участков с двусторонней отдачей воды сетью учитывают действительную их длину, а длину участков с односторонней отдачей воды принимают с коэффициентом 0,5. В величину $\sum l$ не должны включаться длины нерасчитываемых распределительных линии и линий, проходящих по незастроенным территориям.

Расход воды определенным участком, называемым п у т е в ы м р а с - х о д о м , определяют по формуле

$$Q_{пут} = q_{уд} l, \quad (3.2)$$

где l - расчетная длина рассматриваемого участка, м.

Путевые расходы воды на отдельных участках заменяют собой большое число мелких водоразборных точек.

Каждый участок сети, кроме путевого расхода $Q_{пут.}$, пропускает транзитный расход $Q_{тр.}$, идущий для питания последующих участков. При этом расход воды в начале участка составляет величину $Q_{пут.} + Q_{тр.}$, а в конце участка - $Q_{тр.}$. Графическое изображение этих расходов на участке длиной l показано на рис.3.3.

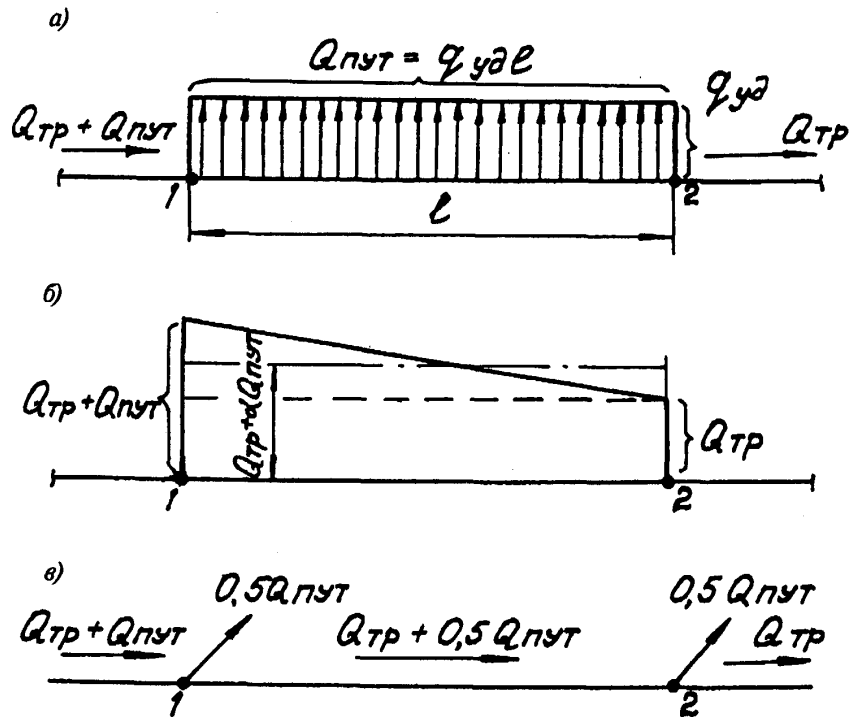


Рис 3.3. Распределение расходов по длине участка сети:
 а - схема отбора; б - график изменения расхода по длине участка; в - расчетная схема

При гидравлическом расчете водопроводных сетей переменный расход заменяют некоторым постоянным по длине участка расходом, который является равноценным в гидравлическом отношении и дает ту же величину потерь напора на участке, что и переменный. Расчетный расход Q_p участка, имеющего путевой расход $Q_{пут}$ и транзитный $Q_{тр}$, может быть вычислен по формуле Дюпюи

$$Q_p = Q_{тр} + \alpha Q_{пут}, \quad (3.3)$$

где α - коэффициент, меняющийся от 0,5 до 0,56, в зависимости от соотношения транзитного и путевого расходов участка.

В практике расчеты коэффициент α принимают равным 0,5, тогда

$$Q_p = Q_{тр} + 0,5 Q_{пут}, \quad (3.4)$$

что соответствует замене путевого расхода каждого участка двумя узловыми расходами, равными $0,5 Q_{пут}$, и сосредоточенными в начале и конце участка. Когда к узлу примыкает несколько участков с путевыми отборами, то приведенный к узлу отбор равен полусумме путевых расходов всех участков, примыкающих к данному узлу.

Вычисленные таким образом узловые расходы наносят на расчетную схему сети, показывая их стрелкой, выходящей из соответствующего узла, с указанием величины расхода в л/с. На этой же схеме указывают отдельно в соответствующих точках сосредоточенные расходы крупных водопотребителей и общий расход, подаваемый в сеть. При этом сумма всех узлов и сосредоточенных расходов должна равняться расчетному

секундному расходу сети, поступающему от башни.

По расчетной схеме сети можно легко определить расчетные расходы на участках, то есть составить предварительное потокораспределение. Нахождение расчетных расходов участков разветвленных сетей представляет собой простую задачу. В кольцевых же сетях при заданной конфигурации и известных величинах водоотборов в узлах можно наметить неограниченное число вариантов распределения расходов по участкам сети. Одним из основных условий предварительного потокораспределения в кольцевых сетях является соблюдение правила баланса расходов в узле (соответствующего первому правилу Кирхгофа). Это условие можно выразить уравнением $\sum Q = 0$. Это означает, что сумма линейных расходов, приходящихся к любому узлу, должна быть равна сумме расходов, уходящих от этого узла, включая узловой отбор.

Другим важнейшим условием предварительного потокораспределения в кольцевых сетях является удовлетворение требования надежности, состоящего в том, что параллельные магистрали должны быть взаимозаменяемыми при возможных авариях и иметь примерно равную пропускную способность. Для этого по параллельным магистралям следует направлять приблизительно равные расходы. Полученные таким образом расчетные расходы на участках показывают на расчетной схеме стрелкой, направленной по ходу течения воды.

3.3. Определение диаметров труб водопроводных линий

После определения расчетных расходов воды на каждом участке сети определяют диаметры труб, предварительно выбрав их материал и класс точности.

Определение диаметров труб производят по расчетным расходам участков Q_p , при этом за основной расчетный случай принимают - час наибольшего водопотребления или наибольшего транзита в башню (для сетей с контррезервуаром).

Для водопроводных труб круглого сечения $Q = \omega v = \pi d^2 v / 4$, откуда

$$d = \sqrt{4Q_p / \pi v}, \quad (3.5)$$

где ω площадь живого сечения трубы;
 d диаметр трубы;
 v скорость движения воды.

Эта формула показывает, что диаметр труб зависит не только от расхода, но и от скорости. Чем меньше скорость v , тем больше будет диаметр труб, следовательно, будет завышена стоимость водопроводной сети. Чем больше скорость в трубах, тем будут большие потери напора на гидравлические сопротивления, что приводит к увеличению мощности оборудования насосных станций и затрат электроэнергии на подъем воды.

По условиям эксплуатации водопроводных сетей предельное значение скорости, определенное требованиями предохранения сети от разрушающего действия гидравлических ударов, принимают равным 2,5 - 3 м/с. Нижний предел скорости принимается из условия незаиляемости трубопроводов в пределах 0,5 - 0,6 м/с. Поэтому выбрать экономически наиболее целесообразный диаметр трубы можно только после сопоставления нескольких вариантов и сравнения строительной и эксплуатационной стоимостей.

В практике проектирования водопроводных сетей используют различные приближенные методы определения экономически наиболее выгодных диаметров труб. Наиболее простым из этих методов является метод - рассмотрение участка водопроводной сети как независимо работающей линии и тогда диаметр его труб определяется по формуле

$$d = \frac{1}{\mathcal{E}^{\alpha+m}} \frac{1+\beta}{Q_p^{\alpha+m}}, \quad (3.6)$$

а при квадратичном законе сопротивления, когда $\beta = 2$ по следующей формуле

$$d = \frac{1}{\mathcal{E}^{\alpha+m}} \cdot \frac{3}{Q_p^{\alpha+m}}, \quad (3.7)$$

где \mathcal{E} - экономический фактор, включающий экономические характеристики и показатели, а также некоторые гидравлические и режимные коэффициенты;
 α , m и β - показатели степеней в формулах стоимости трубопровода и гидравлического уклона, зависящие от материала труб.

Значения \mathcal{E} , α , m и β берутся из справочной литературы.

Определение экономических диаметров труб по формулам (3.6) и (3.7) представляет собой достаточно трудоемкую работу. Поэтому в практических расчетах подбор экономических диаметров труб водопроводных линий производят по таблицам предельных расходов в зависимости от значения экономического фактора и материала труб.

Под предельными расходами понимают граничные расходы, при которых данный стандартный диаметр будет более выгоден, чем другие. В таблицах Ф.А.Шевелева и А.Ф.Шевелева "Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб" приведены величины предельных расходов для различных труб при значениях экономического фактора \mathcal{E} , равных 0,5; 0,75 и 1. В этих же таблицах для каждого диаметра выделены рекомендуемые области применения при $\mathcal{E} = 0,75$. Для возможности пользования этими таблицами необходимо предварительно вычислить "приведенный" расход на каждом расчетном участке

$$Q_{пр} = Q_p \left(\mathcal{E} / \mathcal{E}_T \right)^{\frac{1}{1+\beta}} \approx Q_p \sqrt[3]{\mathcal{E} / \mathcal{E}_T}, \quad (3.8)$$

где Q_p - расчетный расход воды, протекающей по участку;
 \mathcal{E} - экономический фактор, определенный для конкретных условий строительства и эксплуатации;
 \mathcal{E}_T - экономический фактор, принятый при составлении таблиц предельных расходов.

3.4. Определение потерь напора в водопроводных линиях сети

Потери напора на трение в водопроводных трубах пропорциональны их длине и

зависят от диаметра труб, скорости течения воды, характера стенок труб и от области гидравлического режима их работы.

Основной формулой для определения потерь напора является формула Дарси-Вейсбаха

$$h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.9)$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления, зависящий от материала труб, степени шероховатости их стенок и диаметра;

l и d - длина и диаметр трубы;

v - скорость движения воды;

g - ускорение свободного падения.

При гидравлическом расчете водопроводных сетей для определения потерь напора в трубах широко используют, формулу

$$h = i l, \quad (3.10)$$

где i - гидравлический уклон, определяющий потерю напора на единицу длины трубопровода.

С учетом местных потерь напора в фасонных частях и арматуре, принимаемых 5-10 % величины потерь по длине, общие потери напора на участке составят

$$h = (1,05 \dots 1,1) i l. \quad (3.11)$$

Величину гидравлического уклона i определяют по различным формулам в зависимости от материала труб:

для неновых стальных и чугунных труб, работающих в квадратичной области при $v \geq 1,2$ м/с

$$i = 0,00107 \frac{v^2}{d^{1,3}}; \quad (3.12)$$

для неновых стальных и чугунных труб, работающих в переходной области при $v < 1,2$ м/с

$$i = 0,000912 \cdot \frac{v^2}{d^{1,3}} \cdot \left(1 + \frac{0,867}{v}\right)^{0,3}; \quad (3.13)$$

для пластмассовых труб

$$i = 0,000685 \frac{v^{1,774}}{d^{1,226}}; \quad (3.14)$$

для асбестоцементных труб

$$i = 0,000561 \cdot \frac{v^2}{d^{1,19}} \cdot \left(1 + \frac{3,51}{v}\right)^{0,19} ; \quad (3.15)$$

для железобетонных виброгидропрессованных труб

$$i = 0,001078 \frac{v^{1,85}}{d^{1,19}} ; \quad (3.16)$$

для железобетонных центрифугированных труб

$$i = 0,00095 \frac{v^{1,85}}{d^{1,19}} . \quad (3.17)$$

Для обеспечения процесса определения потерь напора в водопроводах широко используются различные вспомогательные таблицы. Они дают величины потерь напора на единицу длины (т.е. i или $1000 i$ - потерю на 1000 м длины) для всех стандартных диаметров труб различных типов в широком диапазоне расходов.

Структура таких таблиц (в том числе Ф.А.Шевелева и А.Ф.Шевелева) имеет вид:

Q, л/с	d, мм							
	d ₁		d ₂		d ₃		d ₄	
	v,	1000 i,	v,	1000 i,	v,	1000 i,	v,	1000 i,
	м/с	м	м/с	м	м/с	м	м/с	м

По этим таблицам, можно для заданного Q подобрать диаметр и определить величину потерь на 1 км и потерю, соответствующую заданной длине. Или имея заданную величину располагаемого напора H, м, и длину водопроводной линии l, км, найти $i = H/l$ и затем определить по таблицам требуемый диаметр при заданном расходе или возможный расход при принятом диаметре.

Вместе с тем при расчетах водопроводных сетей потерю напора удобно выражать через расчетный расход по формуле

$$h = K A l Q^2 = S Q^2, \quad (3.18)$$

где $A = i/Q^2$ - значение называется удельным сопротивлением труб; оно равно сопротивлению трубы длиной 1 м при расходе 1 м³/с. Значение A даются в таблицах Ф.А.Шевелева и А.Ф.Шевелева;

S - сопротивление участка трубы длиной l при расходе, равном единице, $S = A l$;

K - поправочный коэффициент, учитывающий неквадратичность зависимости потерь напора от средней скорости движения воды. Значения K также даются в таблицах Ф.А.Шевелева и А.Ф. Шевелева.

3.5. Теоретические основы и задачи гидравлического расчета водопроводных сетей

Гидравлический расчет водопроводных сетей производят для того, чтобы выбрать наиболее экономичные диаметры труб, а также определить потери напора в них, величину которых необходимо знать при расчетах водопроводных башен и насосных станций.

Для определения диаметров труб необходимо прежде всего установить для каждого расчетного участка трубопровода расчетный расход воды. Таким образом, задача расчета кольцевой сети сводится к определению расчетных расходов Q_p и диаметров d всех участков сети. Поэтому общее число неизвестных составляет $2 n_{уч}$, где $n_{уч}$ - число участков сети.

При гидравлическом расчете водопроводных сетей используют положение о том, что распределение воды по линиям сети происходит в соответствии с законами Кирхгофа. По первому закону Кирхгофа в каждом узле сети должен соблюдаться баланс расходов, т.е. сумма расходов, притекающих к узлу, равна сумме расходов уходящих от этого узла плюс расход в самом узле или, считая условно количество воды, приходящий к узлу, положительным, а уходящий, включая отдачу воды из узла, отрицательным, можно условие баланса расхода воды в каждом узле сети выразить уравнением

$$\sum Q = 0. \quad (3.19)$$

По второму закону Кирхгофа в каждом контуре сети алгебраическая сумма потерь напора должна быть равна нулю, т.е. должно соблюдаться условие

$$\sum h = 0. \quad (3.20)$$

При вычислении $\sum h$ потери напора на участках с направлением движения воды по часовой стрелке условно принимают положительным, а на участках с направлением движения воды против часовой стрелки - отрицательными.

Рассматривая геометрические свойства водопроводной сети, можно установить определенную связь между числом узлов $n_{узл.}$, участков $n_{уч.}$ и числом колец n_k .

$$n_k + n_{узл.} = n_{уч.} + 1 \quad (3.21)$$

или

$$n_{уч.} = n_k + n_{узл.} - 1$$

Это положение является следствием теоремы Эйлера о соотношении числа граней, вершин и ребер выпуклых многогранников и позволяет установить соотношение между числом уравнений I и II законов Кирхгофа при расчете водопроводных сетей и числом неизвестных.

Число уравнений типа (3.19) равно числу узлов без одного, т.е. $n_{узл.} - 1$ (для замыкающего узла это уравнение обращается в тождество); число уравнений типа (3.20) равно числу колец сети n_k .

Таким образом, число возможных уравнений для кольцевой сети $n_k + n_{узл.} - 1$ вдвое

меньше числа неизвестных $2n_{\text{уч.}}$. Для разветвленных сетей, не имеющих колец, число таких уравнений уменьшается до $n_{\text{узл.}} - 1$.

Поэтому для решения задачи гидравлического расчета водопроводной сети необходимо найти $n_{\text{уч.}}$ дополнительных условий, связывающих неизвестные, или задаться значениями $n_{\text{уч.}}$ неизвестных.

А. Гидравлический расчет разветвленной сети.

Разветвленные водопроводные сети рассчитывают как систему последовательно соединенных трубопроводов. Для этого прежде всего составляется расчетная схема сети (см. раздел 3.2), на которой в местах расположения водопотребителей указываются узловые расходы (рис.3.4). Расчет начинают с определения расходов воды на каждом из участков сети:

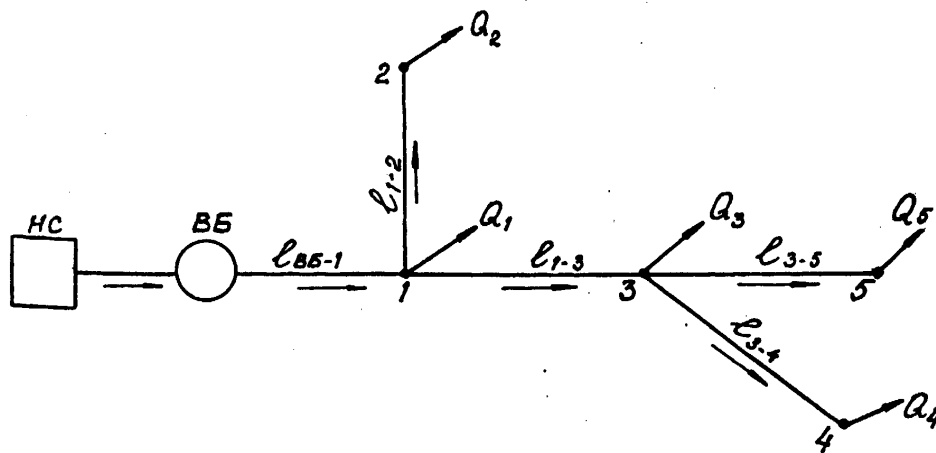


Рис. 3.4. Расчетная схема разветвленной сети

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ВБ}-1} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 ; \\
 Q_{1-2} &= Q_2 ; \\
 Q_{1-3} &= Q_3 + Q_4 + Q_5 ; \\
 Q_{3-4} &= Q_4 ; Q_{3-5} = Q_5 .
 \end{aligned}$$

Подсчитав расходы подбирают диаметры труб по технико-экономическим соображениям и определяют потери напора для каждого участка сети. При этом подбор диаметров и определение потерь напора начинают с основной магистрали сети. Потери напора по всей длине магистрали будут равны сумме потерь на отдельных участках. Для приведенной схемы основной магистралью будет ВБ-1-3-5 и потери напора по ее длине составят

$$h_{\text{ВБ}-5} = S_{\text{ВБ}-1} \cdot Q_{\text{ВБ}-1}^2 + S_{1-3} \cdot Q_{1-3}^2 + S_{3-5} \cdot Q_{3-5}^2 .$$

Для сильно разветвленных сетей иногда не сразу удастся определить основную магистраль. В этом случае рассматривают ряд вариантов. При этом основной магистралью является линия сети, при расчете которой в точке питания сети получается наибольший напор.

После определения потерь напора на расчетных участках сети основной магистрали вычисляют пьезометрические отметки во всех ее узлах, двигаясь против потока воды от конечной (диктующей) точки к точке питания сети.

Например, в узле 3 пьезометрическая отметка (м) будет

$$Z_3 = Z_5 + h_{3-5},$$

где Z_5 пьезометрическая отметка в узле 5;
 h_{3-5} потери напора на участке 3-5.

Следует отметить, что во всех точках разводящей сети в трубах должен быть обеспечен требуемый пьезометрический напор, величина которого определяется в зависимости от этажности зданий для населенного пункта или устанавливается по требованиям технологического процесса для промышленных предприятий.

После расчета основной магистральной линии приступают к расчету ответвлений. Для этого устанавливают допустимые гидравлические уклоны для каждого ответвления. Так, для ответвления 3-4 допустимый гидравлический уклон

$$i_{дон3-4} = \frac{Z_3 - Z_4}{l_{3-4}},$$

где l_{3-4} - длина расчетного участка 3-4, м.

Диаметры труб каждого ответвления определяют по допустимым для них гидравлическим уклонам.

Б. Гидравлический расчет кольцевой сети.

Расчет кольцевых сетей сложнее расчета разветвленных, так как искомые диаметры труб должны определяться по расчетным расходам воды, которые неизвестны, как неизвестно и направление потоков воды на участках сети; оно в свою очередь зависит от диаметра труб. Поэтому расчет кольцевых водопроводных сетей производится методом последовательного приближения.

Для этого по предварительно намеченным расчетным расходам воды на участках сети и выбранным диаметрам определяют потери напора h в линиях сети и алгебраическую сумму этих потерь $\sum h$ в каждом кольце. Но, как правило, при соблюдении условия первого закона Кирхгофа $\sum Q = 0$ не удовлетворяется условие второго закона Кирхгофа $\sum h = 0$, т.е. алгебраическая сумма потерь напора при замкнутом обходе кольца равна некоторой величине Δh , называемой *невязкой*. Это значит, что действительное (истинное) распределение расходов по линиям сети при выбранных диаметрах отличается от первоначально намеченного.

Для получения истинного распределения расходов воды по сети, при котором $\sum h = 0$, производят перераспределение ранее намеченных расходов, увеличив недогруженных линий и уменьшив на такую же величину расходы перегруженных линий; при этом условие баланса расходов в узлах не нарушается. Такое перераспределение осуществляют путем приведения увязочных расходов ΔQ по отдельным кольцам сети в направлении,

противоположном направлении невязок в кольце.

Рассмотрим сеть из двух колец, представленную на рис.3.5. Допустим, что после предварительного потокораспределения в обоих кольцах получены положительные невязки Δh , при этом предполагается квадратичная зависимость потерь напора от расхода, т.е.

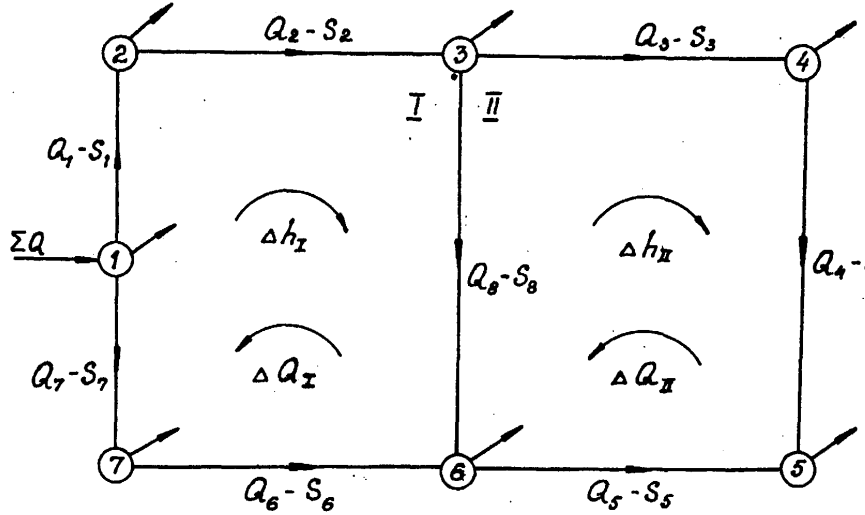


Рис. 3.5. Схема расчета двухкольцевой сети

$$\begin{aligned} S_1 Q_1^2 + S_2 Q_2^2 + S_8 Q_8^2 - S_6 Q_6^2 - S_7 Q_7^2 &= \Delta h_I \\ S_3 Q_3^2 + S_4 Q_4^2 - S_5 Q_5^2 - S_8 Q_8^2 &= \Delta h_{II} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Для уменьшения невязки Δh необходимо ввести поправочные расходы ΔQ , направленные против часовой стрелки. В результате введения ΔQ получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} S_1 (Q_1 - \Delta Q_I)^2 + S_2 (Q_2 - \Delta Q_I)^2 + S_8 (Q_8 - \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^2 - \\ - S_6 (Q_6 + \Delta Q_I)^2 - S_7 (Q_7 + \Delta Q_I)^2 &= 0; \\ S_3 (Q_3 - \Delta Q_{II})^2 + S_4 (Q_4 - \Delta Q_{II})^2 - S_5 (Q_5 + \Delta Q_{II})^2 - \\ - S_8 (Q_8 + \Delta Q_{II} - \Delta Q_I)^2 &= 0. \end{aligned}$$

Раскрывая скобки и исключая величины, содержащие ΔQ^2 , как весьма малые, после выполнения некоторых преобразований, получим

$$\begin{aligned} \left[S_1 Q_1^2 + S_2 Q_2^2 + S_8 Q_8^2 - S_6 Q_6^2 - S_7 Q_7^2 \right] - \\ - 2(S_1 Q_1 + S_2 Q_2 + S_8 Q_8 + S_6 Q_6 + S_7 Q_7) \cdot \Delta Q_I + 2S_8 Q_8 \Delta Q_{II} = 0; \end{aligned}$$

$$\left[S_3 Q_3^2 + S_4 Q_4^2 - S_5 Q_5^2 + S_8 Q_8^2 \right] - \\ -2(S_3 Q_3 + S_4 Q_4 + S_5 Q_5 + S_8 Q_8) \Delta Q_{II} + 2S_8 Q_8 \Delta Q_I = 0;$$

или

$$\begin{aligned} \Delta h_I - 2 \sum (SQ)_I \Delta Q_I + 2 S_8 Q_8 \Delta Q_{II} &= 0; \\ \Delta h_{II} - 2 \sum (SQ)_{II} \Delta Q_{II} + 2 S_8 Q_8 \Delta Q_I &= 0; \end{aligned} \quad (3.23)$$

Число возможных уравнений вида (3.23) равно числу колец сети.

Решением системы линейных уравнений (3.23) находят искомые поправочные расходы ΔQ . По исправленным расходам участков $Q_p' = Q_p \pm \Delta Q$ вновь определяют величины h и $\sum h$. Исправление расчетных расходов производят до получения допустимых величин невязок, принимаемых равными 0,3 - 0,5 м для одного кольца.

Решение уравнений (3.23) для расчета водопроводных сетей, состоящих из большого числа колец - задача весьма трудоемкая. Поэтому в практических расчетах для облегчения решения этой задачи используют различные приемы и упрощения.

3.6. Практические методы расчета кольцевых водопроводных сетей.

В практике расчета кольцевых водопроводных сетей наибольшее распространение получили методы предложенные В.Г.Лобачевым-Х.Кроссом и М.М.Андрияшевым. Метод В.Г.Лобачева-Х.Кросса заключается в том, что в каждом уравнении вида (3.23) исключают члены, содержащие поправочные расходы ΔQ смежных колец. Тогда искомое значение поправочного (увязочного) расхода определится по формуле

$$\Delta Q = \frac{\Delta h}{2 \sum (SQ)}. \quad (3.24)$$

Использование этой формулы значительно упрощает задачу нахождения расходов ΔQ в каждом приближении. Однако увеличивается число последовательных приближений (итераций) для нахождения действительных расходов ΔQ , введение которых к первоначально намеченным расчетным расходам будет удовлетворять условию $\sum h = 0$.

Метод М.М.Андрияшева заключается в том, что после первого определения величин невязок выбирают контуры с невязками одного знака и находят значение поправочного расхода контура. Величину ΔQ контура определяют по формуле (3.24).

Для контуров, состоящих из участков с примерно одинаковыми длинами и диаметрами, величина поправочного расхода может быть определена по формуле

$$\Delta Q = Q_{cp} \frac{\Delta h}{2 \sum h}, \quad (3.25)$$

где Δh - невязка в контуре;

- $\sum h$ - сумма абсолютных величин потерь напора в контуре;
 $Q_{\text{ср}}$ - средняя величина расхода для всех входящих в контур участков.

Метод увязки водопроводной сети, предложенный М.М.Андряшевым, проиллюстрирован на конкретном примере. Все операции по расчету сети записываются непосредственно на схеме (рис.3.6).

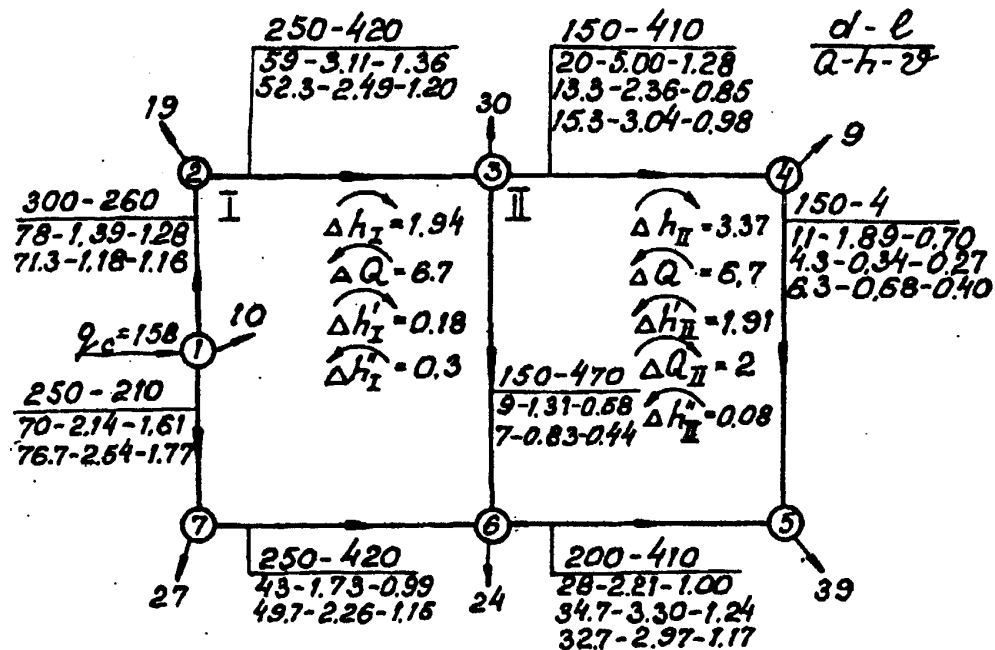


Рис. 3.6. Расчет сети по методу М.М.Андряшева

В этом случае после первоначального потокораспределения и назначения диаметров асбестоцементных труб определяют потери напора h на каждом участке по формуле (3.18). Затем устанавливают величины невязок Δh в каждом кольце. На схеме сети невязки указывают под стрелкой, которая показывает знак невязки. Например, в кольце I $\Delta h_I = 1,94$ и написана под стрелкой, указывающей направление по движению часовой стрелки. Следовательно, поправочный расход ΔQ должен быть пропущен в другом направлении (против движения часовой стрелки). Полученные значения и направления невязок в каждом кольце, после их анализа, позволяют наметить контуры, по которым следует провести поправочные расходы.

Величину поправочного расхода можно приближенно определять по формуле (3.25).

В рассматриваемом примере первый поправочный расход ΔQ определен для контура, охватывающего оба кольца:

$$\Delta Q = \frac{44,14 \cdot 5,31}{2 \cdot 17,47} = 6,7 \text{ л/с,}$$

где средний расход по участкам контура составил

$$Q_{cp} = \frac{78 + 59 + 20 + 11 + 28 + 43 + 70}{7} = 44,14 \text{ л/с};$$

величина невязки по контуру

$$\Delta h = (1,39 + 3,11 + 5,0 + 1,89) - (2,14 + 1,73 + 2,21) = 5,31 \text{ м};$$

сумма абсолютных величин потерь напора по контуру составляет

$$\sum h = 1,39 + 3,11 + 5,0 + 1,89 + 2,14 + 1,73 + 2,21 = 17,47 \text{ м}.$$

Пропуская этот поправочных расход $\Delta Q = 6,7$ л/с по обоим кольцам в направлении против движения часовой стрелки и определив новые потери напора на каждом участке сети, получаем новую невязку в кольце I: $\Delta h_I' = 0,18$ м, в кольце II: $\Delta h_{II}' = 1,91$ м.

Так как невязка в кольце II превышает допустимую величину, то подсчитываем поправочный расход только для этого кольца:

$$\Delta Q = \frac{(13,3 + 4,3 + 34,7 + 9)1,91}{4,2(2,36 + 0,34 + 3,30 + 1,31)} = 2 \text{ л/с}.$$

Пропуская этот поправочный расход $\Delta Q_{II} = 2$ л/с только по кольцу II в направлении движения часовой стрелки, получаем невязку $\Delta h_{II}'' = 0,08$ м. Из-за изменения расхода на смежном участке 3-6 изменится невязка и в кольце I, которая в последнем случае должна быть определена и составляет $\Delta h_I'' = 0,3$ м, что удовлетворяет требованиям.

Увязка водопроводной сети по методу В.Г.Лобачева-Х. Кросса ведется в табличной форме (табл. 3.1). Первые пять граф заполняются данными, полученными при составлении расчетной схемы. Значения скорости v , удельного сопротивления A и коэффициента K для асбестоцементных труб (графы 6, 7, 8) принимаются по таблицам Ф.А.Шевелева и А.Ф.Шевелева. В графе 11 записываются потери напора, подсчитанные на каждом участке. При этом в зависимости от направления движения воды потери напора по участкам будут иметь знак “+” или “-”. Например, для кольца I на участках 1-2, 2-3 и 3-6 движение воды идет по часовой стрелке - ставится знак “+”, а на участках 6-7 и 7-1 движение воды против часовой стрелки - знак “-”. Определив потери напора на каждом участке, подсчитывают алгебраическую сумму потерь напора в каждом кольце и получают невязку Δh (в рассматриваемом примере для кольца I $\Delta h_I = +1,95$ м; для кольца II $\Delta h_{II} = +3,18$).

При выполнении расчета требуется, чтобы невязка по отдельным кольцам не превышала $\pm 0,5$ м, поэтому в данном случае невязка в каждом кольце получается больше указанного предела. Необходимо продолжить расчет, перераспределения расхода воды по участкам и таким образом добиваясь снижения невязок.

Поправочный расход определяют по формуле (3.24).

Величина ΔQ всегда имеет знак, противоположный знаку невязки. Это означает, что найденный увязочный расход необходимо пропустить по кольцу в направлении, обратном направлению невязки. Полученные поправочные расходы заносятся в графу 12 и далее определяют новые расчетные расходы (графа 13).

По участкам сети, являющимся смежными для двух колец (в примере участок 3 - 6), пойдут соответственно два поправочных расхода с учетом их знака,

По исправленным расчетным расходам определяют новые потери напора и невязки для каждого кольца. Если полученные результаты не удовлетворяют, то расчет продолжают. В рассмотренном примере требуемый результат получен после второго исправления.

Результаты гидравлического расчета водопроводных сетей используют для определения высоты водонапорной башни, напора насосов и действительных свободных напоров во всех узлах сети. Для этого в наиболее удаленном от начала питания узле определяют пьезометрическую отметку Π , исходя из условия обеспечения требуемого свободного напора $H_{св}$, т.е.

$$\Pi = Z_0 + H_{св}, \quad (3.26)$$

где Z_0 - отметка поверхности земли в узле.

Пьезометрические отметки в других узлах вычисляют путем суммирования потерь напора в участках при переходе от одного узла к другому (против направления движения воды).

Величины действительных свободных напоров $H_{д.св.}$ в узлах, а также высоту водонапорной башни определяют как разность пьезометрических отметок и отметок земли, т.е.

$$H_{д.св.} = \Pi - Z_0. \quad (3.27)$$

Во всех узлах действительный свободный напор должен быть не меньше величины требуемого свободного напора.

3.7. Принципы технико-экономического расчета водопроводных сетей.

Гидравлический расчет водопроводных сетей, как показано выше, производится при уже назначенных диаметрах. В итоге определяются истинные расходы в участках сети и соответствующие им величины потерь напора. При выполнении технико-экономических расчетов водопроводных сетей неизвестными являются как расходы Q , так и диаметры d ее участков. В этом случае наиболее экономически выгодные диаметры труб участков сети определяются из условий надежности снабжения всех потребителей водой в заданном количестве и под необходимым напором при наименьших затратах на строительство и эксплуатацию системы водоснабжения. Эта задача сводится к определению минимума величины приведенных затрат S_{Π} . Под приведенными затратами понимаются расходы денежных средств на строительство и эксплуатацию, условно отнесенные к одному году. Они выражаются по формуле

$$S_{\Pi} = G + E_n K, \quad (3.28)$$

где G - годовые эксплуатационные расходы, руб./год;
 K - единовременные затраты или капитальные затраты, руб.;;
 E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Согласно нормам коэффициент E_n в целом по объектам строительства установлен в

размере 0,12. Для районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей следует принимать $E_n = 0,08$.

Вместе с тем, если расходы воды на участках сети заранее не известны, то решение задачи об определении экономических диаметров труб участков сети минимизацией функции $S_{\pi} = f(d_i, Q_i)$ оказывается невозможным, так как при этом наиболее выгодным будет такое потокораспределение, при котором кольцевая сеть превращается в разветвленную, что не отвечает требованиям надежности.

Поэтому для нахождения экономически выгодных диаметров труб участков сети необходимо сделать предварительное потокораспределение по участкам сети, что возможно при известных расходах воды, подаваемой в сеть насосами.

При намеченных расходах воды по участкам сети диаметр труб каждого участка определяется по формуле, предложенной Л.Ф. Машниным

$$d_i = (\varepsilon Q x_i)^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q_i^{\frac{\beta}{\alpha+m}}, \quad (3.29)$$

- где ε - экономический фактор, характеризующий экономические условия строительства и эксплуатации водопроводных линий;
 Q - полный расчетный расход воды, подаваемой насосами в сеть;
 x_i - коэффициент, учитывающий роль рассматриваемого участка в расходовании энергии на подачу воды;
 Q_i расход воды по рассматриваемому участку, принятый в соответствии с начальным потокораспределением.

Коэффициент x_i при полном технико-экономическом расчете по методу Л.Ф. Машнина находится путем увязки сети на пропуск через нее некоторого фиктивного расхода. Его распределение по линиям сети подчиняется I и II законам Кирхгофа. Частями этого фиктивного расхода, проходящими по участкам сети, являются величины x_i .

Вычисленные по формуле (3.29) диаметры округляются до их стандартных значений путем определения приведенных расходов

$$Q_{\text{пр.}i} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_T} \cdot \frac{Q x_i}{Q_i} \right)^{\frac{1}{1+\beta}} Q_i \quad (3.30)$$

с помощью таблиц предельных расходов.

Это округление может вызвать дополнительные невязки в кольцах сети, которые будут превышать допустимые, вследствие чего потребуется производить еще раз увязку колец сети.

Следует отметить, что технико-экономический расчет водопроводных сетей является достаточно трудоемкой задачей и реализуется в основном с использованием ЭВМ.

3.8. Расчет водопроводных сетей на ЭВМ¹

¹⁾ Данный параграф написан канд. техн. наук, доцентом Н.А. Черниковым

Использование ЭВМ для расчета многокольцевых водопроводных сетей дает

возможность находить оптимальные решения и значительно сокращает затраты труда и времени проектировщика. Применение ЭВМ позволяет не только ускорить решение задачи по расчету сети, но и решать принципиально новые, более сложные задачи систем подачи и распределения воды. Длительное использование ЭВМ для гидравлического и технико-экономического расчета водопроводных сетей привело к созданию большого числа программ, различных по совершенству и области применения.

Большой опыт в этом направлении накоплен на кафедре “Водоснабжение и водоотведение” Петербургского государственного университета путей сообщения.

Программы гидравлического расчета и анализа работы водопроводной сети **WS1** и **WS2** (водопроводная сеть, 1-я и 2-я версии) являются частью программного обеспечения системы автоматизированного проектирования (САПР) “Сооружения водоснабжения и водоотведения”. Эти программы выполнены в режиме диалога “человек-ЭВМ”. В определенные моменты происходит прерывание вычислений, выдаются промежуточные результаты и предлагается “меню” ответов. Участие пользователя проявляется в оперативной оценке результатов вычислений и корректировке хода проектирования. Диалоговый режим позволяет провести анализ работы водопроводной сети при различных условиях ее эксплуатации.

Современные ЭВМ требуют, как правило, чтобы вся исходная информация, в том числе информация о геометрии сети, была представлена в цифровом виде. Геометрию сети легко описать системой цифр при использовании методов математической топологии, в частности теории графов.

Граф – структура, состоящая из конечного числа вершин, произвольно расположенных в пространстве и соединенных между собой ребрами.

Граф называется связным, если вершины соединены между собой. Водопроводная сеть представляет собой связный граф, вершинами которого являются узлы, ребрами – участки сети. Замкнутая последовательность ребер называется контуром графа. Контурами графа водопроводной сети являются кольца сети.

Граф, не имеющий контуров, называется деревом. Деревом является тупиковая водопроводная сеть.

На рис. 3.7 изображена кольцевая водопроводная сеть, подготовленная для расчета с нумерацией узлов, участков и колец. Сеть имеет три кольца, семь узлов (вершин) и девять участков (ребер).

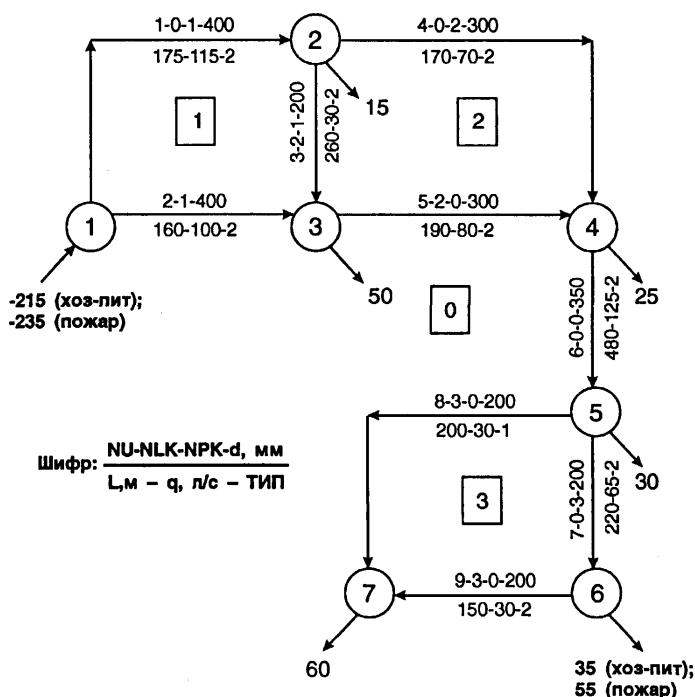


Рис. 3.7. Расчетная схема водопроводной сети для ЭВМ

Одной из важнейших характеристик графа является соотношение

$$n_k = n_{уч} - n_{узн} + 1,$$

где n_k - число независимых колец (контуров);
 $n_{уч}$ - число участков (ребер);
 $n_{узн}$ - число узлов (вершин).

Для сети на рис. 3.7 $n_k = 3$, $n_{уч} = 9$, $n_{узн} = 7$.

Вся исходная информация о геометрии сети заносится на расчетную схему по определенному шифру, где:

NU - номер участка; натуральный ряд чисел, начиная с единицы без пропусков (1, 2, 3... и т. д.);

NLK - номер левого кольца относительно рассматриваемого участка по ходу движения воды;

NRK - номер правого кольца;

Кроме этого, на схеме указываются:

d - предварительно назначаемый условный диаметр трубопровода на участке; он может быть в процессе расчета скорректирован;

l - длина участка; определяется по плану сети в соответствии с масштабом;

Q - расход воды на расчетном участке, определенный в результате предварительного потокораспределения; в процессе расчета корректируется ЭВМ при увязке колец;

ТИР - тип трубы; назначается пользователем.

Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети производится по методу Лобачева-Кросса с внесением поправочных расходов одновременно во все кольца.

Находятся значения расходов, скоростей движения воды и потерь напора на участках при известных значениях типов труб, их диаметров и длин участков. При использовании версии программы WS1 требуется предварительное потокораспределение.

Аварийное отключение участка математически моделируется введением большого сопротивления, что эквивалентно закрытию задвижки. Погрешность такого моделирования не превышает 2 %.

При вводе информации предусмотрена диагностика ошибок и возможность их исправления. Возможна корректировка исходной информации в процессе счета.

Результаты расчета выводятся на дисплей и принтер в виде таблиц по заданию пользователя при запросе ЭВМ в режиме диалога.

Ниже приведен пример расчета сети в соответствии с расчетной схемой и исходными данными, приведенными на рис. 3.7.

Расчет новой сети - 1, использование последних данных - 0 ? 1

При наборе цифры "0" из памяти ЭВМ считывается исходная информация о последнем варианте расчета.

Ввод исходных данных о сети

Число колец - ? 3

Число участков - ? 9

N уч.	N кольца		диаметр, мм	длина, м	расход, л/с	Тип трубы
	лев.	прав.				
1	0	1	400	175	115	2
2	1	0	400	160	100	2
3	2	1	200	260	30	2
4	0	2	300	170	70	2
5	2	0	300	190	80	2
6	0	0	350	480	125	2
7	0	3	200	220	65	2
8	3	0	200	200	30	1
9	0	3	200	150	30	2

ПРИМЕЧАНИЕ. При кодировке начертания сети (и внесении данных о номерах колец) необходимо учесть, что в каждом кольце и по наружному контуру в целом должно быть по одной точке встречи потоков воды.

Результаты расчета

Таблица исходных данных

N уч.	N кольца		диаметр, мм	длина, м	расход, л/с	Тип трубы
	лев.	прав.				
1	0	1	400	175	115	2
2	1	0	400	160	100	2
3	2	1	200	260	30	2
4	0	2	300	170	70	2
5	2	0	300	190	80	2
6	0	0	350	480	125	2
7	0	3	200	220	65	2
8	3	0	200	200	30	1
9	0	3	200	150	30	2

Вывод результатов расчета на экран

Расчет на случай максимально секундного расхода

N уч.	N кольца		диаметр, мм	длина, м	расход, л/с	Тип трубы	v, м/с	h, м
	лев.	прав.						
1	0	1	400	175	100.0	2	0.79	0.38
2	1	0	400	160	115.0	2	0.91	0.46
3	2	1	200	260	6.3	2	0.20	0.09
4	0	2	300	170	78.7	2	1.08	1.00

N уч.	N кольца		диаметр, мм	длина, м	расход, л/с	Тип трубы	v, м/с	h, м
	лев.	прав.						
5	2	0	300	190	71.3	2	0.98	0.92
6	0	0	350	480	125.0	2	1.28	3.27
7	0	3	200	220	44.1	2	1.37	3.51
8	3	0	200	200	50.9	1	1.48	3.61
9	0	3	200	150	9.1	2	0.28	0.10

Изменим диаметры ? Нет - 0, Да – в скольких участках ? 6

Участок № ? 1 d(1) = ? 350

Участок № ? 2 d(2) = ? 350

Участок № ? 3 d(3) = ? 150

Участок № ? 7 d(7) = ? 150

Участок № ? 8 d(8) = ? 300

Участок № ? 9 d(9) = ? 150

N уч.	N кольца		диаметр, мм	длина, м	расход, л/с	Тип трубы	v, м/с	h, м
	лев.	прав.						
1	0	1	350	175	99.7	2	1.02	0.76
2	1	0	350	160	115.3	2	1.18	0.93
3	2	1	150	260	4.2	2	0.23	0.17
4	0	2	300	170	80.6	2	1.11	1.05
5	2	0	300	190	69.4	2	0.95	0.87
6	0	0	350	480	125.0	2	1.28	3.27
7	0	3	150	220	17.9	2	0.98	2.63
8	3	0	300	200	77.1	1	1.01	1.01
9	0	3	150	150	-17.1	2	-0.94	1.62

Изменим диаметры ? Нет - 0, да - в скольких участках ? 0

Результаты расчета печатать ? Да - 1, нет - 0 ? 1

Конец расчетам пользователя ? Да - 1, Нет - 0 ? 1

Гидравлический расчет и анализ работы водопроводной сети WS2 (Водопроводная сеть, 2-я версия)

Подготовка водопроводной сети к гидравлическому расчету или анализу ее работы по программе WS2 аналогична первому варианту WS1.

Отличие состоит в том, что в информации об участках сети диаметр труб указывается только для существующих участков, а в остальных он может быть определен ЭВМ. Расходы на участках также не нужно вычислять и указывать - их находит ЭВМ. В этой версии нужно дать информацию об узлах, где указать их номера, отметки поверхности земли, требуемые напоры и узловы расходы.

Последовательность работы на ЭВМ

Расчет или анализ работы новой сети - ? да ↵

N п/п	Параметры, принятые в программе	Размерность	Значение
-------	---------------------------------	-------------	----------

№ п/п	Параметры, принятые в программе	Размерность	Значение
1	Верхняя граница экономических скоростей	м/с	1.5
2	Минимальный условный диаметр труб	мм	150
3	Коэффициент местных сопротивлений	-	1.0

Корректировать параметры ? Нет ↴

Номер объекта - ? 58 ↴

Год разработки объекта - ? 1999 ↴

Число колец - ? 3 ↴

Число участков - ? 9 ↴

Число узлов - ? 7 ↴

Ввод исходных данных

Ввод информации об участках сети

№ уч	№ узла		№ кольца		L, м	Тип трубы	d _{сущ} , мм
	нач.	кон.	лев.	прав.			
1	1	2	0	1	175	2	↴
2	1	3	1	0	160	2	↴
3	2	3	2	1	260	2	↴
4	2	4	0	2	170	2	↴
5	3	4	2	0	190	2	↴
6	4	5	0	0	480	2	↴
7	5	6	0	3	220	2	↴
8	5	7	3	0	200	1	↴
9	6	7	0	3	150	2	↴

ПРИМЕЧАНИЕ. При кодировке начертания сети (и внесении данных об участках сети) необходимо учесть, что в каждом кольце и по наружному контуру в целом должно быть по одной точке встречи потоков воды.

Есть ошибки ? Нет. ↴

Ввод информации об узлах сети

№ узла	q _{узел} , л/с	Z _{зем} , м	H _{треб} , м
1	-215	88	12
2	15	85	16
3	50	82	20
4	25	84.3	20
5	30	84.7	12
6	35	82.1	24
7	60	83.3	24

Есть ошибки ? Нет. ↴

Выводятся на экран результаты расчета

Напор (высота ВБ) в 1-м узле - 25.80 м.

Сведения об участках

Исходные данные	Результаты расчета
-----------------	--------------------

N уч.	N узла		N кол.		Длина, м	Тип труб	d _{суш} , мм	d _{расч} , мм	Q _{пут} , л/с	v, м/с	h, м
	нач	кон	лев	пр.							
1	1	2	0	1	175.0	2		350	99.7	1.02	0.76
2	1	3	1	0	160.0	2		350	115.3	1.18	0.93
3	2	3	2	1	260.0	2		150	4.2	0.23	0.17
4	2	4	0	2	170.0	2		300	80.6	1.11	1.05
5	3	4	2	0	190.0	2		300	69.4	0.95	0.87
6	4	5	0	0	480.0	2		350	125.0	1.28	3.27
7	5	6	0	3	220.0	2		150	17.9	0.98	2.63
8	5	7	3	0	200.0	1		300	77.1	1.01	1.01
9	6	7	0	3	150.0	2		150	-17.1	-0.94	1.62

Сведения об узлах

Исходные данные					Результаты расчета		
N узла	q _{уз} л/с	Z _{земли} , м	H _{треб} , м	H _{доп} , м	Z _{пьез} , м	H _{расч} , м	H _{изб} , м
1	-215.0	88.00	12.00	200	113.80	25.80	13.80
2	15.0	85.00	16.00	200	113.05	28.05	12.05
3	50.0	82.00	20.00	200	112.87	30.87	10.87
4	25.0	84.30	24.00	200	112.00	27.70	7.70
5	30.0	84.70	12.00	200	108.73	24.03	12.03
6	35.0	82.10	24.00	200	106.10	24.00	0.00
7	60.0	83.30	24.00	200	107.72	24.42	0.42

Спецификация труб

Тип труб	Материал	Гост	Дусл, мм	Lсум, м
1	Сталь	10704-76, 86896-74	300	200.0
2	Чугун	9583-75, ТУ 14-3-1247-83	200	60.0
2	Чугун	9583-75, ТУ 14-3-1247-83	250	360.0
2	Чугун	9583-75, ТУ 14-3-1247-83	300	150.0
2	Чугун	9583-75, ТУ 14-3-1247-83	350	220.0
2	Чугун	9583-75, ТУ 14-3-1247-83	400	335.0
2	Чугун	9583-75, ТУ 14-3-1247-83	450	480.0
				1805.0

Изменим диаметры ? Нет - 0, да - в скольких участках ? 0 ↵

Требуется корректировка или дополнение данных ? Да - 1, нет - 0 ? 0

Выводить профиль на экране ? Да - 1, нет - 0 ? 1 ↵

Количество узлов маршрута - ? 5 ↵ (До диктующей точки)

Введите последовательно номера узлов в столбец :

? 1 ↵ ? 2 ↵ ? 4 ↵ ? 5 ↵ ? 6 ↵

Сохранить профиль ? Да - 1, нет - 0 ? 1 ↵

Горизонтальный масштаб: 1:5000 - 1, 1:10000 - 2, 1:2500 - 3 ? 3 ↵

На экран выводится профиль по заданному маршруту (рис.3.8)

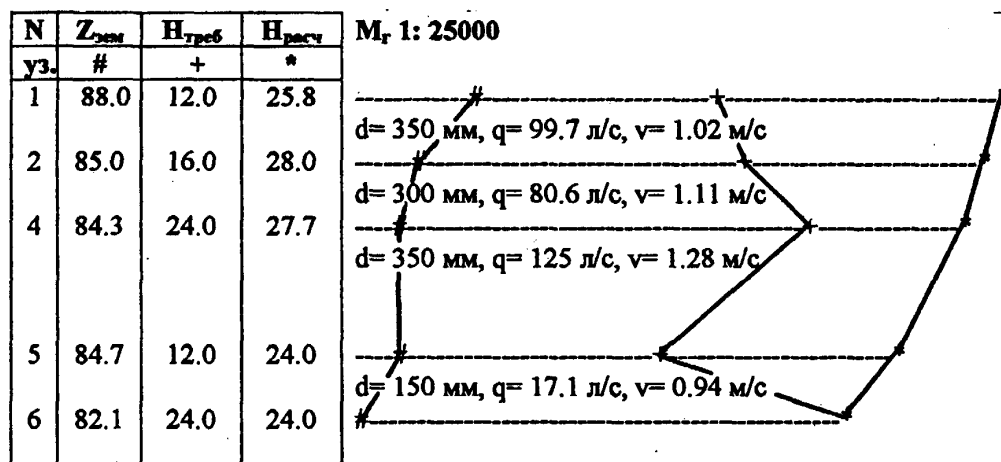


Рис. 3.8. Схема профиля водопроводной сети по заданному маршруту

В настоящее время имеется возможность гидравлического расчета водопроводных сетей (как и решения многих других задач при проектировании систем водоснабжения) с использованием современного программного обеспечения общего назначения, в частности Microsoft Excel.

Microsoft Excel - Электронная таблица, которая используется для организации, расчета и анализа деловых данных.

В начале 80-х годов, когда появились первые электронные таблицы (например VisiCalc), основной акцент ставился на счетные функции. Сегодня, наряду с этим, все большее значение приобретают возможности организации и трехмерного графического изображения данных.

Excel - электронная таблица, в которой деловые данные представляются в виде строк и столбцов. В отдельные ячейки вводятся числовые и текстовые значения, дата и время, примечания и формулы. Можно использовать звуковые эффекты.

Благодаря этому в среде Microsoft Excel можно обрабатывать любую деловую информацию по определенному алгоритму.

При гидравлическом расчете водопроводных сетей в среде Microsoft Excel поле листа делится на три части: исходные данные (№№ колец и участков, длины участков и т.д.), информация по первоначальному распределению расходов с использованием гидравлических зависимостей и гидравлические параметры водопроводной сети после 1-го исправления потокораспределения. Результаты 2-го и следующих исправлений определяются с помощью копирования информации.

Используя мощные возможности в среде Microsoft Excel гидравлический расчет водопроводных сетей становится довольно простой для своего решения задачи, не требующей специального программного обеспечения.

Ниже приводятся результаты гидравлического расчета водопроводной сети, схема которой приведена на рис. 3.7 в среде Microsoft Excel.

№ кольца	№ участка	Длина участка, м	Первоначальное распределение расходов				Последнее исправление		
			q, л/с	d, мм	V, м/с	h, м	Δq , м	q, л/с	h, м
1	1-2	175	115,0	350	1,18	0,978	0,06	99,95	0,739
	2-3	260	30,0	150	1,64	7,928	0,15	4,64	0,190
	3-1	160	-100,0	350	1,03	-0,696	0,06	-115,05	-0,922
				$\Delta h_1 = 8,210$ $\Delta q_1 = -14,6738$				$\Delta h_1 = 0,007$ $\Delta q_1 = -0,06$	
2	2-4	170	70,0	300	0,96	0,797	-0,08	80,31	1,049
	4-3	190	-80,0	300	1,10	-1,140	-0,08	-69,69	-0,865
	3-2	260	-30,0	150	1,64	-7,928	-0,15	-4,64	-0,190
				$\Delta h_2 = -8,271$ $\Delta q_2 = 14,26$				$\Delta h_2 = -0,005$ $\Delta q_2 = 0,04$	
0	4-5	480	125,0	350	1,28	3,123	0,00	125,00	3,123
3	5-6	220	65	150	3,56	28,147	0,00	19,51	2,535
	6-7	150	30	150	1,64	4,574	0,00	-15,49	-1,220
	7-5	200	-30	300	0,41	-0,208	0,00	-75,49	-1,316
				$\Delta h_3 = 32,51$ $\Delta q_3 = -27,441$				$\Delta h_3 = 0,000$ $\Delta q_3 = 0,00$	

$$\Delta h_{\max} = 32,51 \quad \Delta h_{\max} = 0,007$$

Для решения сложных задач расчета систем подачи и распределения воды в процессе их эксплуатации следует применять соответствующие алгоритмы, описанные в научно-технической литературе и реализующие их специализированные программные комплексы. В ГП “Водоканал Санкт-Петербурга” для этих целей используется комплекс программ GCALC, разработанный коллективом фирмы “Модель”.

Продолжение таблицы 3.1

Таблица 3.1. Пример гидравлического расчета сети по методу В.Г.Лобачева- Х.Кросса

Ном ер коль ца	Ном ер учас тка	Длин а учас тка l, м	Первоначальное распределение расходов							
			Расх од Q, л/с	Диам етр d,мм	Скоро сть v, м/с	$A \cdot 10^6$	K	$S = A \cdot K$	$S \cdot Q$	$h = S \cdot Q^2$, м

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1-2	260	78	300	1,28	0,91	0,96	0,00022	0,01789	+1,40
						4	5	93		
	2-3	420	59	250	1,36	2,22	0,95	0,00089	0,05281	+3,12
						7	7	951		
	3-6	470	9	150	0,58	31,5	1,08	0,01609	0,1448	+1,30
					5	5				
	6-7	420	43	250	0,99	2,22	1,00	0,00093	0,04030	-1,73
						7	2	7		
	7-1	210	70	250	1,61	2,22	0,93	0,00043	0,03061	-2,14
						7	5	73		
									$\sum (S Q)_I =$ =0,286 4	$\Delta h_I =$ =+1,95

$$\Delta Q_I = -\frac{1,95}{2 \cdot 0,2864} = -3,4$$

II	3-4	410	20	150	1,28	31,5	0,96	0,01248	0,2496	+4,99
						5	5			
	4-5	470	11	150	1,40	31,5	0,95	0,01413	0,1554	+1,71
						5	3			
	5-6	410	28	200	1,0	6,89	1,0	0,00283	0,07924	-2,22
						8				
	6-3	470	9	150	0,58	31,5	1,08	0,01609	0,1448	-1,30
						5	5			
									$\sum (S Q)_{II} =$ =0,629 0	$\Delta h_{II} =$ =+3,18

$$\Delta Q_{II} = -\frac{3,18}{2 \cdot 0,6290} = -2,5$$

Продолжение таблицы 3.1

Ном ер коль ца	Номер участ ка	1-е исправление				2-е исправление				v, м/с
		$\Delta Q,$ л/с	Q, л/с	S Q	h = SQ ² , м	$\Delta Q,$ л/с	Q, л/с	S Q	h = SQ ² , м	
1	2	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1-2	-3,4	74,6	0,01711	+1,28	-1,2	73,4	0,0168 3	+1,24	1,20

2-3	-3,4	55,6	0,04977	+2,77	-1,2	54,4	0,0486 9	+2,65	1,25
3-6	- 3,4+2 ,5	8,1	0,1303	+1,06	- 1,2+1 ,0	7,9	0,1271	+1,00	0,50
6-7	+3,4	47,4	0,04441	-2,10	+1,2	48,6	0,0455 4	-2,21	1,12
7-1	+3,4	73,4	0,0321	-2,36	+1,2	74,6	0,0326 2	-2,43	1,72
			$\Sigma (S Q)_I$	$\Delta h_I =$				$\Delta h_I =$	
			=	=				=	
			0,2737	+0,65				+0,25	

$$\Delta Q_I = -\frac{0,65}{2 \cdot 0,2737} = -1,2$$

II	3-4	-2,5	17,5	0,2184	+3,82	-1,0	16,5	0,2059	+3,40	1,06
	4-5	-2,5	8,5	0,12	+1,02	-1,0	7,5	0,1060	+0,79	0,48
	5-6	+2,5	30,5	0,08632	-2,63	+1,0	31,5	0,0891 4	-2,81	1,12
	6-3	+2,5- 3,4	8,1	0,1303	-1,06	+1,0- 1,2	7,9	0,1271	-1,00	0,50
			$\Sigma (S Q)_{II} =$	$\Delta h_{II} =$				$\Delta h_{II} =$		
			=	=				=		
			0,5550	+1,15				+0,38		

$$\Delta Q_{II} = -\frac{1,15}{2 \cdot 0,555} = -1,0$$

4. УСТРОЙСТВО ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

4.1. Трубы, применяемые для устройства водопроводных сетей

Для строительства водопроводных сетей применяют асбестоцементные, железобетонные, чугунные, пластмассовые и стальные трубы. Водопроводные трубы должны иметь достаточную пропускную способность, водонепроницаемые стенки, малую шероховатость внутренней поверхности, большой срок службы, достаточную прочность, а также обеспечивать возможность простого и надежного соединения на месте. Для устройства водопроводных сетей могут применяться только те трубы, материалы которых безвредны для здоровья человека.

Согласно требованиям СНиП для водопроводных сетей, как правило, следует применять неметаллические трубы (асбестоцементные, железобетонные и пластмассовые). Стальные трубы применяют для устройства самотечных и всасывающих

линий, а также при устройстве переходов под железными и автомобильными дорогами или через водные преграды и овраги, когда применение труб из других материалов неоправданно. Кроме этого, учитывая высокую прочность и пластичность стальных труб, их рекомендуется укладывать в сложных природных условиях (в вечномёрзлых, просадочных и заторфованных грунтах, на подрабатываемых территориях, в сейсмических районах). В вечномёрзлых и просадочных грунтах допускается применение также пластмассовых труб.

Строительство водопроводов и водопроводных сетей из чугунных труб разрешается в пределах населенных пунктов, территорий промышленных и сельскохозяйственных объектов.

Асбестоцементные трубы обладают стойкостью к коррозии, морозоустойчивостью, сравнительно небольшой плотностью, а следовательно, относительной легкостью и невысокой стоимостью. Основные их недостатки - хрупкость и низкая сопротивляемость ударам. Недостаточное внимание к асбестоцементным трубам, несоблюдение правил укладки и перевозки приводит к серьезным последствиям.

Асбестоцементные трубы изготавливают четырех классов: ВТ6 - на рабочее давление 0,6 МПа; ВТ9 - 0,9 МПа; ВТ12 - 1,2 МПа и ВТ15 - 1,5 МПа. Их выпускают трех типов. Трубы первого типа изготавливают диаметрами 100 - 500 мм, длиной 3 - 4 м; второго - диаметрами 200 - 500 мм, длиной 5 м; третьего - диаметрами 200 и 300 мм, длиной 6 м.

Трубы соединяют различными муфтами. Наиболее распространены асбестоцементные муфты типа САМ с резиновыми манжетами (рис. 4.1, а). Герметизация соединения достигается благодаря первоначальному обжатию манжет при монтаже труб и дополнительной деформации их в муфте гидравлическим давлением внутри трубы. Монтаж стыка с муфтой типа САМ выполняют в такой последовательности. В пазы муфты вставляют уплотнительные резиновые манжеты и насаживают муфту на конец присоединяемой трубы. Трубу с муфтой опускают в траншею и центрируют с ранее уложенной трубой. Надвигание муфты производят винтовым или рычажным домкратами.

Для соединения асбестоцементных труб марки ВТ6 применяют облегченные асбестоцементные двухбортные муфты с резиновыми кольцами (рис. 4.1, б).

Третий тип соединения асбестоцементных труб - чугунной болтовой муфтой (рис. 4.1, в), состоящий из чугунной втулки и двух подвижных фланцев, стягиваемых болтами. Резиновые кольца в этих муфтах плотно прижимаются фланцами к втулке и к телу трубы, делая стык водонепроницаемым. Монтаж стыка с чугунной муфтой производят в таком порядке. На конец ранее уложенной трубы надевают фланец, резиновое кольцо и втулку, а на конец присоединяемой трубы - второй фланец и резиновое кольцо. После центровки фланцы стягивают с помощью болтов. Стык с чугунной муфтой дает возможность плавно изменять направление трубопровода в плане без применения фасонных частей.

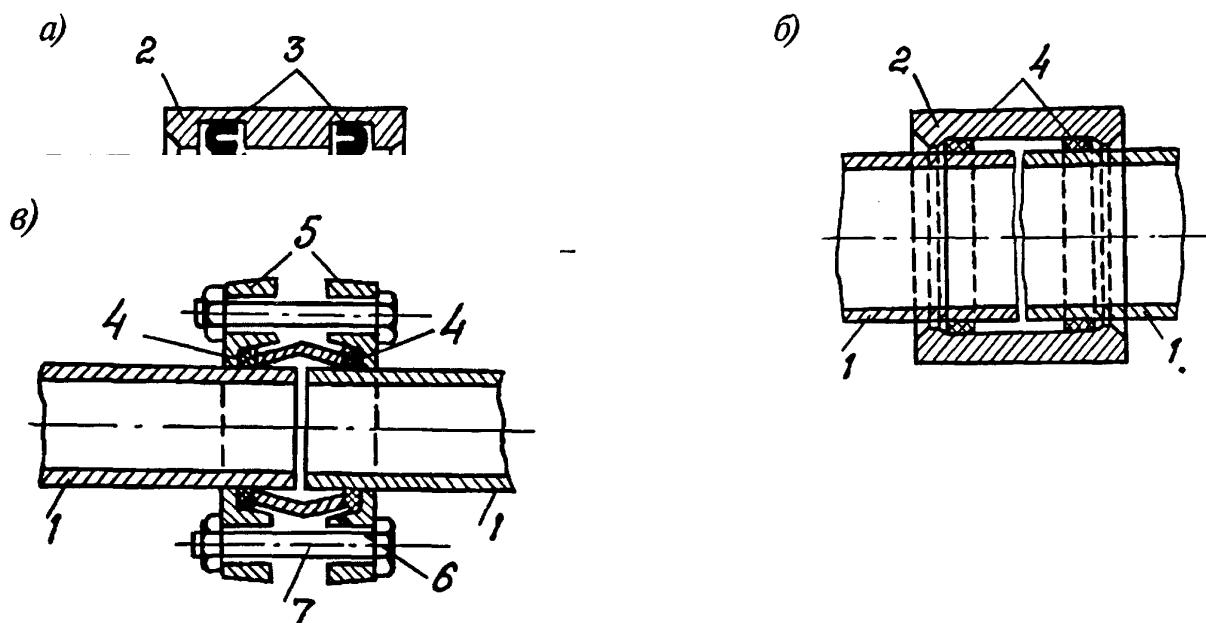


Рис. 4.1. Стыковое соединение асбестоцементных труб:

а - асбестоцементной муфтой САМ, б - асбестоцементной двухбортной муфтой; в - чугунной фланцевой муфтой; 1 – асбестоцементные трубы; 2 – асбестоцементная муфта; 3 - резиновые манжеты; 4 - резиновые кольца; 5 – фланцы; 6 - втулка; 7 - болт

Для асбестоцементных трубопроводов в большинстве случаев используют чугунные фасонные части, но для перехода к ним делают специальные чугунные патрубки.

Ж е л е з о б е т о н н ы е т р у б ы . В зависимости от гидростатического давления железобетонные трубы подразделяют на низконапорные, рассчитанные на рабочее давление до 0,3 МПа, а напорные, способные выдерживать давление до 1,5 МПа. По конструктивным признакам низконапорные и напорные трубы бывают: ненапряженные (из обычного бетона) и предварительно напряженные (из предварительно напряженного бетона); трубы с водонепроницаемым цилиндром и без цилиндра. По величине расчетного внутреннего давления железобетонные напорные трубы подразделяют на трубы 1-го (1,5 МПа), 2-го (1 МПа) и 3-го (0,5 МПа) классов.

В зависимости от технологии изготовления железобетонные напорные трубы имеют различные конструкции. Виброгидропрессованные напорные трубы представляют собой монолитную железобетонную конструкцию, включающую защитный слой и предварительно напряженную продольную и спиральную арматуру. Центрифугированные напорные трубы состоят из бетонного сердечника с предварительно напряженной арматурой и навитой на сердечник предварительно напряженной спиральной арматурой, защищенной слоем мелкозернистого бетона. Виброгидропрессованные и центрифугированные железобетонные трубы изготавливают диаметром от 500 до 1600 мм, длиной 5 м.

Железобетонные напорные трубы со стальным цилиндром состоят из сердечника, изготавливаемого центрифугированием в сварном цилиндре, стального цилиндра, спиральной арматуры, навиваемой на поверхность стального цилиндра с заданным напряжением после твердения бетона и защитного слоя толщиной 15-20 мм. Эти трубы изготавливают диаметром от 250 до 1000 мм, длиной 5 и 10 м.

Полимержелезобетонные трубы представляют собой железобетонный цилиндр, на внутренней стороне которого расположен профилированный бесшовный рукав из термопластического полимера. К концам полимерного профилированного рукава приваривают «воротники» для образования раструба и гладкого конца трубы. Полимержелезобетонные трубы изготавливают диаметром от 300 до 1500 мм и длиной 5,2 м.

Конструкции железобетонных напорных труб предусматривают гибкое раструбное соединение их при монтаже. Для уплотнения стыка применяют резиновые кольца круглого сечения. Наиболее характерные конструкции гибких стыковых соединений железобетонных труб показаны на рис. 4.2.

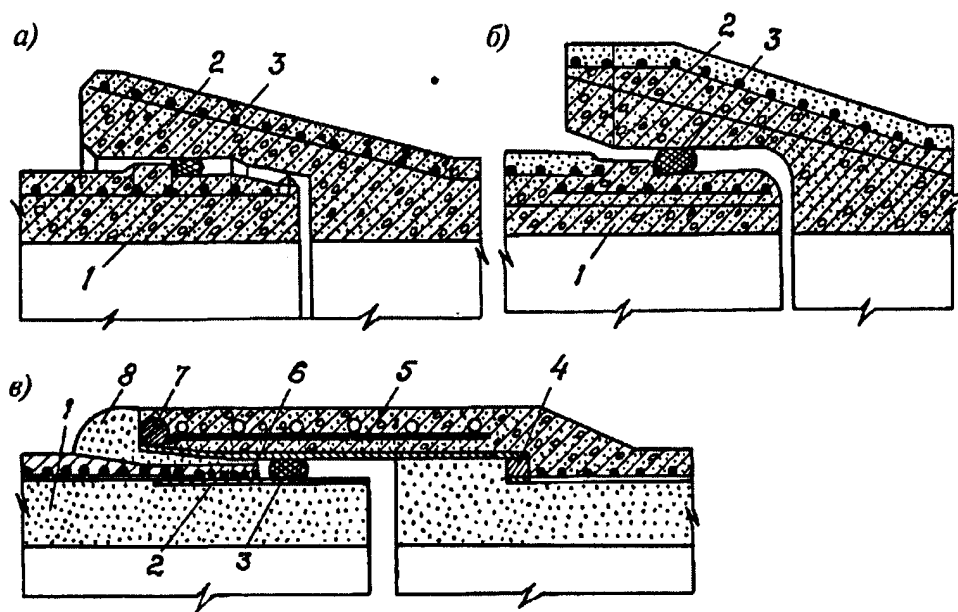


Рис. 4.2. Стыковые соединения железобетонных труб:

а - виброгидропрессованных; б - центрифугированных; в - со стальным сердечником; 1 – втулочный конец; 2 - раструб; 3, 4 - резиновое и переходное кольца; 5, 7 - арматурные сетки и кольцо жесткости; б - замок; 8 – цементный раствор

Соединение буртовых напорных железобетонных труб осуществляется при помощи железобетонных муфт с резиновыми уплотнительными кольцами.

К достоинствам железобетонных труб относятся их долговечность, прочная гладкая внутренняя поверхность, высокая пропускная способность; эти трубы по сравнению с металлическими значительно менее металлоемки. Недостатком их является высокая масса.

Пластмассовые трубы (полиэтиленовые, поливинилхлоридные и полипропиленовые) широко используют для наружных сетей водоснабжения вследствие их достоинств по сравнению с трубами из других материалов. Они очень легкие, не подвергаются коррозии и не разрушаются даже при замерзании в них воды и в то же время имеют повышенную пропускную способность из-за низких гидравлических сопротивлений, большую долговечность и малую теплопроводность. К недостаткам пластмассовых труб относятся: необходимость соблюдения определенных правил при укладке, большой коэффициент линейного расширения и относительная сложность их соединения.

Напорные полиэтиленовые трубы изготавливают из полиэтилена высокой и низкой плотности методом непрерывной шнековой экструзии четырех типов: Л, ЧЛ, Ч и Т на рабочее давление соответственно 0,25; 0,4; 0,6 и 1,0 МПа. Их выпускают длиной 5, 6, 8, 10 и 12 м. Трубы ПВХ из полиэтилена высокой плотности (полиэтилен низкого давления) могут изготавливаться наружным диаметром от 10 до 1200 мм. Выпуск труб НПН из полиэтилена низкой плотности (полиэтилен высокого давления) предусматривают в диапазоне от 10 до 160 мм.

Напорные трубы из непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) выпускаются четырех классов: СЛ, С, Т и ОТ на давление соответственно 0,4; 0,6, 1,0 и 1,5 МПа в

диапазоне диаметров от 10 до 315 мм.

Напорные полипропиленовые трубы (ПП) изготавливают трех классов: Л, С и Т на давление соответственно 0,25; 0,6 и 1,0 МПа в диапазоне диаметров от 32 до 300 мм.

Пластмассовые трубы соединяют неразъемными (сварка или склеивание) и разъемными (на резиновых кольцах, фланцах) способами. Выбор способа соединения в первую очередь зависит от материала труб, вида фасонных частей, способа прокладки трубопровода и условий его работы. Способы различных соединений пластмассовых труб представлены на рис. 4.3 и в таблице 4.1.

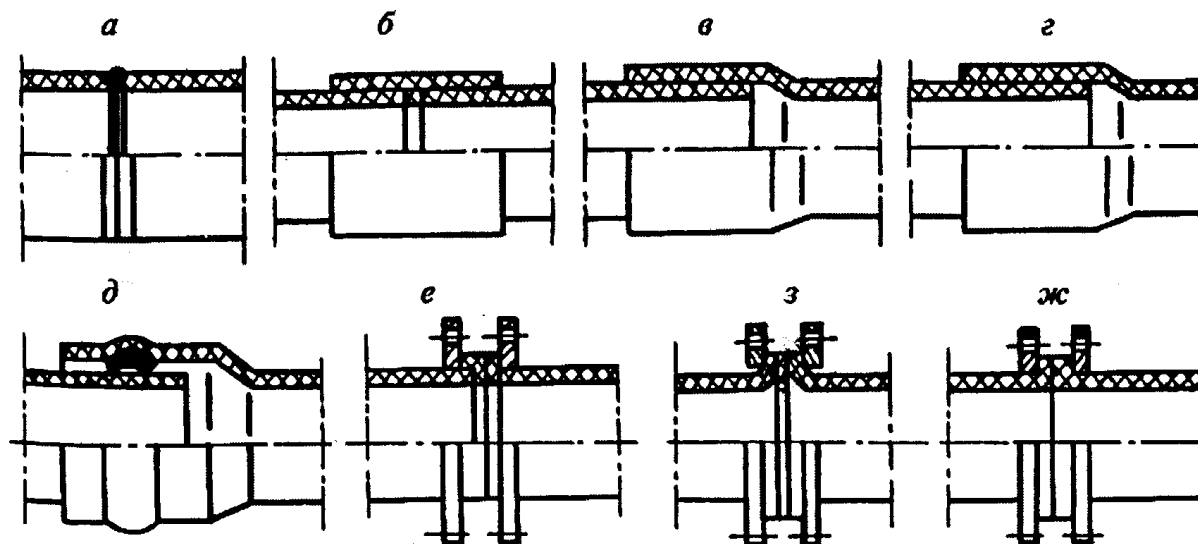


Рис. 4.3. Способы соединения пластмассовых труб (см. табл. 4.1)

Таблица 4.1. Способы соединения пластмассовых труб (см. рис. 4.3)

Способ соединения	Схема соединения	Материал труб	Область применения
Контактная стыковая сварка	<i>а</i>	ПНП,ПВП, ПЛ	Напорные трубопроводы диаметром 50 мм и более с толщиной стенок более 4 мм
Контактная сварка в раструб с фасонными частями (муфтами)	<i>б</i>	ПНП, ПВП, ПП	Напорные трубопроводы диаметром до 140 мм
Контактная сварка в формованный раструб	<i>в</i>	ПНП, ПВП, ПП	То же диаметром до 160 мм
Склейка в формованный раструб	<i>г</i>	ПВХ	То же диаметром до 225 мм
Раструбное соединение с профильным резиновым кольцом	<i>д</i>	ПВХ	То же диаметром 110 - 315 мм
Разъемное соединение на свободных фланцах с приваренными буртовыми втулками	<i>е</i>	ПНП, ПВП, ПП	Напорные трубопроводы, для присоединения к арматуре и к металлическим фасонным частям и трубам диаметром до 160 мм
На свободных фланцах с	<i>ж</i>	ПНП, ПВП,	Напорные трубопроводы (до

Способ соединения	Схема соединения	Материал труб	Область применения
отбуртовкой	ж	ПП, ПВХ	0,25 МПа), для присоединения к арматуре и металлическим трубам диаметром до 630 мм
На свободных фланцах и отбуртованных концах труб		ПНП, ПВХ, ПЛ, ПВХ	То же, для труб диаметром до 150 мм

Ч у г у н н ы е т р у б ы в железнодорожном водоснабжении получили широкое распространение. Эти трубы долговечны и устойчивы в коррозионноактивных средах, что обуславливается высокой коррозионной стойкостью чугуна и значительной толщиной стенок труб. Их укладывают часто вдоль электрифицированных железнодорожных путей вместо стальных, чтобы избежать коррозии от блуждающих токов.

Промышленность выпускает:

чугунные раструбные трубы, изготавливаемые из серого чугуна методом центробежного и полунепрерывного литья диаметрами 65 - 1000 мм, длиной 3 - 10 м;

чугунные напорные трубы с раструбными стыковыми соединениями на резиновых манжетах и с раструбно-винтовыми соединениями на запорных муфтах и резиновых кольцах диаметрами 65 - 300 мм, длиной 2 - 6 м.

В зависимости от рабочего давления эти трубы делятся на три класса: ЛА (1 МПа), А (1,4 МПа) и Б (1,6 МПа);

чугунные напорные трубы с шаровидным графитом и стыковыми соединениями под резиновую уплотнительную манжету диаметрами 65 - 600 мм, длиной 7 м.

Чугунные трубы соединяют между собой стыками. На рис. 4.4, а показан стык чугунных труб с асбестоцементной зачеканкой. При таком соединении гладкий конец одной трубы вставляют в раструб другой с заполнением образовавшегося кольцевого пространства уплотняющими материалами. Вначале производят конопатку кольцевого пространства пеньковой смоляной или битуминизированной пряжей, уплотняемой специальным инструментом и создающей водонепроницаемость стыка; в остальную часть раструба вводят наполнитель, который придает прочность стыку. В качестве наполнителя применяют асбестоцемент, свинец и другие материалы. Лучшим наполнителем является асбестоцемент или свинец (последний применяют при аварийных работах). Асбестоцементный наполнитель состоит из 30 % (по массе) распушенного эластичного асбестового волокна и 70 % чистого портландцемента марки не ниже 400 с добавлением 10...12 % (по массе смеси) воды. Смесь в раструбе послойно уплотняют чеканкой. Гидравлическое испытание таких соединений можно производить не ранее, чем через 12...24 ч. Поэтому при ремонтных работах, когда водопровод необходимо сразу же подвергнуть внутреннему давлению, в качестве наполнителя применяют свинец.

Работа по такой заделке стыкового соединения чугунных труб довольно трудоемка и требует высокой квалификации рабочих. Более промышленным является раструбное соединение с резиновой уплотняющей манжетой (рис. 4.4, б). В этом случае стык монтируют по способу запрессовки. В раструб устанавливают резиновую манжету, гладкий конец другой трубы покрывают графитно-глицериновой смазкой для снижения монтажных усилий. Затем с помощью несложного приспособления его вводят в раструб. Такое стыковое соединение равнопрочно с трубами, менее трудоемко в монтаже, повышает герметичность и гибкость стыка и выдерживает давление до 4 МПа.

На рис. 4.4, в показана конструкция стыка чугунных труб - раструбно-винтовое соединение с уплотнением резиновым кольцом. Кольцо удерживается от выкатывания из раструбной щели винтовой, чугунной или пластмассовой муфтой.

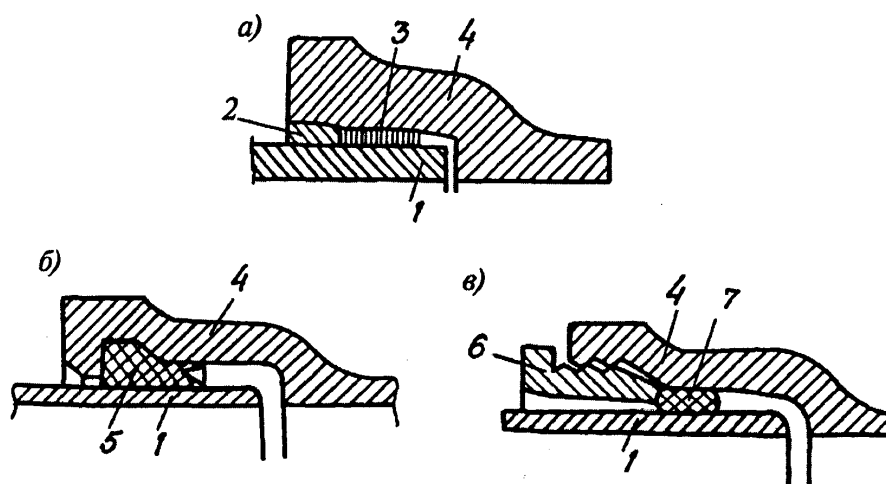


Рис. 4.4. Стыки чугунных труб:

а – с асбестоцементной заделкой; б – с резиновой уплотняющей манжеткой; в - с винтовой муфтой и резиновым кольцом; 1 - гладкий конец трубы; 2 - асбестоцементный наполнитель; 3 – просмоленная прядь; 4 – раструб; 5 - резиновая манжета; 6 - упорное кольцо с резьбой; 7 - резиновое кольцо

Для устройства ответвления, поворотов, переходов и монтажа узлов на сети применяют различные чугунные фасонные части: колена, отводы, тройники, кресты, переходы, выпуски, пожарные подставки и т.д. Фасонные части к чугунным трубам бывают раструбными, с гладкими концами и с фланцевыми концами. Последние необходимы для присоединения водопроводной арматуры.

Стальные трубы применяют для устройства наружных водопроводных сетей в ограниченных количествах, из-за необходимости экономии металла. Эти трубы выпускают в широком диапазоне диаметров от 6 до 1400 мм. Они выдерживают наибольшие давления, удобны при монтаже, при их перевозке и укладке нет необходимости в особых мерах предосторожности. В то же время применение стальных труб требует значительных расходов на антикоррозионную защиту. Для устройства водопроводных сетей применяют в основном прямошовные, спирально-шовные, спирально-шовные тонкостенные и водогазопроводные стальные трубы. Длина этих труб колеблется от 4 до 12,5 м, толщина стенок - от 2,5 до 7,5 мм. В последние годы промышленность изготавливает стальные трубы с внутренней и наружной пластмассовой и эмалевой облицовкой, что позволяет повысить их пропускную способность и долговечность.

Соединяют стальные трубы между собой на сварке. При монтаже стальных трубопроводов применяют гнутые, штампованные и сварные стальные фасонные части.

Различную водопроводную арматуру присоединяют к стальным трубам при помощи фланцевых соединений. Фланцы привариваются к трубам. Для уплотнения между фланцами трубы и фланцами арматуры используют прокладку из резины или паранита, которая зажимается болтами фланцевого соединения.

4.2. Трубопроводная арматура водопроводной сети

На водопроводной сети устанавливают запорную, регулирующую, предохранительную и водоразборную арматуру.

Запорная арматура предназначена для отключения отдельных участков сети при аварии и ремонте, а также служит для регулирования и распределения расходов воды по сети. К запорной арматуре относят задвижки и затворы.

Задвижка - арматура, в которой запорный или регулирующий орган перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно оси потока рабочей среды. По конструктивному исполнению она может быть: параллельной (с запорным или регулирующим органом, у которого уплотнительные поверхности расположены параллельно одна к другой); клиновой (с запорным или регулирующим органом, у которого уплотнительные поверхности расположены под углом одна к другой); с выдвигным шпинделем или штоком (при открытии и закрытии задвижки шпиндель или шток совершает поступательное или вращательно-поступательное движение); с невыдвигным шпинделем (при открытии и закрытии задвижки шпиндель совершает вращательное движение); с ручным, электрическим, электромагнитным или гидравлическим приводом.

На рис. 4.5 показана конструкция параллельных задвижек с выдвигным и невыдвигным шпинделем с ручным приводом. В этих задвижках при вращении маховика шпиндель поднимает или опускает диски, которые открывают или закрывают отверстие трубы. При опускании дисков с помощью упорного клина диски раздвигаются и прижимаются к гнездам, обеспечивая плотное закрытие задвижки. На таких задвижках диаметром более 400 мм для уравнивания давления по обе стороны затворных дисков устраивают обводные линии малого диаметра с задвижками. Такие обводные линии называются байпасами. Кроме того, при больших диаметрах задвижек их закрывают и открывают с помощью гидравлического или электрического привода.

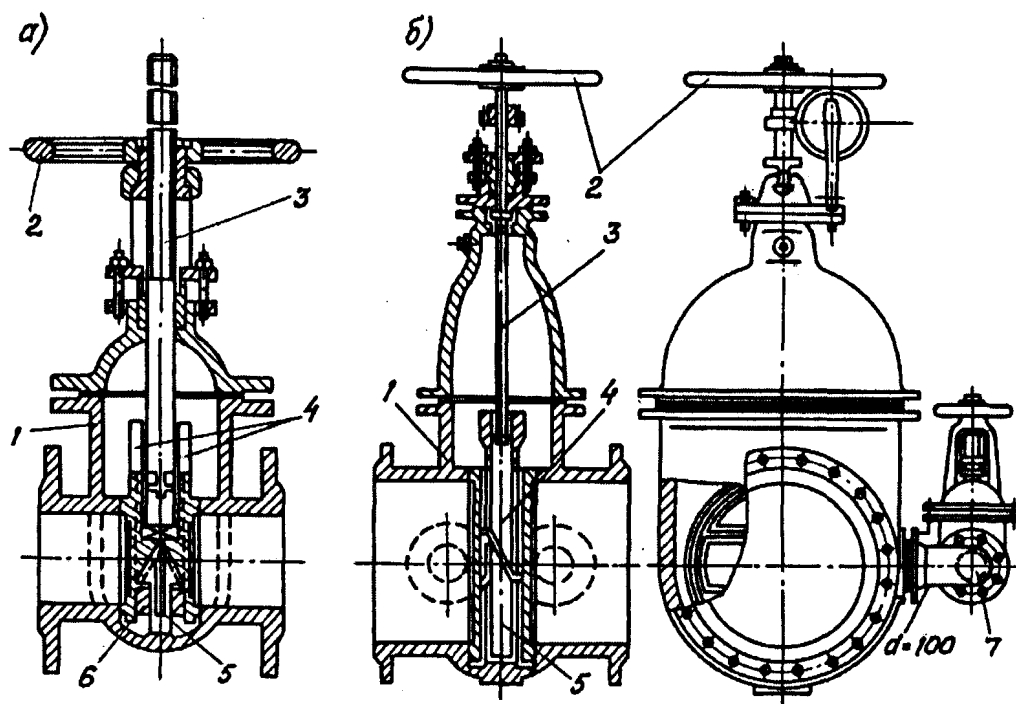


Рис. 4.5. Параллельные задвижки:

а – с выдвижным шпинделем; б – с невыдвижным шпинделем; 1 - чугунный корпус; 2 - маховик; 3 - шпиндель; 4 - запорные диски; 5 - упорный клин; 6 - уплотнительные кольца; 7 – обводная линия

В клиновых задвижках (рис. 4.6) живое сечение потока перекрывается круглым клинообразной формы диском, который перемещается в гнезде между наклонными уплотняющими кольцами корпуса.

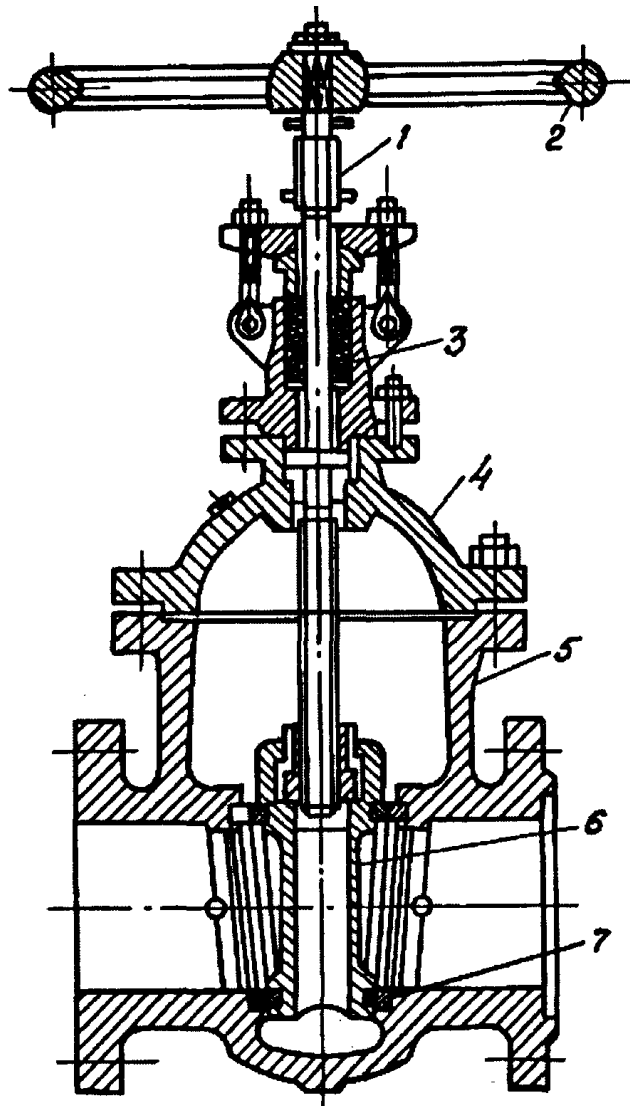


Рис. 4.6. Клиновая задвижка с неподвижным шпинделем:

1 – шпиндель; 2 – маховик; 3 – сальник; 4 – крышка; 5 - корпус; 6 - диск; 7 - уплотнительные кольца

З а т в о р - арматура, в которой запорный орган поворачивается вокруг оси, не являющейся его собственной осью. В дисковом поворотном затворе (рис. 4.7) проход корпуса перекрывается диском, находящимся в потоке путем поворота на 90° относительно оси. Рабочее положение затвора - полностью открыт (в это время плоскость диска параллельна потоку жидкости) или полностью закрыт. Дисковые поворотные затворы изготавливают диаметром от 50 до 2400 мм с ручным, электрическим и гидравлическим приводом на давление 0,25...1 МПа.

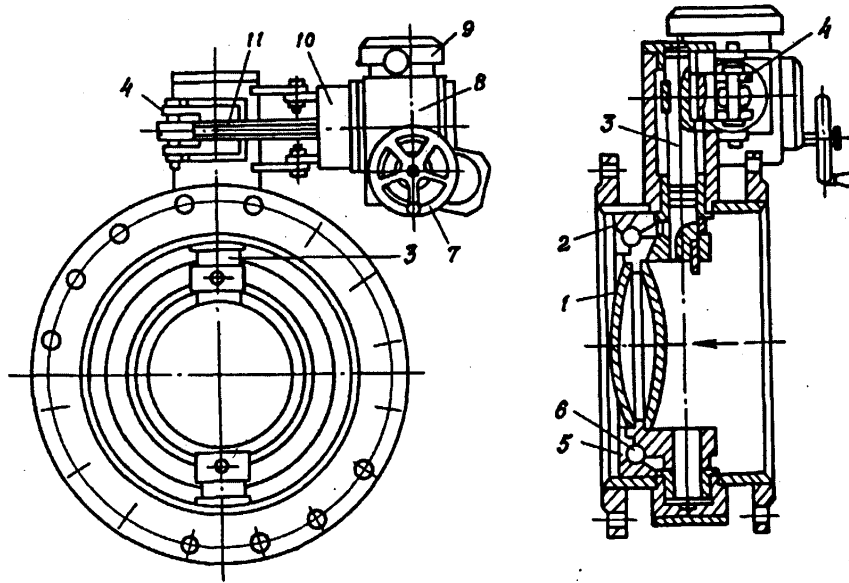


Рис. 4.7. Дискový поворотный затвор:

1 – диск; 2 - седло; 3 - вал; 4 - рычаг; 5 - прижимное кольцо; 6 - резиновое кольцо; 7 - ручной штурвал; 8 –электропривод; 9 – концевые выключатели; 10 - бугельный узел; 11 - шпindelь

Регулирующая арматура. К регулирующей арматуре относят регуляторы давления прямого действия, а также регуляторы давления на базе поворотных затворов и кольцевых задвижек. Регуляторы давления прямого действия управляются энергией регулируемой воды, протекающей в трубопроводе, и не требуют дополнительного постороннего источника энергии.

На рис. 4.8, а показан общий вид регулятора давления «до себя» и «после себя» рычажного типа. По устройству регуляторы обоих типов почти одинаковы, разница между ними заключается лишь в том, что в регуляторе давления «до себя» двухсекционный клапан закрывается снизу вверх (при подъеме клапана), а в регуляторе давления «после себя» - сверху вниз (при опускании клапана). Конструкция этих регуляторов состоит из груза, мембранного исполнительного механизма и разгрузочного регулирующего органа - золотника. Вода под рабочим давлением подается во входной патрубке. Проходное сечение в этот момент открыто у регуляторов «после себя» и закрыто у регуляторов «до себя» за счет действия рычага с грузом на подвижную систему.

При помощи импульсной трубки, соединяющей водопровод с мембранным исполнительным механизмом, давление действует на мембрану в сторону, обратную действию груза. Если усилие от давления воды на мембрану станет больше или меньше усилия, развиваемого грузом, то подвижная система начнет перемещаться. Это приведет к изменению проходного сечения в регуляторе и давления до регулятора и за ним.

На требуемое давление регулятор настраивают подбором грузов и их расположением на рычаге, а также выбором головки мембранного исполнительного механизма.

В регуляторе давления «до себя» импульсная трубка одним концом присоединена к водопроводу до регулятора, а другим - к диафрагмовой головке (рис. 4.8, б).

В регуляторе давления «после себя» импульсная трубка одним концом присоединена к водопроводу за регулятором, а другим - к диафрагмовой головке (рис. 4.8, в).

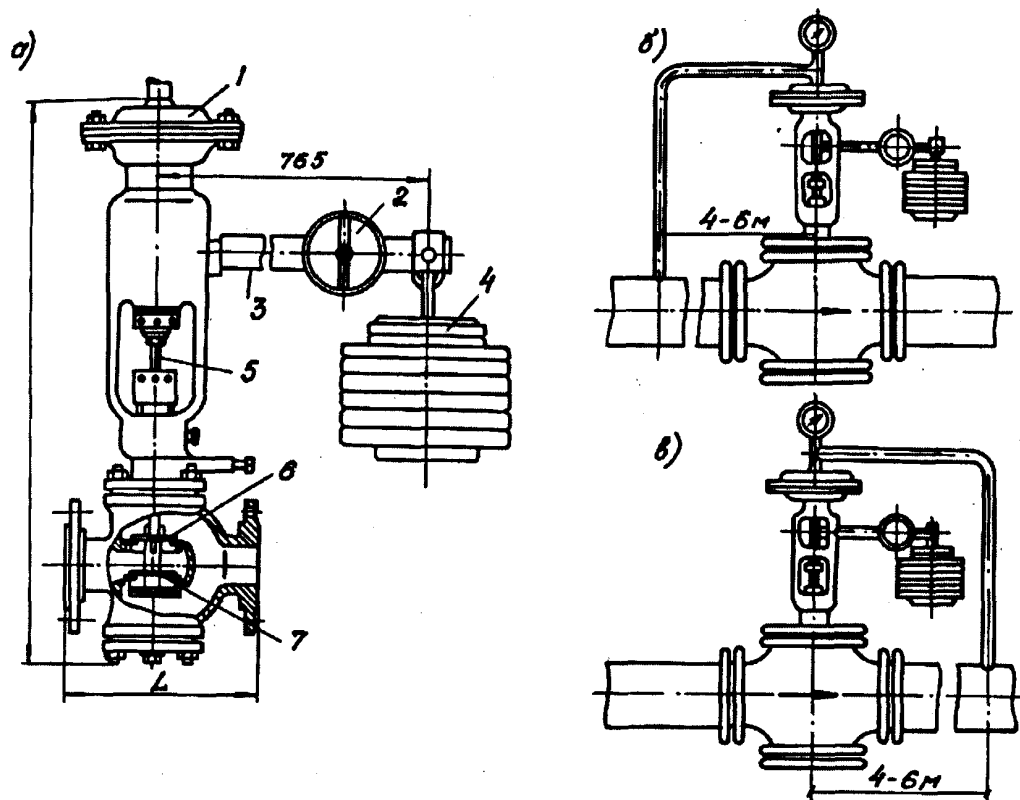


Рис. 4.8. Регулятор давления прямого действия:

а - общий вид; б - схема включения клапана давления "до себя"; в - схема включения клапана давления "после себя"; 1 – головка регулятора; 2, 4 – грузы; 3 – рычаг; 5 - шток; 6, 7 - золотники

Предохранительная арматура. К этому виду арматуры относят: обратные клапаны, клапаны автоматического действия для впуска и выпуска воздуха - вантузы (см. § 4.3), выпуски и компенсаторы.

Обратные клапаны устанавливают на сети в местах, где допускается движение воды только в одном направлении. Они используются также на напорных линиях около насосов, на линиях для отключения водонапорных башен и в ряде других случаев.

На рис. 4.9 показан обратный поворотный клапан с регулируемым закрытием. Регулирование закрытия клапана происходит за счет торможения диска демпфером, в котором масло перетекает под давлением от поршня через дроссельные отверстия из одной плоскости в другую. На рис. 4.10 приведена конструкция обратного поворотного клапана с нерегулируемым закрытием с односторонней подвеской. Тарель клапана шарнирно соединена с горловиной корпуса. Под действием движущейся воды тарель поворачивается на рычаге относительно оси и вода проходит через клапан. При обратном движении воды тарель опускается на седло, плотно прижимается к нему давлением воды и клапан закрывается.

Компенсаторы устанавливаются на водопроводах, стыковые соединения которых не компенсируют осевые перемещения, вызываемые изменением температуры воды, воздуха или грунта. Компенсаторы устанавливаются на стальных водопроводах в колодцах, камерах, каналах, мостах или эстакадах и на стояках водонапорных башен. На

рис. 4.11 показан сварной компенсатор сальникового типа.

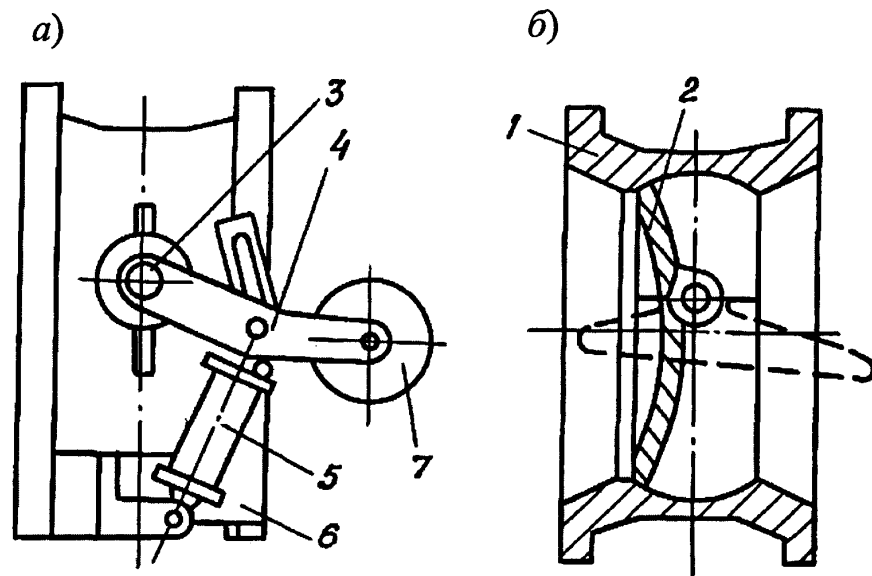


Рис. 4.9. Обратный поворотный клапан с регулируемым закрытием:
 а - общий вид; б - разрез; 1 - корпус; 2 - диск; 3 - вал; 4 - рычаг диска; 5 - гидроцилиндр-демпфер; 6 - кронштейн; 7 - противовес.

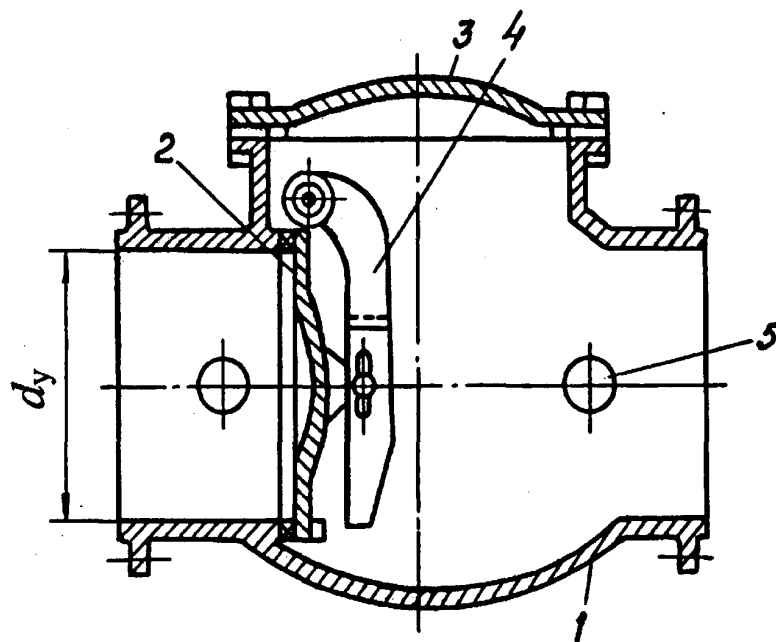


Рис. 4.10. Обратный клапан с нерегулируемым закрытием:
 1 - корпус; 2 - тарелка клапана; 3 - крышка; 4 - рычаг; 5 - байпас

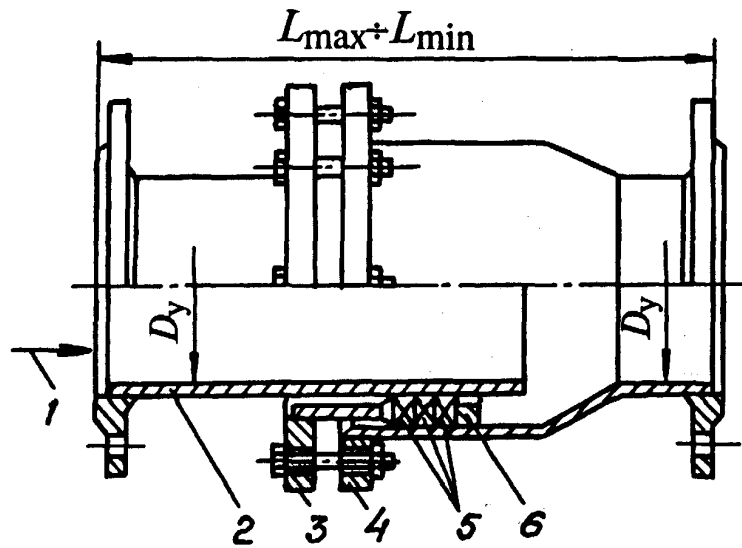


Рис. 4.11. Компенсатор сварной сальникового типа:

1 - направление течения воды; 2 - внутренний патрубок; 3 - нажимный фланец; 4 - наружный патрубок; 5 - уплотнение; 6 - упорное кольцо

Водоразборная арматура. К водоразборной арматуре в системах водоснабжения относят уличные колонки, пожарные гидранты и краны. Водопроводные краны размещают на внутренних водопроводах в жилых и общественных зданиях. В некоторых случаях отбор воды из наружной сети производится из уличных водоразборных колонок (рис. 4.12). Колонки монтируют на подставках без устройства водопроводных колодцев. При нажатии на рукоятку трубчатая штанга опускается вниз и отжимает пропускной клапан, расположенный в нижней части колонки, вода поступает в подающую трубу и свободно изливается из водоразборного отростка. После выключения колонки вода сливается в нижнюю часть корпуса и отсасывается оттуда эжектором в подающую трубу при следующем отборе.

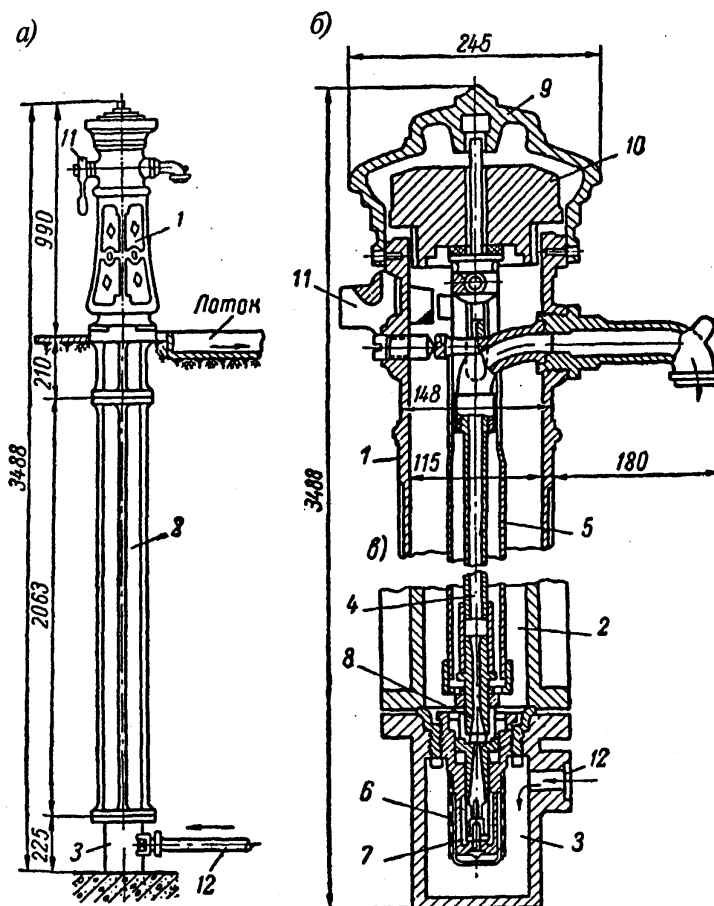


Рис. 4.12. Водоразборная колонка:

а – общий вид; б – деталь верхней части; в - деталь нижней части; 1 - корпус; 2 - патрубков; 3 - водоприемник; 4 - подающая труба; 5 - трубчатая штанга; 6 – сетка; 7 – клапан; 8 – эжектор; 9 – колпак; 10 – груз; 11 - рычаг с рукояткой; 12 - патрубков для присоединения колонки к наружной водопроводной сети

Пожарные гидранты устанавливают на наружной сети на расстоянии не более 150 м друг от друга. Они бывают двух типов: наземные и подземные. Наибольшее распространение в нашей стране получили подземные гидранты (рис. 4.13, а). Их устанавливают в водопроводном колодце на пожарной подставке, представляющей собой тройник или крестовину с вертикальным фланцевым отростком. Ствол гидранта в зависимости от глубины укладки труб может иметь высоту от 1250 до 2250 мм.

Для пользования гидрантом не его верхний конец с резьбой навинчивают стендер (рис. 4.13, б). Вращением рукоятки стендера через винтовой стержень открывают или закрывают грушевидный клапан. К отросткам стендера присоединяют пожарные рукава. После закрытия гидранта вода из стояка стекает через выпускной клапан в колодец, чем предотвращается замерзание воды.

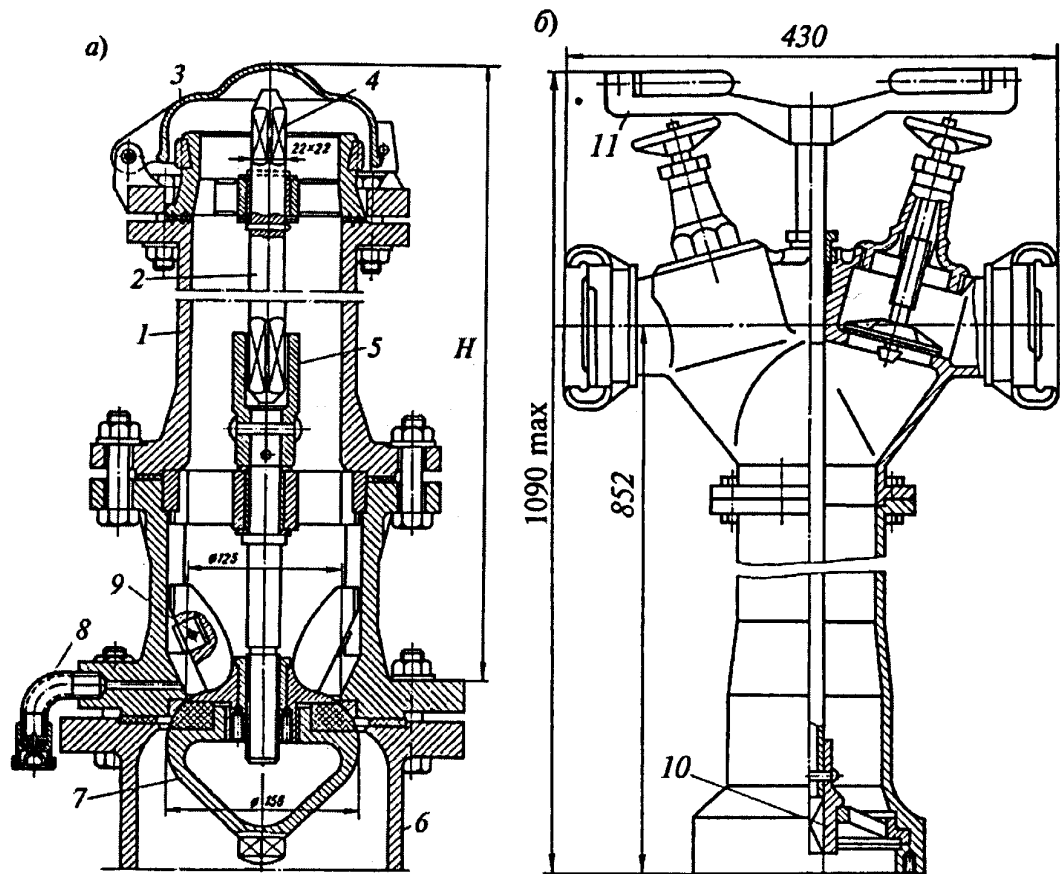


Рис. 4.13. Пожарный гидрант подземного типа:

а - гидрант, б - стендер, 1 - корпус; 2 - стержень, 3 - крышка; 4 - четырехгранник; 5 - гайка; 6 - подставка; 7 - клапан; 8 - клапан для выпуска воды; 9 - ползунок; 10 - головка стендера; 11 - рукоятка

В системах железнодорожного водоснабжения используют также специальную водоразборную арматуру, с помощью которой производят заправку пассажирских вагонов. Такую водоразборную арматуру устанавливают в междупутьях приемно-отправочных путей на расстоянии 80 м один от другого. Эта арматура представляет собой стояк-трубу, имеющую на уровне поверхности земли полугайку пожарного типа для присоединения шланга. Стояк присоединяют к разводящей сети с помощью тройника и задвижки, а между задвижкой и стояком устанавливают пробковый кран; в месте присоединения устанавливают колодец с люком. Обычно с помощью одного такого устройства поочередно можно заправить три вагона.

4.3. Выпуск и впуск воздуха при опорожнении и наполнении труб водой

В воде, подаваемой по водопроводам, всегда содержится по объему 1,5...2 % нерастворенных газов, которые условно называют «воздухом». В напорных водопроводах при соответствующих условиях воздух скапливается в определенных местах, в результате чего образуются «воздушные скопления», которые вызывают существенное увеличение потерь напора и соответственно снижают пропускную способность трубопровода. Для удаления воздушных скоплений на водоводах принято устанавливать специальные

приборы - вантузы, которые обычно размещаются на возвышенных переломных точках профиля водовода. Однако и они не всегда помогают, поскольку воздушные скопления могут находиться в равновесии при течении воды не обязательно на возвышенных точках, но также и на нисходящих или на горизонтальных ветвях продольного профиля водовода. На восходящих ветвях профиля они не задерживаются, поскольку поднимаются вверх под действием выталкивающей (архимедовой) силы.

В результате исследований установлено, что при превышении определенной скорости течения воды, названной - «критической», воздушные скопления удаляются из водоводов текущей водой.

Для определения «критической» скорости служит уравнение¹⁾

¹⁾ Дикаревский В.С. Водоводы. М.: Изд. РААСН, 1997. - 200 с.

$$H_f - J_0 l = 0, \quad (4.1)$$

где h_f - потеря напора по длине возможного воздушного скопления, м.вод.ст.;
(искомая величина, от которой зависит значение «критической скорости»);
 J_0 - уклон трубопровода;
 l - длина воздушного скопления, м.

В отличие от обычной для напорных водопроводов зависимости $h_f = i l$ в формулу (4.1) входит уклон нисходящей ветви труб J_0 по длине воздушного скопления l .

Из уравнения (4.1) можно найти скорость течения воды $v_{кр}$, при которой воздушное скопление находится в «неустойчивом» равновесии. Это можно сделать, поскольку $h_f = f(v)$. При превышении критической скорости, т. е. при $v \geq v_{кр}$ скопление удаляется текущей водой, а при $v < v_{кр}$ поднимается к самой высокой точке профиля водовода на данном участке и там тоже оказывает сопротивление течению воды.

Определенную трудность представляет вычисление возможной длины скопления тем более, что все время может изменяться (возрастать или укорачиваться). Можно предположить, что во время перерывов в подаче воды, весь воздух скапливается вблизи возвышенных точек. Объем этого воздуха у рассматриваемой возвышенной точки («вершины» на профиле) приближенно равняется

$$V_{возд} = \frac{q_v V_{np}}{100 p}, \quad (4.2)$$

где q_v - содержание нерастворенного воздуха в воде в % (обычно 1,5 %);
 V_{np} - объем воды в двух примыкающих к данной «вершине» ветвях, м³;
 p - среднее давление на нисходящей ветви трубопровода, МПа.

Приближенно полагая, что воздух занимает примерно половину сечения трубы получаем

$$l = \frac{2V_{\text{воз}}}{W_m}, \quad (4.3)$$

где Ω_T - площадь живого сечения трубы, м².

Однако, даже рассчитав возможность образования в трубах водовода воздушных скоплений и убедившись, что они, как правило, будут удаляться из труб текущей водой все равно для надежности работы водовода лучше на основных возвышенных точках профиля предусмотреть установку вантузов.

Простейший вантуз представлен на рис. 4.14. Основной его деталью является шаровой поплавок, изготовленный из дерева, обтянутого резиной, или из пластмассы. В рабочем положении поплавок занимает свое верхнее положение и закрывает воздуховыпускное отверстие. При наклонении в корпусе вантуза воздуха, попадающего в него из трубопровода, горизонт воды в корпусе понижается, поплавок на короткое время опускается и тем самым открывает отверстие для выпуска воздуха. Затем поплавок снова всплывает и закрывает отверстие для выпуска воздуха.

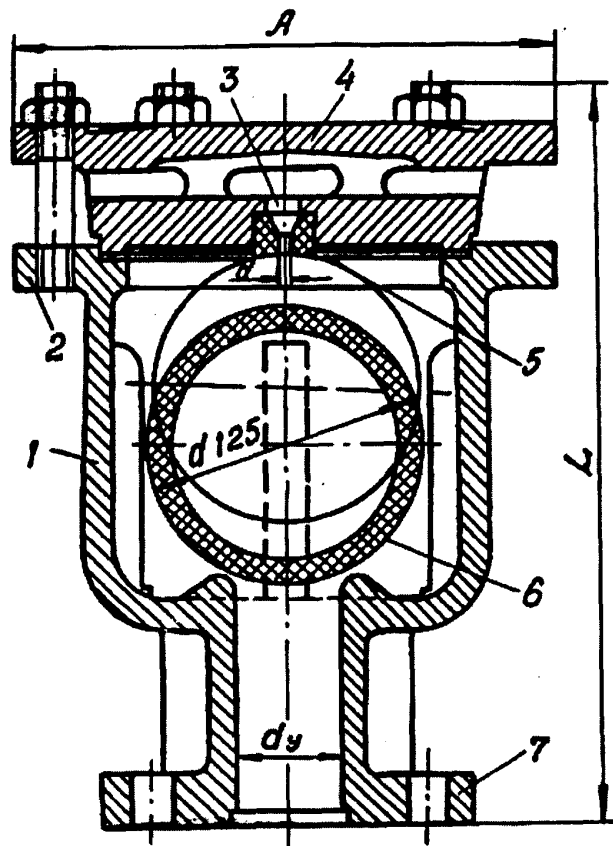


Рис. 4.14. Поплавковый вантуз:

1 - корпус; 2 - фланец корпуса; 3 - воздуховыпускное отверстие; 4 - крышка; 5 - бронзовая втулка; 6 - поплавок; 7 - соединительный фланец патрубка

Для нормальной работы вантуза необходимы два условия: во-первых, поплавок должен быть плавучим, т.е. будучи помещенным в воду не тонуть; во-вторых должно

соблюдаться условие:

$$G = p \omega_0 + K, \quad (4.4)$$

где G - сила тяжести поплавка, н ; $G = m g$;
 m - масса поплавка, кг;
 g - ускорение силы тяжести; ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);
 p - давление воды в месте установки вантуза, Па;
 ω_0 - площадь живого сечения воздуховыпускного отверстия, м^2 ; $\omega_0 = \pi d^2/4$;
 K - выталкивающая (архимедова) сила, действующая в момент открытия отверстия при погружении поплавка в воду на величину $h_{\text{п}}$, н:

$$K = \frac{\pi}{3} \cdot h_{\text{п}}^2 \cdot (3R - h_{\text{п}}) \cdot \rho \cdot g \quad (4.5)$$

где R - радиус поплавка, м;
 ρ - плотность воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Обычно при расчете предполагают, что поплавок будет открывать отверстие только, когда уровень воды в корпусе вантуза не снизится до его нижней кромки, т.е. при $h_{\text{п}} = 0$, тогда $K = 0$ и следовательно вантуз будет работать при

$$d_{\text{п}} < \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot p}}. \quad (4.6)$$

Обычно при приемлемых размерах и массе поплавка диаметр получается по расчету очень небольшим, не превышающим 3 - 5 мм. Для того, чтобы это отверстие было больше и следовательно реже засорялось применяют рычажные вантузы, в которых поплавок укрепляют на рычаге (рис. 4.15). Во всех случаях диаметр присоединительного патрубка d_y назначают 50 мм или 75 мм.

В рычажных вантузах, за счет действия рычага, удается увеличить отрывную силу, действующую на клапан при понижении воды в корпусе вантуза. За счет этого удается увеличить диаметр воздуховыпускного отверстия d до 10-12 мм при тех же размерах вантуза. Такое отверстие реже засоряется, но наличие рычага с осью, прикрепленной к верхней крышке клапана, создает дополнительные неудобства при эксплуатации.

Вместо вантузов иногда можно устанавливать, изобретенные в ЛИИЖТе, воздухоотводчики, основой которых служит боросиликатное стекло (рис. 4.16), которое под давлением способно пропускать воздух, но не смачивается и не пропускает воду.

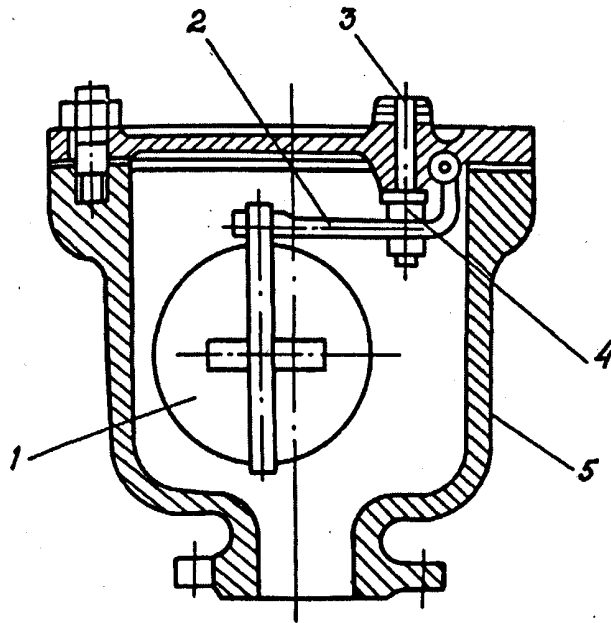


Рис. 4.15. Рычажный поплавковый вентиль:
 1 - поплавок; 2 - рычаг; 3 - воздуховыпускное отверстие; 4 - клапан; 5 – корпус

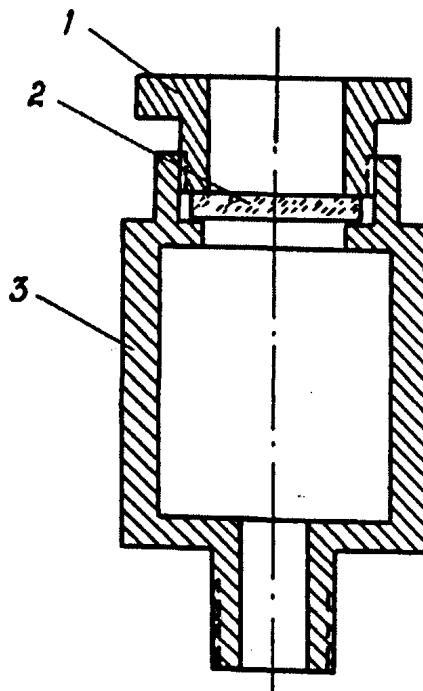


Рис. 4.16. Воздухоотводчик:
 1 – зажимная гайка; 2 – диск из боросиликатного стекла; 3 - корпус

Воздух необходимо выпускать из трубопровода не только во время его нормальной эксплуатации, но и в период первоначального заполнения труб водой или заполнения их после аварий. Кроме этого, при любом опорожнении водоводов в него следует впускать воздух в больших объемах, иначе вода будет вытекать из трубопровода очень медленно. Попытка опорожнения трубопровода без впуска в него воздуха в достаточном количестве, может привести к образованию в ней вакуума и смятию труб под действием атмосферного давления и вышележащего грунта.

Диаметры выпускных трубопроводов и впускных отверстий воздушных клапанов должны назначаться по расчету. Первоначально этими диаметрами задаются и далее определяется продолжительность опорожнения труб, которая должна быть не более нормативной - t_n . По действующему СНиП 2.04.02-84 $t_n \leq 2$ ч. Как правило, диаметры воздухопускных и воздуховыпускных отверстий, приборов, используемых при опорожнении трубопроводов или при заполнении их водой, получаются значительно больше, чем принятые у обычных вантузов. Поэтому для впуска и выпуска воздуха в значительных объемах применяют воздушные клапаны. Наиболее рационально применять комбинированные клапаны, например с двумя поплавками, как показано на рис. 4.17. У этого клапана два отверстия - малое и большое. При нормальной работе водовода левый поплавок по мере накопления воздуха отпадает на короткий период от отверстия и воздух выпускается, а правый поплавок по прежнему остается плотно прижатым к седлу, даже если весь корпус прибора заполняется воздухом. Правый поплавок опускается и открывает отверстие только, когда давление в корпусе прибора упадет до атмосферного или еще ниже. При этом воздух в больших объемах втекает в трубопровод или вытекает из него. Другим примером комбинированного воздушного клапана служит прибор ЛИИЖТа (рис. 4.18). Для выпуска воздуха в небольших количествах служит малое отверстие, оно открывается, когда корпус заполняется воздухом и при этом поплавок опускается. Для выпуска и впуска воздуха в больших объемах служат круглые отверстия в крышке прибора. При эксплуатации прибора под давлением они закрыты тарельчатым клапаном. Этот клапан опускается вместе со всей системой, когда давление в корпусе падает до атмосферного или даже до образования в корпусе вакуума.

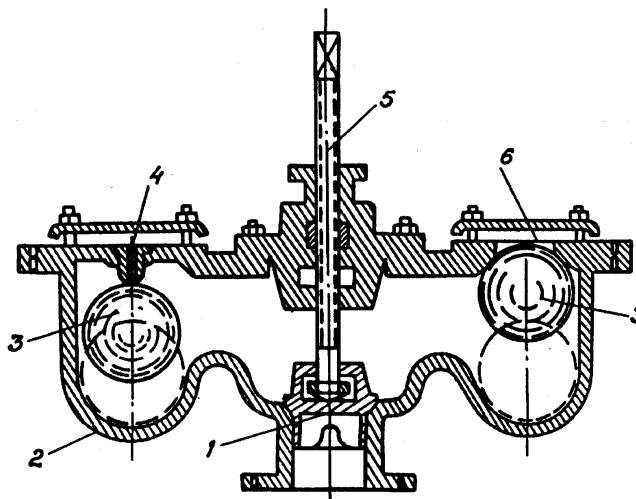


Рис. 4.17. Комбинированный воздушный клапан:

1 - запирающий клапан; 2 - корпус; 3 - поплавок; 4 – малое воздуховыпускное отверстие; 5 – шток для управления запирающим устройством; 6 - большое воздуховыпускное отверстие

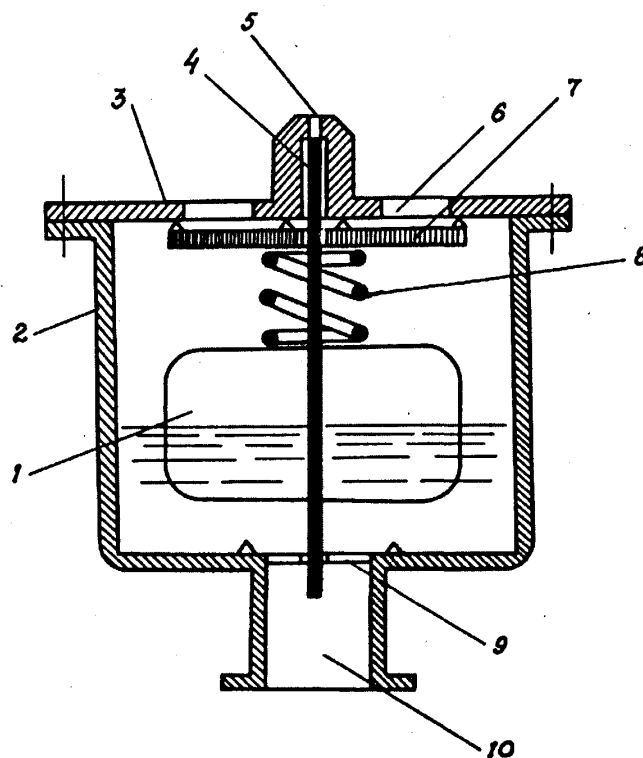


Рис. 4.18. Комбинированный воздушный клапан ЛИИЖТа:
 1 - поплавок; 2 - корпус; 3 - крышка с большими отверстиями; 4 – шток; 5 – малое воздуховыпускное отверстие; 6 - большие отверстия; 7 - тарельчатый клапан; 8 - пружина; 9 - направляющие штока; 10 - патрубок

4.4. Гидравлический удар в водопроводах и противоударная защита труб

Гидравлическим ударом в водопроводах называется скачкообразное повышение или снижение напора в нем при резком изменении скорости течения жидкости. Изменение скорости протекания жидкости вызывается быстрым открытием или закрытием кранов, задвижек, клапанов или внезапным пуском или остановкой насосов при постоянно открытой задвижке на напорной линии. Гидравлические удары, как правило, отмечаются в напорных линиях.

Известно, что внезапное повышение давления в трубах, как правило превышающее рабочий и статический уровни, вызывает разрывы труб, повреждение арматуры и измерительных приборов, нарушение герметичности стыковых соединений и другие неприятности. Поэтому применяются специальные приборы для гашения гидравлических ударов или используются мероприятия, не допускающие их возникновения. Увеличение толщины стенок труб для защиты их от разрушения при гидравлических ударах повсеместно признано нерациональным.

Величина гидравлических ударов зависит от различных параметров и местных факторов, поэтому прежде чем с ними бороться следует уметь их оценить для данных конкретных условий.

Впервые теория гидравлического удара в трубах создана выдающимся русским ученым Н.Е.Жуковским в конце XIX века. На основании теоретических и

экспериментальных исследований им выведена формула, которая в современном написании, для случая быстрого закрытия или открытия крана или задвижки имеет вид:

$$H = H_o \pm \frac{c(v_o - v)}{g}, \quad (4.7)$$

где H - напор при гидравлическом ударе, м.вод.ст.;
 H_o - первоначальный напор в данной точке трубопровода, м.вод.ст.;
 c - скорость распространения (перемещения) ударной волны по трубам, м/с;
 v_o - первоначальная скорость течения жидкости до перекрытия крана или задвижки, м/с;
 v - скорость течения жидкости после частичного перекрытия трубы, м/с;
 g - ускорение силы тяжести, м/с².

Если рассматриваемый кран или задвижка закрылись полностью, то $v = 0$ и тогда

$$H = H_o \pm \frac{cv_o}{g}. \quad (4.8)$$

В последнем выражении знак плюс соответствует закрытию крана или задвижки, а знак минус открытию этой арматуры в начале трубопровода.

В последнем случае давление в первой фазе колебаний напора снижается, но затем снова возрастает.

Указанные выражения достаточно точны и совпадают с экспериментами только для так называемого «прямого» удара, т.е. в тех случаях, когда соблюдается условие

$$t_3 \leq \frac{2L}{c} = \tau, \quad (4.9)$$

где t_3 - время регулирования потока жидкости, т.е. продолжительность изменения скорости (расхода) в трубопроводе, равное времени закрытия или открытия крана или задвижки, с;
 L - длина трубопровода, м;
 τ - полупериод или фаза гидравлического удара, с.

Если $\tau > t_3$, то происходит, так называемый «непрямой» гидравлический удар, напор при котором меньше, чем по формулам (4.7) и (4.8), за счет отраженных от конца трубопровода новых волн понижения или повышения напора.

Скорость распространения ударных волн вдоль трубопровода для воды принято вычислять по формуле

$$C = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{D}{6} \cdot \frac{E_B}{E_T}}} \quad (4.10)$$

где E_B - объемный модуль упругости воды, Па; ($E_B \approx 2,1 \cdot 10^3$ МПа);
 E_T - модуль упругости материала труб, МПа.

Величина скорости C для металлических труб в зависимости от их диаметров приближенно равняется от 900 до 1300 м/с, а для неметаллических от 300 до 800 м/с. При "непрямых" ударах величина гидравлического удара рассчитывается с учетом интерференции волн, т.е. суммирования прямых и обратных волн давления. Эти расчеты весьма трудоемки и выполняются на ЭВМ.

Гидравлические удары при пуске насоса в действие проще всего оценить графически, для этого нужно знать характеристику насоса « $q - H$ ». Обычно подобные характеристики имеют вид падающей кривой напора H по мере увеличения производительности насоса q . При этом наибольший напор у большинства насосов отмечается при $q = 0$. Когда насос запускается в действие вода по трубопроводу первые мгновения не течет, поскольку происходит, так называемое, заполнение «свободной емкости труб» за счет некоторого сжатия воды и расширение стенок труб под действием повышения давления. При этом отмечается наибольшее давление при пуске (см. рис. 4.19, а). Затем насос постепенно выходит на рабочее давление. Для приближенной оценки напора, возникающего при пуске насоса, нужно построить прямую линию по формуле (4.8), где $v_0 = v$ - переменная величина, равная q/ω_0 , которой надо последовательно задаваться (ω_0 - площадь живого сечения трубы). Точка пересечения характеристики « $q - H$ » (на графике на рис. 4.19, б точка «У») с указанной выше прямой приближенно соответствует возможному напору при пуске насоса H_y , который как правило, больше рабочего напора H_p .

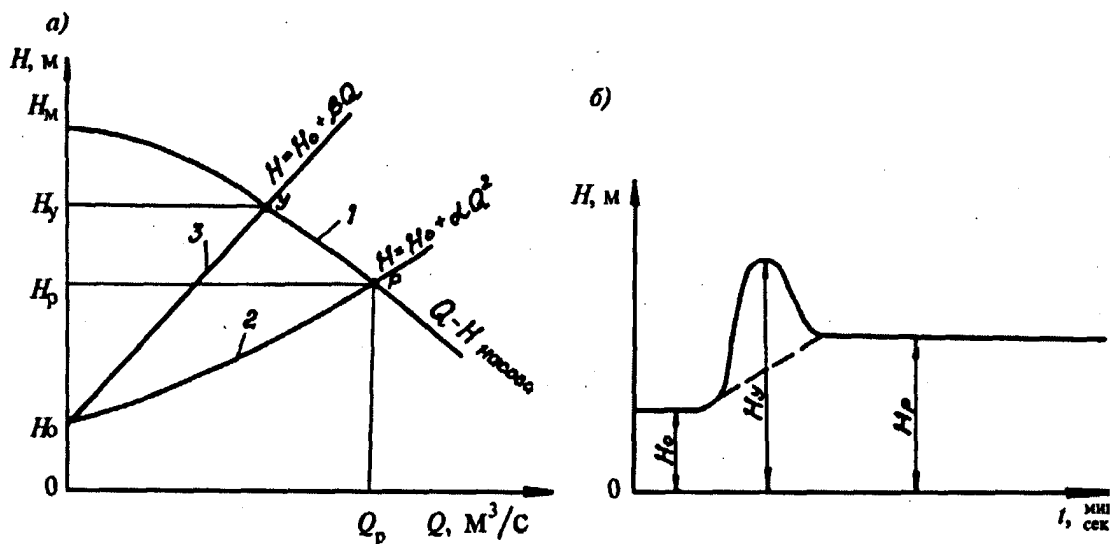


Рис. 4.19. Гидравлический удар при пуске насоса:

а - графическое определение величины гидравлического удара; б - осциллограмма колебания напора; 1 - характеристика насоса - $Q - H$ "; 2 - то же трубопровода при установившемся течении; 3 - то же при неустановившемся процессе во время пуска насоса

Оценка величины гидравлического удара при внезапном отключении насоса вызывает определенные затруднения. В этом случае для расчета кроме характеристики насоса надо знать характер кривой падения напора при остановке насоса. При этом прекращение течения по трубопроводу может вызвать появление в нем вакуума и разрыва сплошности потока жидкости, которые в определенной мере увеличат напор после появления отраженной ударной волны, в момент удара воды о закрывшийся обратный клапан.

Для предохранения трубопроводов от гидравлических ударов применяются разные способы. Это, во-первых, установка вблизи насосов на напорных трубопроводах воздушно-гидравлических колпаков, т.е. сосудов частично заполненных воздухом, а частично водой. Для того, чтобы воздух не растворялся в воде и не утекал через неплотности в местах присоединения к трубопроводу, этот воздух закачивают в футбольные или автомобильные камеры (рис. 4.20). При повышении давления воздух в камерах сжимается, т.е. играет роль амортизаторов и гидравлический удар затухает. Во многих случаях воздушно-гидравлические колпаки получаются по расчету слишком громоздкими, поэтому вместо них рекомендуется на насосных станциях устанавливать клапаны – гасители ударов. На рис. 4.21 представлен разработанный в ЛИИЖТе поршневой клапан гаситель гидравлических ударов дифференциального действия. При повышении давления во время гидравлического удара тарелка клапана приподнимается и часть воды сбрасывается по отводному трубопроводу в канализацию - гидравлический удар при этом гасится. Для того, чтобы сброс воды прекратился и клапан закрылся у него имеется импульсная трубка, в которую вставлена мембрана с отверстием диаметром 1-2 мм. Благодаря этой мембране повышение давления с запаздыванием передается в верхнее надпоршневое пространство клапана. Во время этого периода через клапан сбрасывается вода. В момент, когда давление сверху на поршень станет больше, чем снизу на клапан, происходит опускание клапана и перекрытие сбросного отверстия. Это происходит потому, что площадь поршня превышает площадь клапана. Пружина в данном случае служит только для смягчения ударов клапана о седло.

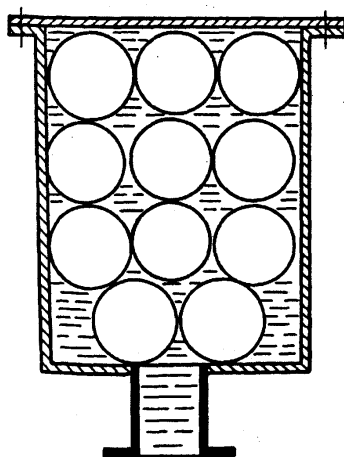


Рис. 4.20. Рекомендуемое заполнение воздушно-гидравлического колпака футбольными камерами

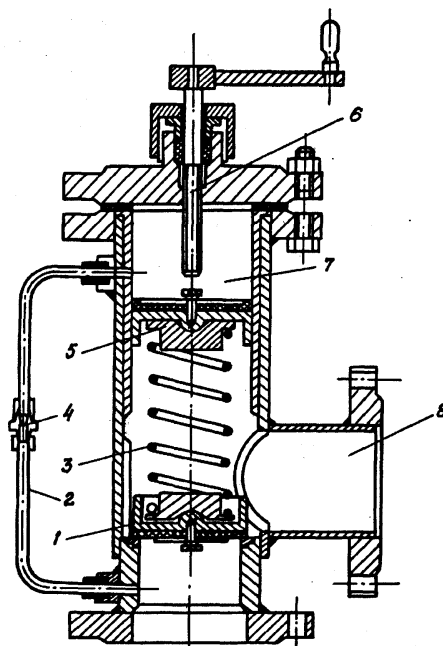


Рис. 4.21. Поршневой клапан-гаситель гидравлических ударов конструкции ЛИИЖТа:

1 - тарельчатый клапан; 2 - импульсная трубка; 3 - пружина; 4 - диафрагма; 5 - поршень; 6 - устройство для зарядки клапана; 7 - цилиндр (надпоршневое пространство); 8 - патрубок для сброса воды

Для предохранения трубопроводов от разрушения могут служить также тонколистовые мембраны (рис. 4.22), установленные на отводе от основного трубопровода. Они изготавливаются из титановой или стальной фольги и в момент повышения давления до опасного предела разрываются, при этом часть воды сбрасывается из трубопровода и гидравлический удар затухает. Далее необходимо закрыть задвижку перед мембраной и заменить ее на целую. Существуют автоматические запорные устройства, которые перекрывают сбросной трубопровод после разрыва мембраны.

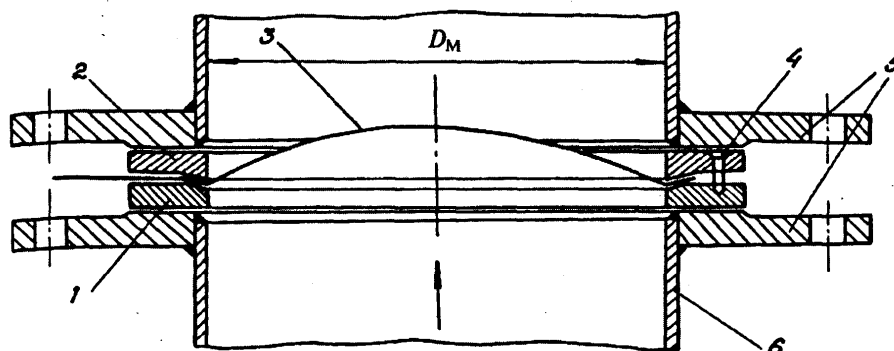


Рис. 4.22. Установка предохранительной мембраны на отводном трубопроводе: 1 и 2 прижимные кольца; 3 - тонколистовая разрывная мембрана; 4 - винт; 5 - фланцы; 6 - отводной трубопровод

Иногда применяют и другие способы защиты трубопроводов от гидравлического удара и, в частности, выпуск воздуха в трубопровод в местах образования в нем вакуума (возможен только на трубопроводах, подающих техническую воду), пропуск воды в обратном направлении через насос при отсутствии на напорном трубопроводе обратного клапана, устройство водяных колонн и других устройств, описанных в специальной литературе.

4.5. Водопроводные колодцы и камеры

Водопроводные колодцы и камеры устраивают на наружной водопроводной сети для размещения в них задвижек, вантузов, пожарных гидрантов, другой арматуры, а также для присоединения ответвлений и устройства выпусков. Водопроводные колодцы и камеры могут быть круглой и прямоугольной формы в плане. Их размеры устанавливают в зависимости от диаметра и заглубления водопровода, вида монтируемого в них оборудования, а также требований эксплуатации.

При строительстве наружной водопроводной сети колодцы, как правило, монтируют из сборного железобетона. При соответствующем обосновании в отдельных случаях допускается устройство колодцев из местных материалов (из кирпича или монолитного бетона).

Круглые колодцы из сборного железобетона (рис. 4.23) состоят из днища, рабочей части, перекрытия и горловины. Рабочую часть составляют из колец диаметром 1000, 1500 и 2000 мм. Для перекрытия используют круглые или прямоугольные плоские плиты. В отдельных случаях колодцы перекрывают дорожными плитами с нишей для люка.

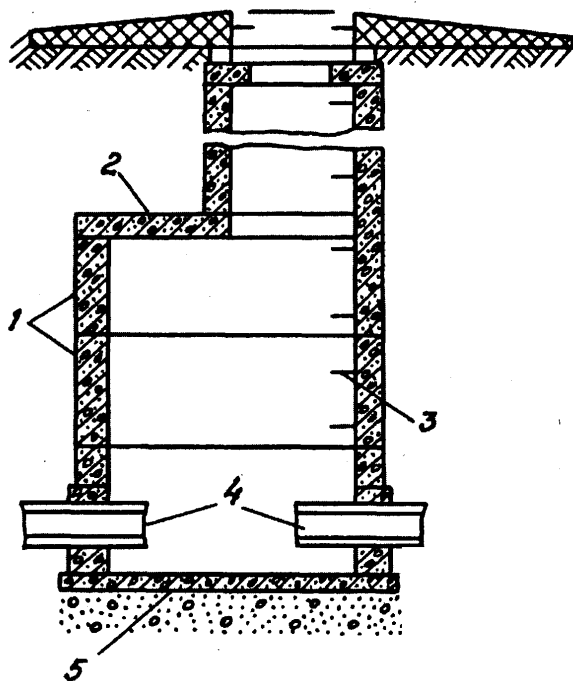


Рис. 4.23. Водопроводный колодец:

1 - кольца из железобетона; 2 - плита перекрытия; 3 – скобы; 4 – водопроводные трубы; 5 – днище

Горловины колодца составляют из колец высотой 290 и 890 мм диаметром 700 мм и в зависимости от толщины засыпки над перекрытием принимают общую высоту. Конструкция горловины включает опорные кольца. При необходимости горловины наращивают кирпичной кладкой.

Конструкция горловины колодцев, устраиваемых вне проезжей части дороги показана на рис. 4.24, а, а колодцев, устраиваемых на проезжей части, - на рисунке 4.24, б. Для закрытия лазов колодцев на горловину горизонтально устанавливают чугунный люк; тяжелый типа «Т» (для проезжей части улиц) и легкий типа «Л» (для тротуаров и дорог с движением транспорта ограниченного тоннажа и непроезжих мест). Люки колодцев водопроводов, прокладываемых по незастроенной территории, должны возвышаться над поверхностью земли на 20 см.

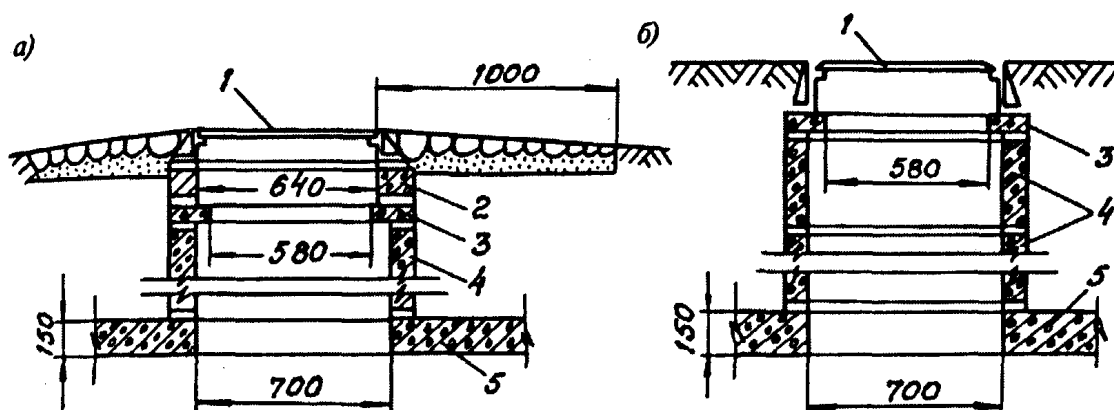


Рис. 4.24. Горловина водопроводного колодца:

а – на непроезжей части; б – на проезжей части; 1 – люк; 2 - кирпичная кладка; 3, 4 - опорное и стеновое кольца; 5 - плита перекрытия

Задвижки, тройники, крестовины и другую фасонную арматуру, размещаемые в колодцах, устанавливают на опорах из монолитного бетона.

Заделка труб в стенках колодцев должна обеспечивать плотность соединения, водонепроницаемость в условиях мокрых грунтов, возможность независимой осадки стенок.

В мокрых грунтах для хорошей заделки труб в стенках колодцев устанавливают патрубki из стальной трубы с зазором 30 мм. Отверстие в патрубке со стороны наружной поверхности колодца бетонируют. Щель между трубой и патрубком заделывают просмоленным канатом, выходные отверстия щели заделывают асбестоцементом. В плотных сухих грунтах допускается заделка труб в стенки колодцев без установки патрубков.

4.6. Прокладка водопроводных линий через естественные и искусственные препятствия

Прокладка наружных водопроводов через реки и каналы осуществляют в виде дюкера. Дюкеры прокладывают в две нитки из стальных труб под дном реки. По обеим сторонам дюкеров предусматривают колодцы, в которых располагают задвижки, а в верхнем колодце, кроме того, устанавливают вантуз. Стальные трубопроводы укладывают

в траншее, разрабатываемой в дне водотока. Для защиты труб от подмыва, просадок и других внешних воздействий глубина заложения от отметки дна реки до верхней образующей трубопровода должна быть не менее 0,5 м при прокладке его под реками, каналами, проливами и другими водотоками и не менее 1 м при прокладке под судоходными руслами. Расстояние между линиями дюкера в свету должно быть не менее 1,5 м. Диаметр каждой линии дюкера принимают несколько меньшим по сравнению с диаметром примыкающих участков, что предотвращает засорение трубопровода, поскольку скорость течения в нем возрастает.

Пересечение водопроводами балок, оврагов, каналов или речек с крутыми берегами или небольшой ширины целесообразно выполнять в виде акведуков. Их устраивают чаще всего по типу мостов балочной или подкосноригальной системы.

В соответствии с действующими правилами все пересечения водопроводами железнодорожных путей на железных дорогах I, II и III категорий, на перегонах главных и приемо-отправочных станциях устраивают в футлярах (кожухах). Защитные футляры обязательны также при пересечении автомобильных дорог I и II категорий. Под остальными железнодорожными путями и автодорогами водопроводы допускается укладывать из стальных труб без футляров.

Устройство переходов наиболее целесообразно в пределах невысоких насыпей и нулевых мест земляного полотна. Пересечение водопроводами тела железнодорожных насыпей не допускается. Переходы необходимо располагать в местах с минимальным числом путей, как правило, вне мест расположения стрелочных переводов, съездов и перекрестных сечений, не ближе 10 м от фундаментов искусственных сооружений. Не допускаются пересечения электрифицированных железнодорожных путей под стрелками и крестовинами, а также в местах присоединения к рельсам отсасывающих кабелей. Пересечения должны находиться от указанных мест, а также от опор контактной сети не ближе 10 м.

Типовые решения переходов трубопроводах под железнодорожными путями, расположенными в насыпи, неглубокой выемке до 2 м и в глубокой выемке более 2 м приведены на рис. 4.25.

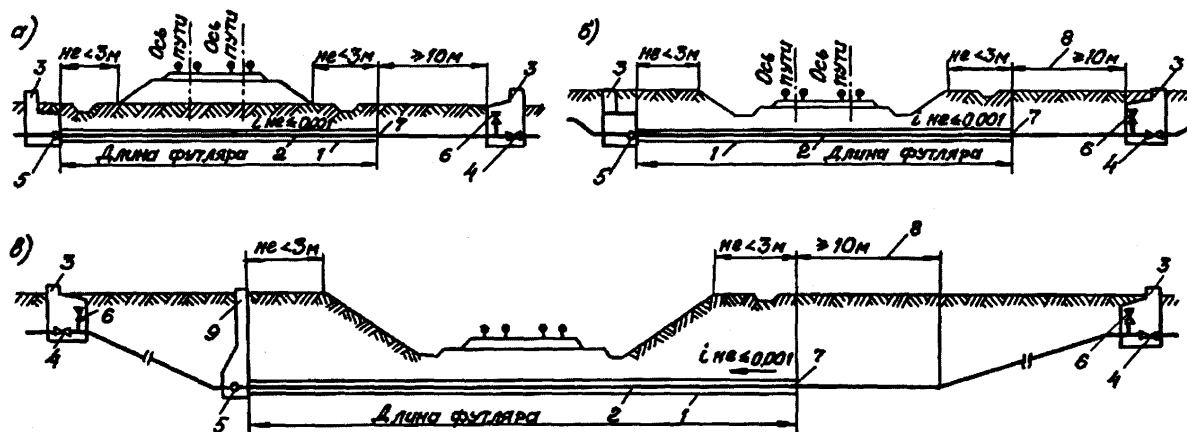


Рис. 4.25. Схемы перехода водопроводами под железнодорожными путями: а - в насыпи; б - в неглубокой выемке; в - глубокой выемке; 1 – футляр; 2 – рабочий трубопровод; 3 – колодцы; 4 - задвижки; 5 - выпуск; 6 - вентиль; 7 - сальник; 8 - ремонтный участок; 9 - смотровой колодец

Футляр укладывают с уклоном не менее 0,001, обеспечивающим сток воды.

Верховой конец его после пропуска рабочих труб заделывают, а низовой выводят в смотровой колодец и оставляют открытым. Между футляром и рабочей трубой остается зазор, по которому в случае прорыва рабочей трубы вода поступает в колодец.

Глубина заложения верха футляра от подошвы рельса железнодорожного пути или от покрытия автомобильной дороги должна быть не менее: 1 м при открытом способе производства работ по укладке футляра; 1,5 м при производстве работ по устройству футляра методом продавливания, горизонтального бурения или щитовой проходки; 2,5 м - при проколе.

Для размещения в футлярах рабочих трубопроводов применяют различные конструкции опор: ползунковые, роликовые и лотковые.

В отдельных случаях переходы водопроводами через автомобильные и железные дороги можно выполнять по эстакадам. Для устройства эстакад используют промышленные конструкции. Переходы над железнодорожными путями по эстакадам должны представлять железобетонные пешеходные мосты. При прокладке водопроводов по эстакадам трубы помещают в футляр, заполненный теплоизоляционным материалом.

4.7. Испытание и сдача водопроводной сети в эксплуатацию

После монтажа водопроводной сети перед сдачей ее в эксплуатацию производят проверку и испытание всех участков сети. В соответствии со СНиП испытание водопроводов, уложенных в землю, производится дважды: предварительное испытание на прочность и окончательное испытание на плотность.

Предварительное испытание (на прочность) производится до засыпки траншеи и установки гидрантов, вантузов, предохранительной арматуры, вместо которых используют заглушки. При этом до испытания на водопроводе должны быть тщательно подбиты пазухи, а по обоим концам испытываемого участка устроены упоры.

Испытание производится отдельными участками длиной не более 1 км в том случае, если водопровод смонтирован из чугунных, асбестоцементных или железобетонных труб и не более 0,5 км для водопроводов из полиэтиленовых труб. В практике строительства водопроводных сетей в основном используют гидравлический способ испытания (рис. 4.26).

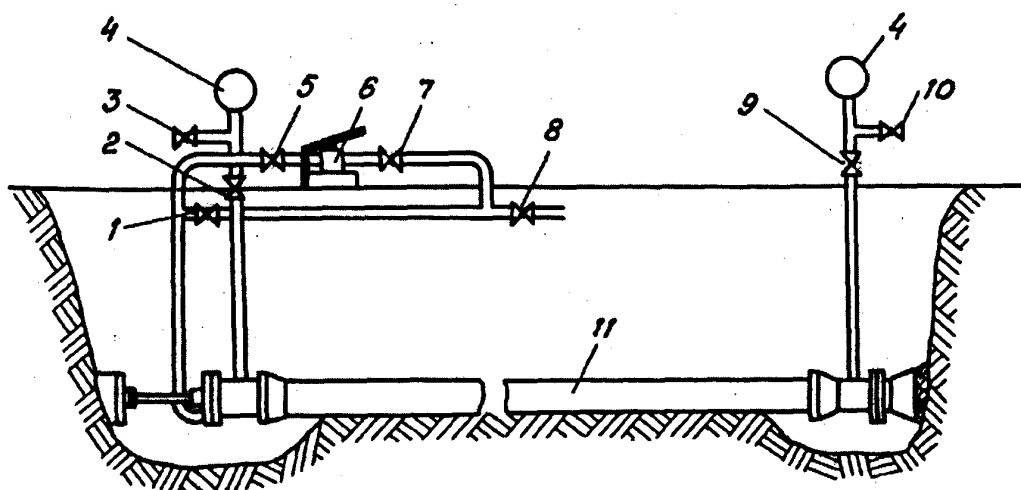


Рис. 4.26. Схема гидравлического испытания участка водопроводной сети:
1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10 - вентили; 4 - манометры; 6 – гидравлический пресс; 11 – участок водопроводной сети

Испытание начинается с заполнения трубопровода водой от действующего участка сети и выпуска из него воздуха. Для этого к концевым точкам участка присоединяют трубки диаметром 19 мм с вентилями. После наполнения трубопровода водой при помощи гидравлического пресса поднимают давление в нем до испытательного. Величина испытательного давления назначается в соответствии с рабочим давлением и определяется проектом. Для чугунных труб испытательное давление принимается на 0,5 МПа, а для железобетонных на 0,3 МПа больше рабочего. В асбестоцементных трубах величина испытательного давления должна превышать рабочее на 0,3 МПа, если трубы рассчитаны на давление 0,6 МПа, и приниматься в 1,5 раза больше, если трубы рассчитаны на давление превышающее 0,6 МПа. Для пластмассовых труб испытательное давление принимается в 1,5 раза больше рабочего. В стальных водопроводах давление не должно быть меньше 10 МПа. Все трубопроводы, кроме полиэтиленовых, выдерживают под испытательным давлением не менее 10 мин., а трубопровод из полиэтиленовых труб – не менее 30 мин. Затем давление снижают до рабочего и производят осмотр трубопровода. Водопровод считается выдержавшим предварительное испытание, если в нем не произошло разрыва труб фасонных частей и нарушения заделки стыков, а под рабочим давлением не обнаружено утечек воды.

Для водопроводов, которые по условиям производства работ должны быть немедленно засыпаны, предварительное испытание разрешается не производить.

Окончательное испытание (на плотность) производится после засыпки траншеи в основном теми же средствами, что и предварительное. Окончательное испытание может быть начато, если с момента засыпки траншеи и заполнения трубопровода водой прошло не менее 24 ч., а для железобетонных труб - не менее 72 ч. В процессе окончательного испытания определяют фактическую утечку воды из трубопровода, которая не должна превышать допустимого значения. Допускаемые утечки для трубопроводов длиной 1 км наружных водопроводных сетей приведены в табл. 4.2. Если участок меньше этой длины, то величину утечки, указанной в таблице 4.2 следуют умножить на длину участка (в км).

Таблица 4.2.

Допустимые величины утечки воды (в л/мин) для проведения окончательных испытаний водопроводов

Внутренний диаметр трубопровода, мм	Трубы при испытательном давлении			Железобетонные трубы при рабочем давлении
	стальные	чугунные	асбестоцементные	
100	0,28	0,7	1,4	-
125	0,35	0,9	1,56	-
150	0,42	1,05	1,72	-
200	0,56	1,4	1,98	-
250	0,7	1,55	2,22	-
300	0,85	1,7	2,42	-
350	0,9	1,8	2,62	-
400	1	1,95	2,8	-
450	1,05	2,1	2,96	-
500	1,1	2,2	3,14	3,2
600	1,2	2,4	3,44	3,4

Внутренний диаметр трубопровода, мм	Трубы при испытательном давлении			Железобетонные трубы при рабочем давлении
	стальные	чугунные	асбестоцементные	
700	1,3	2,55	3,7	3,7
800	1,35	2,7	3,96	3,9

Водопровод считается выдержавшим окончательное испытание, если фактические утечки не превышают допустимые.

Для чугунных труб, соединяемых между собой с помощью резиновых манжет величины утечек можно принимать такими же, как для стальных трубопроводов. При испытании водопроводов из пластмассовых труб фактические утечки не определяются.

Участок водопровода из пластмассовых труб считается выдержавшим гидравлическое испытание, если после последовательного нахождения его в течение 30 мин под испытательным давлением и 30 мин под рабочим давлением в течение следующих 10 мин рабочее давление в трубопроводе не уменьшится более чем на 0,01 МПа.

После испытаний перед сдачей в эксплуатацию водопровод тщательно промывают и дезинфицируют. Промывку сети выполняют в течение 4-5 ч. при максимально возможной скорости течения воды, но не менее 1 м/с.

Дезинфекцию промытого участка водопровода осуществляют водой с раствором хлора или хлорной извести с концентрацией активного хлора 75-100 мг/л в течение 5-6 ч. Разрешается проводить дезинфекцию трубопровода и с меньшей дозой активного хлора - 40-50 мг/л, но при этом время увеличивается до 24 ч. и более. По окончании дезинфицирования хлорную воду спускают в канализацию, а водопровод подвергают повторной промывке с отбором проб воды для лабораторного исследования. В конце промывки содержание остаточного хлора должно быть 0,3 – 0,5 мг/л.

5. ВОДОНАПОРНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ РЕЗЕРВУАРЫ

5.1. Общие сведения о емкостях систем водоснабжения

В системах водоснабжения резервуары различных видов находят широкое применение в качестве регулирующих и запасных емкостей. Объем этих емкостей включает регулирующий, противопожарный и аварийный запасы воды, а также используется для хранения расходов на технологические нужды самих станций водоподготовки.

Регулирующие емкости устраивают, когда подача воды насосами в отдельные часы суток не соответствует потреблению. В таких емкостях вода аккумулируется в период превышения подачи над водопотреблением, и затем расходуется, когда потребление воды превышает ее подачу насосами.

Запасные емкости обеспечивают необходимую надежность работы системы водоснабжения. Эти емкости, как самостоятельные сооружения строят сравнительно редко. Наиболее часто в одном сооружении содержатся как регулирующие, так и запасные

объемы воды.

В зависимости от назначения и способа подачи воды регулирующие и запасные емкости могут быть напорными (активными), создающие напор в водопроводной сети и безнапорными (пассивными), вода из которых забирается насосами.

К регулирующим и запасным емкостям в системах водоснабжения относят водонапорные башни, колонны, резервуары и гидропневматические установки.

Водонапорные башни и колонны имеют высоко расположенную емкость, благодаря чему они создают необходимый напор в системе водоснабжения. Такое же назначение имеют резервуары, расположенные на естественной возвышенности. Обычные наземные или частично заглубленные резервуары чистой воды из-за низкого своего расположения не обеспечивают напор, и воду из них забирают насосами. Гидропневматические установки создают напор в системе водоснабжения сжатым воздухом.

5.2. Водонапорные башни и колонны

Водонапорные башни предназначаются для регулирования неравномерности водопотребления, хранения неприкосновенного запаса воды на пожаротушение и создания требуемого напора в водопроводной сети.

Объем бака водонапорной башни определяют по формуле

$$W_{\text{б}} = W_{\text{рег.}} + W_{\text{н.з.}}, \quad (5.1)$$

где $W_{\text{рег.}}$ - регулирующая емкость бака, м³;
 $W_{\text{н.з.}}$ - объем неприкосновенного противопожарного запаса воды, предназначенного для тушения пожара, м³.

Неприкосновенный противопожарный запас воды рассчитывают для населенных пунктов на 10-минутную продолжительность тушения одного наружного и одного внутреннего пожаров при одновременном наибольшем расходе воды на другие нужды по формуле

$$W_{\text{н.з.}} = (Q_{\text{пож}} + Q_{\text{макс.с}}) \frac{10 \cdot 60}{1000}, \quad (5.2)$$

где $Q_{\text{пож.}}$ где - расчетный расход воды на тушение пожара, л/с;
 $Q_{\text{макс.с}}$ - максимальный секундный расход воды на хозяйственно-питьевые и другие нужды в населенном пункте, исключая расход в душевых, л/с.

Регулирующую емкость бака $W_{\text{рег.}}$ определяют с помощью совмещенных графиков или таблиц водопотребления и подачи воды насосами в водопроводную сеть.

В табл. 5.1 приведен расчет регулирующей емкости бака водонапорной башни с режимом водопотребления, соответствующим коэффициенту часовой неравномерности водопотребления $K_{\text{ч.макс.}} = 1,5$.

Приведены два варианта режима работы насосной станции: равномерный (графа 2) и ступенчатый (графа 3). Режим водопотребления в процентах суточного расхода приведен в графе 4. В графах 5 и 6 указывается поступление воды в бак (разность цифр граф 2 и 4 и разность цифр граф 3 и 4), в 7 и 8 - расход воды из бака (разность цифр граф 4 и 2 и разность цифр граф 4 и 3). Требуемый регулирующий объем определяется по остатку воды в баке (графы 9 и 10). Данные граф 9 и 10 получают, суммируя количество

имеющейся воды в баке и поступившей в него за данный час или вычитая из него объем расходуемый за данный час. Для облегчения вычисления остатка воды необходимо наметить час, когда бак пуст. При равномерной работе насосов его можно ожидать с 19 до 20 часов, а при ступенчатой с 2 до 3 часов.

Для данных, приведенных в табл. 5.1, регулирующей объем бака составляет: при ступенчатой работе насосов - 5,2 %, при равномерной - 19,16 %. Как видно, ступенчатый режим работы насосов для принятого водопотребления является экономически выгодным, так как при этом уменьшается объем бака, а следовательно, строительная стоимость водонапорной башни. Обычно регулирующей объем бака $W_{\text{рег}}$ составляет примерно 10 %.

Если при назначении часа, когда бак пуст допущена ошибка, то некоторые из цифр граф 9 и 10 получают отрицательное значение. В этом случае нет необходимости в пересчете, так как регулирующей объем бака будет складываться из абсолютных наибольших положительных и отрицательных цифр этих граф.

Таблица 5.1. Определение регулирующего объема бака водонапорной башни

Часы суток	Подача насосами, %, при работе		Водопотребление	Приток в бак, %, при работе		Расход из бака, %, при работе		Остаток в баке, %, при работе	
	равномерной	ступенчатой		равномерной	ступенчатой	равномерной	ступенчатой	равномерной	ступенчатой
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-1	4,17		1,5		-	-	1,5	8,83	2,2
1-2	4,17	-	1,5	2,67	-	-	1,5	11,50	0,7
2-3	4,16	-	1,5	2,67	-	-	0,7	14,16	0
3-4	4,17	2,8	1,5	2,66	1,3	-	-	16,83	1,3
4-5	4,17	2,8	2,5	2,67	0,3	-	-	18,5	1,1
5-6	4,16	2,8	3,5	1,67	2	-	-	19,16	3,6
6-7	4,17	5,5	4,5	0,66	1	0,33	-	18,83	4,6
7-8	4,17	5,5	5,5	-	-	1,33	-	17,5	4,6
8-9	4,16	5,5	6,25	-	-	2,09	0,75	15,41	3,85
9-10	4,17	5,5	6,25	-	-	2,08	0,75	13,33	3,1
10-11	4,16	5,5	6,25	-	-	2,08	0,75	11,25	2,35
11-12	4,16	5,5	6,25	-	-	2,09	0,75	9,61	1,6
12-13	4,17	5,5	5	-	0,5	0,83	-	8,33	2,1
13-14	4,17	5,5	5	-	0,5	0,83	-	7,5	2,6
14-15	4,16	5,5	5,5	-	-	1,34	-	6,16	2,6
15-16	4,17	5,5	6	-	-	0,83	0,5	4,33	2,1
16-17	4,17	5,5	6	-	-	1,83	0,5	2,5	1,6
17-18	4,16	5,5	5,5	-	-	1,34	-	1,16	1,6
18-19	4,17	5,5	5	-	0,5	0,83	-	0,33	2,1
19-20	4,17	5,5	4,5	-	1	0,33	-	0	3,1
20-21	4,16	5,5	4	0,16	1,5	-	-	0,16	4,6
21-22	4,17	2,8	3	1,17	-	-	0,2	1,33	4,4
22-23	4,17	2,8	2	2,17	0,8	-	-	3,5	5,2
23-24:	4,16	-	1,5	2,66	-	-	1,5	6,16	3,7
Итого	100	100	100	19,16	9,4	19,16	9,4		

Графический расчет регулирующего объема бака водонапорной башни выполняют при помощи интегрального графика водопотребления и подачи воды насосами (рис. 5.1). График водопотребления изображен кривой 1, а график подачи - прямой линией 2, соответствующей равномерному режиму работы насосной станции в течение суток.

Регулирующий объем равен сумме наибольших отрезков между указанными линиями и он составляет $13,02 + 6,14 = 19,16$ % суточного расхода.

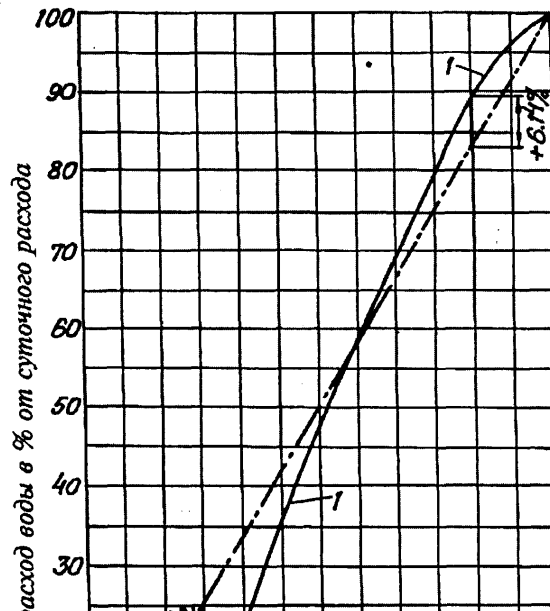
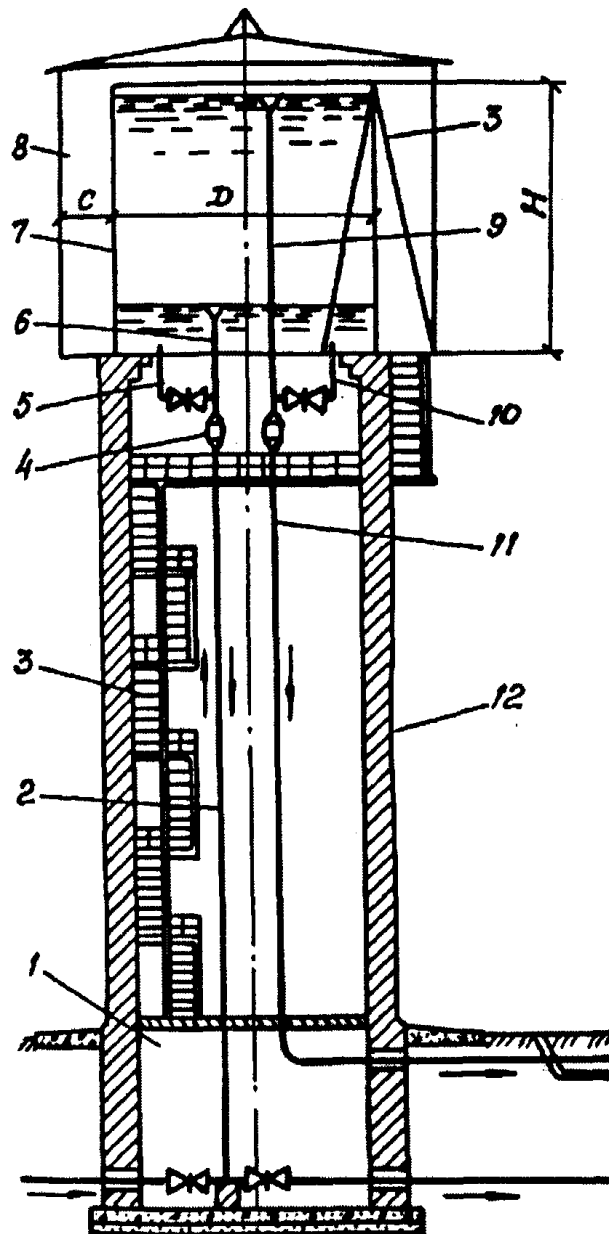


Рис. 5

Конструкция во
конструкции (ствола),
замерзания воды в бак



оподачи

поддерживающей
наличии опасности

Рис. 5.2. Схема водонапорной башни:

1 - фундамент и подвальное помещение, 2 - подающе-отводящий трубопровод; 3 – лестница; 4 – сальниковые компенсаторы; 5 - труба для отбора воды на тушение пожара; 6 - труба для отбора воды на хозяйственно-питьевые нужды; 7 – бак; 8 – шатер; 9 – переливная труба; 10 - грязевая труба; 11 - сбросная труба; 12 - ствол

Баки водонапорных башен бывают железобетонными и стальными, в большинстве случаев имеют цилиндрическую форму, плоское, полусферическое или радиально-коническое днище. Сверху бак башни перекрывается, что обеспечивает его жесткость и защиту от температурных колебаний и загрязнений.

Поддерживающие конструкции водонапорных башен могут быть железобетонными, кирпичными, металлическими и выполняться в виде сплошной стенки или колонны, имеющих различное архитектурное оформление.

Водонапорные башни оборудуют арматурой и трубопроводами. Подводяще-отводящий трубопровод служит для подачи воды в бак и для разбора воды из него. Диаметр этого трубопровода определяют по максимальному расходу и скорости движения воды не более 1 - 1,2 м/с. Иногда предусматривают две трубы - отдельно подводящую и отводящую. Переливной трубопровод, снабженный воронкой, служит для сброса поступающей воды в бак при его переполнении.

Грязевая труба через задвижку присоединяется к переливному трубопроводу и служит для опорожнения бака в случае осмотра и ремонта, а также для удаления осадка, который может скапливаться на дне бака. Для предотвращения повреждений баков и стыковых соединений при температурных деформациях труб, на подводяще-отводящем и переливном трубопроводах устанавливают сальниковые компенсаторы.

Баки водопроводных башен оборудуют датчиками, аппаратурой и приборами для автоматической передачи показаний уровня воды в них на насосную станцию или в диспетчерский пункт.

По типовым проектам сооружают башни высотой до 42 метров (до дна бака) с баком емкостью до 800 м³. На одной и той же водонапорной башне могут быть установлены на разной высоте несколько баков, обслуживающих системы водопроводов с разными напорами.

Разновидностью водонапорных башен являются водонапорные колонны, которые находят широкое применение в системах промышленного водоснабжения. Они представляют собой железобетонную или металлическую цилиндрическую вертикальную емкость (рис. 5.3).

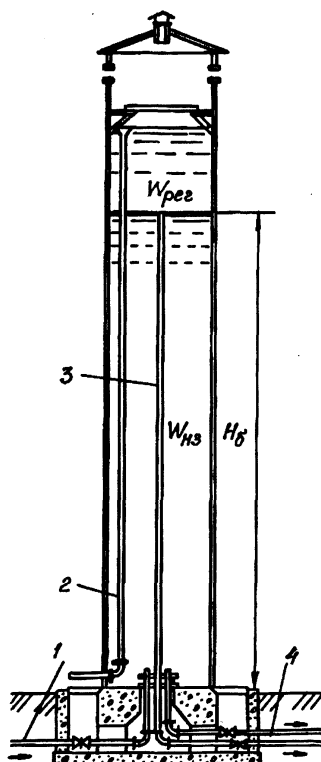


Рис. 5.3. Схема водонапорной колонны:

1 - подводящий трубопровод; 2 - переливная труба; 3 – хозяйственно-питьевой трубопровод; 4 – пожарный трубопровод

В отличие от башни водонапорная колонна полностью заполнена водой, но полезным объемом ее является практически только верхняя часть, обеспечивающая подачу воды потребителю под требуемым напором. В нижней части колонны может храниться неприкосновенный запас воды, подаваемый к месту пожара насосами.

5.3. Резервуары чистой воды

Резервуары чистой воды могут быть как напорными, так и безнапорными. Напорные резервуары располагают на возвышенных отметках и они выполняют такую же роль, как и водонапорные башни. Безнапорные резервуары служат для регулирования неравномерности работы насосных станция I и II подъемов, а также в них хранится неприкосновенный противопожарный запас воды. Кроме того, в этих резервуарах накапливается объем воды, используемый на собственные нужды водоочистной станции.

Объем резервуаров чистой воды, расположенных при водоочистной станции, определяют по формуле

$$W_{\text{РЧВ}} = W_{\text{рег.РЧВ}} + W_{\text{н.з.РЧВ}} + W_{\text{ф.РЧВ}}, \quad (5.3)$$

где $W_{\text{рег.РЧВ}}$ - регулирующий объем, определяемый совмещением графика поступления воды в резервуар с очистной станции (на очистные

сооружения подается вода насосной станцией I подъема) и графика работы насосной станции II подъема;

$W_{н.з.РЧВ}$ - неприкосновенный противопожарный запас воды, м³;

$W_{ф.РЧВ}$ - объем воды на собственные нужды водоочистой станции, м³.

Регулирующий объем воды $W_{рег.РЧВ}$ может быть определен на основании анализа работы насосных станций I и II подъемов графоаналитическим или табличным способом.

На рис. 5.4 приведены графики работы насосных станций I и II подъемов. Насосная станция I подъема работает равномерно в течение суток и каждый час подает на очистные сооружения, а следовательно и в резервуары чистой воды расход равный $100\% Q_{сут.} / 24 \approx 4,17\% Q_{сут.}$

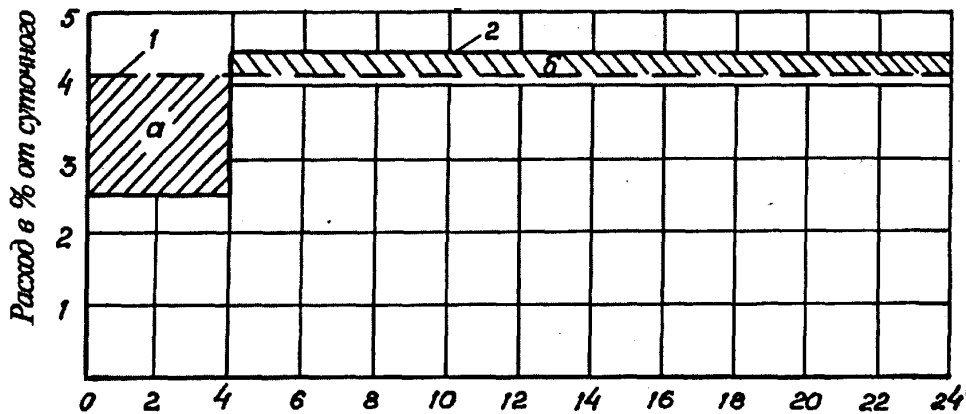


Рис. 5.4. Современные графики работы насосных станций I и II подъемов: 1 - график работы насосной станции I подъема; 2 - график работы насосной станции II подъема; а, б – регулирующие объемы резервуаров чистой воды

Насосная станция II подъема работает по ступенчатому графику и имеет производительность: с 0 до 4 ч - 2,5 %, а с 4 до 24 ч - 4,5 %. Тогда регулирующая емкость резервуаров выражается площадью “а” или равновеликой ей площадью “б”. В этом случае регулирующий объем $W_{рег.РЧВ}$ будет равен

$$W_{рег.РЧВ} = (4,17 - 2,5) \cdot 4 \approx 6,6\% \quad \text{или} \quad W_{рег.РЧВ} = (4,5 - 4,17) \cdot 20 = 6,6\% \text{ суточного водопотребления.}$$

Регулирующий объем резервуаров чистой воды (РЧВ) может быть определен и табличным способом.

Таблица 5.2. Определение регулирующего объема резервуаров

Период сут, ч	Подача НС-1 в РЧВ, %	Отбор воды НС- II из РЧВ, %	Поступление в РЧВ, %	Расход из РЧВ, %	Остаток в РЧВ, %
0 - 4	16,6	10	6,6	-	+6,6
2 - 24	83,4	90	-	6,6	0

Следовательно, требуемый регулирующий объем резервуаров составляет $W_{рег.РЧВ} =$

6,6 % суточного водопотребления.

Неприкосновенный противопожарный запас воды $W_{н.з.РЧВ}$ определяют по формуле

$$W_{н.з.РЧВ} = Q_{пож} \frac{3 \cdot 3600}{1000} + W_{Х-П} - 3Q, \quad (5.4)$$

где $Q_{пож}$ - расчетный пожарный расход, л/с;
 $W_{Х-П}$ - объем воды, потребляемый за 3 часа наибольшего водопотребления на хозяйственные и производственные нужды во время тушения пожара, м³;
 Q - расход воды, поступаемый в резервуары, при тушении пожара, м³/ч.

Объем воды $W_{ф.РЧВ}$ на собственные нужды водоочистной станции может быть определен по формуле

$$W_{ф.РЧВ} = \frac{2F_{\phi}qt}{1000}, \quad (5.5)$$

где F_{ϕ} - площадь одной секции фильтра, м²;
 q - интенсивность промывки фильтров ($q = 12 - 18$ л/с м²);
 t - продолжительность прорывки фильтров (300-420 с).

Как правило $W_{ф.РЧВ}$ определяют после расчета водоочистной станции с учетом типа и площади фильтров. Вместе с тем этот объем можно определить ориентировочно по формуле

$$W_{ф.РЧВ} = (0,05 - 0,08) Q_{сут.расч}. \quad (5.6)$$

Резервуары выполняются преимущественно круглой или прямоугольной формы (в плане) в основном из железобетона. Общее число резервуаров в одном узле, как правило, должно быть не менее двух. Устройство одного резервуара допускается в случае отсутствия противопожарного объема воды.

Схема устройства резервуаров чистой воды показана на рис. 5.5. Оборудование резервуаров состоит из подающей, всасывающей, переливной и грязевой труб. Для обеспечения воздухообмена в резервуаре устанавливают вентиляционную трубу. Все трубы, кроме переливной, оборудуют задвижками.

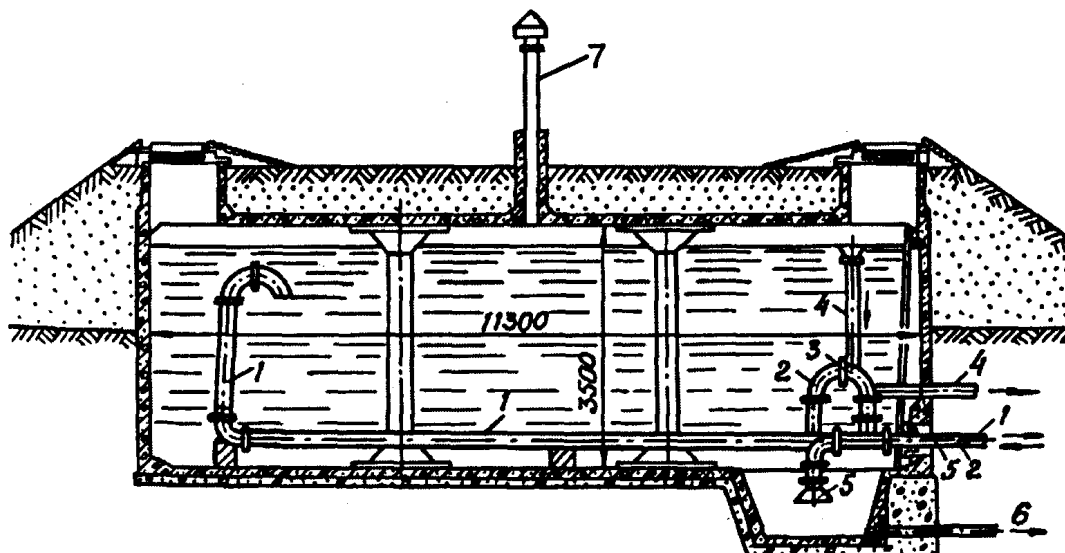


Рис. 5.5. Схема устройства резервуаров чистой воды:

1 - подающая труба; 2 - труба для отбора воды на хозяйственно-питьевые нужды; 3 - отверстие; 4 - переливная труба; 5 – труба для отбора воды на противопожарные нужды; 6 - грязевая труба; 7 - вентиляционная труба

Для обеспечения циркуляции воды в резервуаре ее подача предусматривается сверху, а забор у дна. Для сохранения неприкосновенного противопожарного запаса воды предусматривают предупредительные меры. С этой целью резервуары оборудуют автоматическими устройствами, которые при достижении уровня неприкосновенного запаса отключают хозяйственные насосы и подают сигнал в диспетчерский пункт на насосную станцию I подъема для включения резервных агрегатов.

Сохранность противопожарного запаса воды может быть достигнута расположением всасывающих линий на различной высоте с устройством кожуха (рис. 5.6, а). Вода на хозяйственно-питьевые нужды забирается через трубопровод, конец которого расположен внутри колодца на отметке пожарного уровня воды.

Эффективным является устройство двух всасывающих линий (рис. 5.6, б). При этом одна труба изгибается в вертикальной плоскости и имеет отверстие на уровне противопожарного запаса. По этой трубе производится забор воды в нормальных условиях и если случайно будет откачана вода ниже указанного уровня, то через отверстие в верхней части трубы попадает воздух во всасывающую линию и нарушает вакуум в насосе. В случае пожара воду забирают по второй всасывающей трубе, не имеющей изгибы.

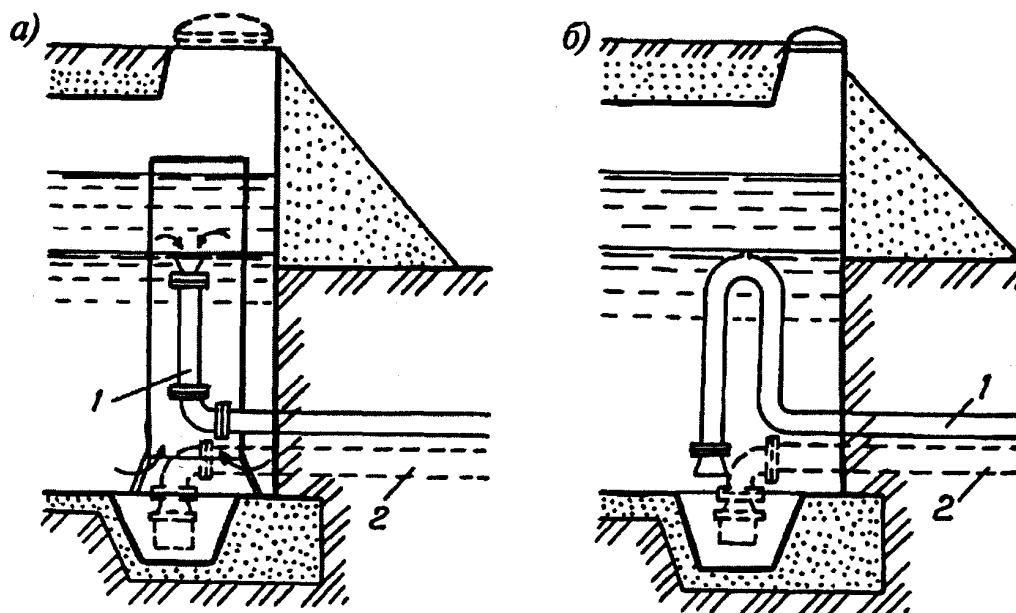


Рис. 5.6. Способы сохранения неприкосновенного пожарного запаса воды:

1 - всасывающий трубопровод хозяйственно-питьевых насосов; 2 - всасывающий трубопровод пожарных насосов

5.4. Гидропневматические установки

Гидропневматические установки применяют в системах водоснабжения с небольшой производительностью. Они выполняют те же функции, что и водонапорные башни. В этих установках требуемый напор в водопроводной сети создается давлением воздуха, подаваемого компрессором в герметичный резервуар. Существуют гидропневматические установки переменного и постоянного давления. Больше распространение получили установки переменного давления как более экономичные.

Гидропневматическая установка переменного давления (рис. 5.7) работает по следующему принципу: в часы суток, когда подача воды насосами превышает водозабор, избыток воды поступает в бак, сжимая находящийся в нем воздух до давления P_{max} . При достижении этого давления насос автоматически отключается от питающей его электросети и вода подается в водопроводную сеть из бака давлением сжатого воздуха. В часы суток, когда водопотребление в сети больше подачи насоса, уровень воды в баке снижается, давление в нем падает и при достижении значения P_{min} насос включается. Таким образом, рабочий цикл установки повторяется.

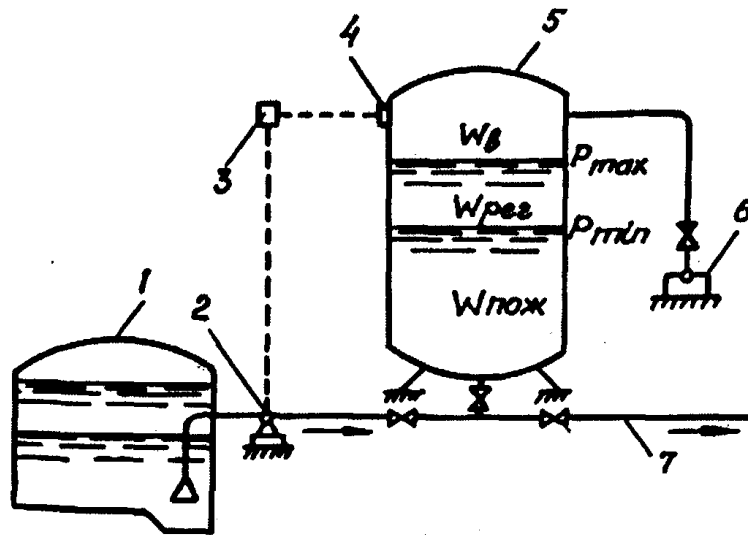


Рис. 5.7. Схема гидропневматической установки переменного давления:
1 - резервуар чистой воды; 2 - насос; 3 - магнитный пускатель; 4 - реле давления; 5 - водовоздушный бак; 6 - компенсатор

В ходе работы установки часть воздуха растворяется в воде, а часть просачивается через неплотности в соединениях, поэтому 1-2 раза в месяц производят подзарядку установки воздухом при помощи компрессора.

Минимальное давление P_{min} устанавливается из условия обеспечения требуемого свободного напора в водопроводной сети и его определяют по формуле

$$P_{min} = \rho q (H_{св.тр.} + \sum h \pm \Delta z), \quad (5.7)$$

- где ρ - плотность воды, $кг/м^3$;
 q - ускорение свободного падения, $м/с^2$;
 $H_{св.тр}$ - требуемый свободный напор в диктующей точке водозабора, м;

- Σh - потери напора в водопроводной сети от гидропневматической установки до диктующей точки водоразбора, м;
- Δz - разность геодезических отметок минимального уровня воды в баке гидропневматической установки и поверхности земли в диктующей точке, м.

Полный объем бака гидропневматической установки определяют по формуле

$$W_{п.б.} = W_{рег.} \beta (1 - \alpha), \quad (5.8)$$

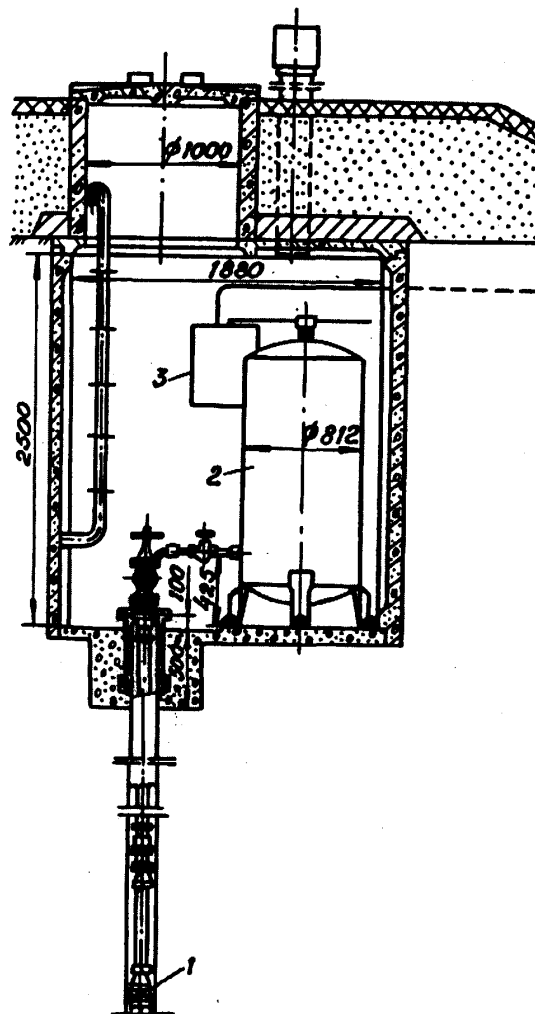
- где $W_{п.б.}$ - регулирующий объем воды в баке, м³;
- β - коэффициент запаса, равный 1,1...1,3,
- α - отношение абсолютных значений минимального давления к максимальному, принимаемое равным 0,6...0,75.

Регулирующий объем воды в баке

$$W_{рег.} = Q_n / 4 n, \quad (5.9)$$

- где Q_n - средняя часовая подача насоса, м³/ч;
- число включений насосов в час, значение которого следует принимать в пределах $n = 6 \dots 10$.

К помещениям, в которых устанавливают гидропневматические установки, предъявляются те же требования, что и к помещениям насосных станций. Вместе с тем



автоматическая установка гидропневматического водоснабжения может быть размещена в шахте колодца (рис. 5.8).

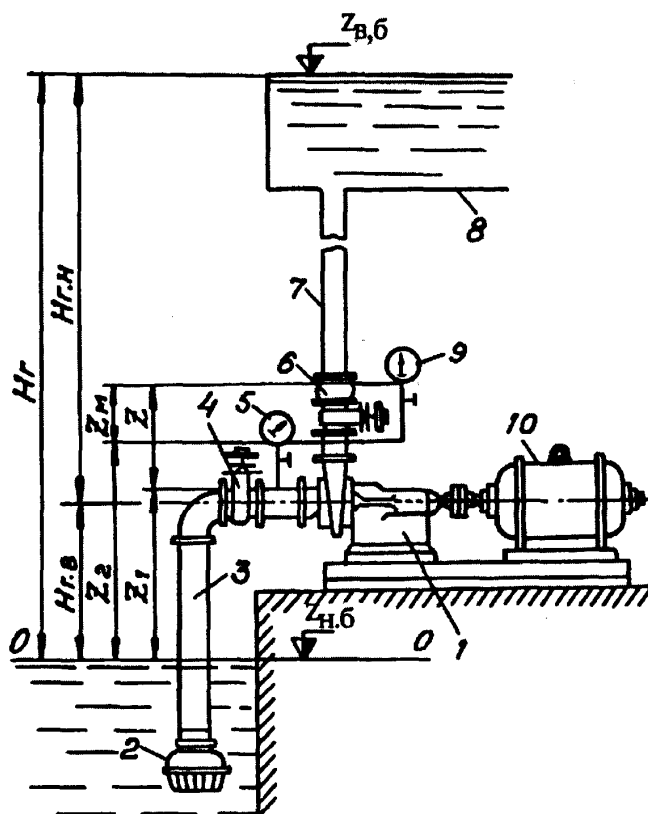
Рис. 5.8. Автоматическая гидропневматическая установка в шахте колодца:
1 – погружной электронасос; 2 – водовоздушный бак; 3 - узел с приборами

6. НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

6.1. Основные параметры насосных установок

Насосами называются машины, предназначенные для перекачивания жидкости. При помощи насосов можно поднимать жидкость на определенную высоту, транспортировать на необходимое расстояние, заставляя циркулировать ее в замкнутой системе.

Независимо от выполняемых функций насос является составной частью любой насосной установки, схема которой в общем виде представлена на рис. 6.1. В насосной установке жидкость из приемного резервуара по всасывающему трубопроводу поступает в насос и далее нагнетается по напорному трубопроводу в другой резервуар, водонапорную башню или в водопроводную сеть. В нижней части всасывающего трубопровода расположена сетка, предохраняющая насос от попадания твердых предметов, а также может быть приемный клапан, если заливка насоса перед пуском его в работу осуществляется из напорной линии. В тех случаях, когда насос установлен “под залив” или соединен со всасывающими трубопроводами других насосов, на всасывающем трубопроводе устанавливают задвижку. На напорном трубопроводе также имеется задвижка, позволяющая регулировать подачу и напор насоса. Там же установлен обратный клапан, который не допускает обратного движения жидкости при остановке



насоса.

Рис. 6.1. Схема насосной установки:

1 - насос; 2 - приемный клапан с сеткой; 3 - всасывающий трубопровод; 4 – задвижка; 5 – вакуумметр; 6 - обратный клапан; 7 - напорный трубопровод; 8 - резервуар; 9 -расходомер

Работа насосной установки характеризуется подачей, напором, мощностью и коэффициентом полезного действия.

П о д а ч а н а с о с а Q представляет собой объем жидкости, подаваемой в единицу времени через напорный патрубок. Подачу выражают в л/с, м³/с, м³/ч, иногда ее называют также расходом жидкости.

Н а п о р н а с о с а H представляет собой разность удельных энергий потока жидкости в выходном e_2 и во входном e_1 патрубках насоса. Напор выражают в метрах водяного столба.

Полную удельную энергию потока жидкости при входе в насос определяют по формуле

$$e_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g}, \quad (6.1)$$

а полная удельная энергия при выходе из насоса

$$e_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}, \quad (6.2)$$

где z_1, p_1, v_1 - соответственно отметка оси входного патрубка насоса, абсолютное давление и скорость жидкости при входе в насос;
 z_2, p_2, v_2 - соответственно отметка оси выходного патрубка насоса, абсолютное давление и скорость жидкости при выходе из насоса;
 ρ - плотность жидкости;
 g - ускорение свободного падения.

Абсолютное давление p_1 , определяемое с помощью вакуумметра,

$$p_1 = p_a - p_v, \quad (6.3)$$

а абсолютное давление p_2 , определяемое с помощью манометра,

$$p_2 = p_m + p_a + \rho g z_m, \quad (6.4)$$

где p_a - атмосферное давление, Па;
 p_v, p_m - соответственно показания вакуумметра и манометра, Па;
 z_m - расстояние по вертикали от манометра до точки его

присоединения, м.

Следовательно, напор насоса

$$H = e_2 - e_1 = \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \right) - \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right) = z_2 - z_1 + z_M + \frac{p_M + p_B}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

Обозначив $z_2 - z_1 + z_M = z$ получим

$$H = z + \frac{p_M + p_B}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, \quad (6.5)$$

т.е. напор насоса равен сумме показаний манометра и вакуумметра, выраженных в метрах водяного столба, плюс расстояние по вертикали между манометром и точкой присоединения вакуумметра, плюс разность скоростных напоров в выходном и входном патрубках насоса.

Для насосной установки напор, который должен создавать насос (см. рис. 6.1), составляет

$$H = H_{\Gamma} + h_{\Gamma}, \quad (6.6)$$

где

- $H_{\Gamma} = (H_{\Gamma.B.} + H_{\Gamma.H.})$ - геометрическая высота подъема жидкости, представляющая собой разность отметок в верхнем $Z_{в.б.}$ и нижнем $Z_{н.б.}$ бассейнах, м;
- $h_{\Gamma} = h_{в.с.} + h_{н.}$ суммарные гидравлические потери во всасывающем и напорном трубопроводах, м;
- $H_{\Gamma.B.}$ - геометрическая высота всасывания - расстояние по вертикали от уровня воды в нижнем бассейне до оси горизонтального насоса, м;
- $H_{\Gamma.H.}$ - геометрическая высота нагнетания - расстояние по вертикали от оси горизонтального насоса до уровня воды в верхнем бассейне, м.

Мощность насоса. Полезная мощность N_{Π} определяется работой насоса, совершаемой им при подъеме жидкости в единицу времени на высоту H , т.е. полезная мощность насоса в кВт

$$N_n = \frac{\rho g Q H}{1000}, \quad (6.7)$$

- где ρ - плотность жидкости, кг/м³;
- Q - расход, м³/с;
- H - напор, м.

Мощность, потребляемая насосом $N_{Н}$, в действительности больше полезной мощности N_{Π} вследствие того, что часть энергии, которую насос получает от двигателя,

расходуется на преодоление гидравлического сопротивления внутри насоса, трение в механизмах и утечку жидкости в самом насосе через зазоры и неплотности в конструкции.

Полным коэффициентом полезного действия насоса η_H называют отношение полезной мощности насоса к потребляемой мощности, т.е.

$$\eta_H = N_{\Pi} / N_H. \quad (6.8)$$

Отсюда следует, что потребляемая насосом мощность

$$N_H = N_{\Pi} / \eta_H. \quad (6.9)$$

Полный коэффициент полезного действия насоса зависит от совершенства конструкции насоса. Современные крупные насосы имеют коэффициент полезного действия 0,80 - 0,92, а малые насосы - 0,45 - 0,75.

Мощность, потребную для приведения насосной установки в действие, определяют в кВт по формуле

$$N_{уст} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_{уст}}. \quad (6.10)$$

Коэффициент полезного действия насосной установки

$$\eta_{уст.} = \eta_{пер.} \cdot \eta_{дв.} \cdot \eta_H, \quad (6.11)$$

где $\eta_{пер.}$ - коэффициент полезного действия передачи от двигателя к насосу;
 $\eta_{дв.}$ - коэффициент полезного действия двигателя.

6.2. Классификация, устройство и принцип действия насосов

Разработано и применяется огромное количество видов, типов и конструкций насосов. Общая схема классификации насосов, представлена на рис. 6.2.

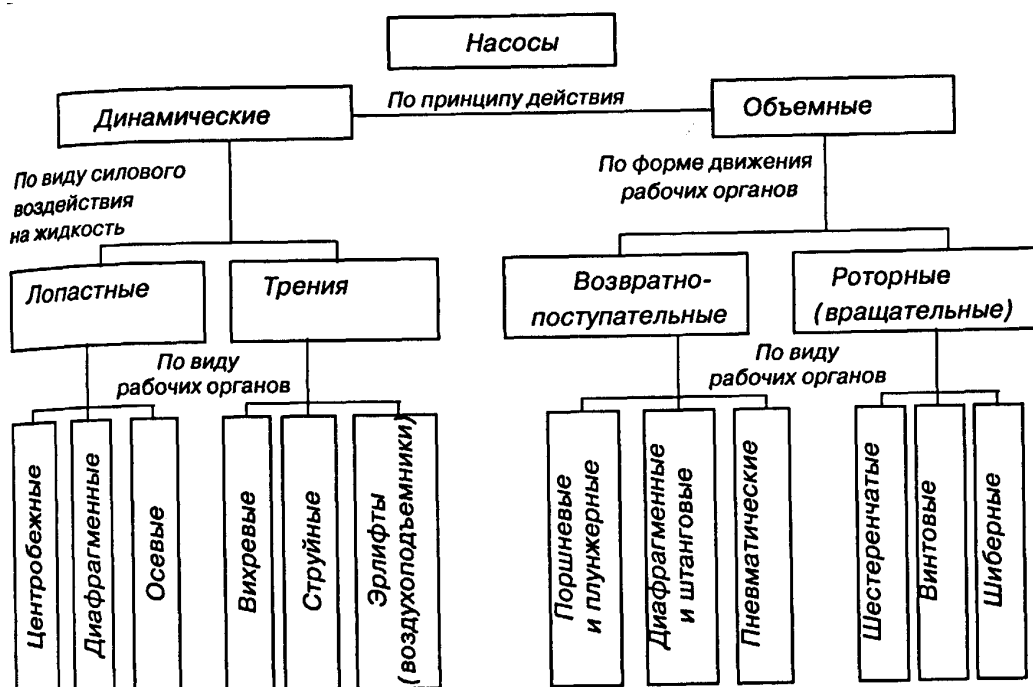


Рис. 6.2. Общая схема классификации насосов

Объемные насосы работают по принципу перемещения жидкости путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса.

Динамические насосы - это такие насосы, в которых жидкость перемещается под силовым воздействием в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса. Среди динамических насосов наиболее распространенными являются лопастные (центробежные, осевые) насосы, в которых жидкости сообщается энергия благодаря инерционным силам, возникающим при протекании жидкости через лопастное колесо.

В подавляющем большинстве насосные станции коммунальных, промышленных и железнодорожных систем водоснабжения и канализации оборудуются центробежными насосами.

Центробежные насосы. Основным рабочим органом центробежного насоса (рис. 6.3) является рабочее колесо 1 с криволинейными лопастями 2, насаженное на вал 3 и расположенное в корпусе 4. Вода поступает в насос через всасывающий патрубок 5 к центральной части рабочего колеса и выбрасывается из него в спиральную камеру и далее в напорный патрубок 6.

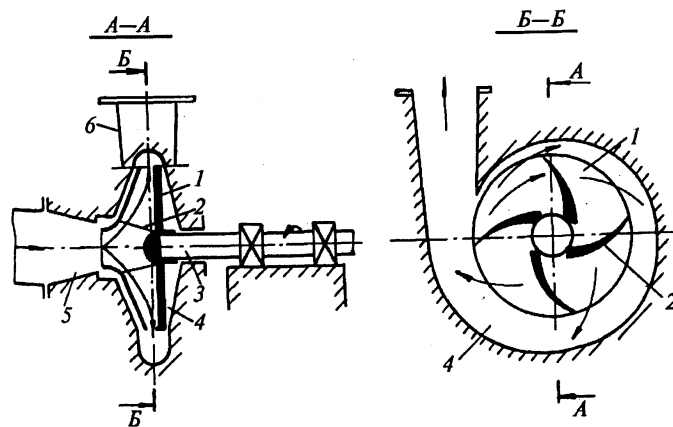


Рис. 6.3. Схема устройства центробежного насоса:

1 - рабочее колесо; 2 - лопасти; 3 - вал; 4 - корпус; 5 - всасывающий патрубок; 6 - нагнетательный патрубок

Если всасывающий трубопровод и корпус насоса заполнены жидкостью, то при быстром вращении колеса частицы жидкости, закручиваемые лопатками, под действием центробежной силы отбрасываются от центра колеса к периферии, получая некоторое приращение энергии. Благодаря этому на выходе из лопаток рабочего колеса давление и скорость частиц жидкости больше, чем перед входом в колесо. В центре рабочего колеса образуется разрежение, куда поступает жидкость за счет разности давлений у оси колеса и на поверхности воды в приемном колодце. По выходе из колеса жидкость поступает в спиральную камеру, живое сечение которой возрастает в направлении напорного патрубка, благодаря чему средняя скорость движения жидкости постепенно уменьшается, в результате часть кинетической энергии преобразуется в потенциальную, и первоначальное давление, созданное колесом, увеличивается.

Центробежные насосы классифицируют по ряду признаков.

По роду перекачиваемой жидкости: водопроводные, канализационные, теплотехнические, кислотные, грунтовые и другие насосы.

По числу рабочих колес различают однокосные (рис. 6.4 и 6.5), которые находят наибольшее применение в системах водоснабжения и канализации, многоколесные (многоступенчатые) насосы высокого давления (рис. 6.6), в которых перекачиваемая жидкость проходит последовательно при помощи направляющих аппаратов 4 через ряд рабочих колес 3, насаженных на общий вал; напор, развиваемый насосом, равен сумме напоров, развиваемых каждым рабочим колесом.

По создаваемому напору центробежные насосы разделяют на низконапорные (напор до 20 м), средненапорные (20 - 60 м) и высоконапорные (свыше 60 м).

По способу подвода воды на рабочее колесо различают насосы с односторонним и с двусторонним подводом воды (односторонним всасыванием) и насосы с двусторонним подводом (двухсторонним всасыванием).

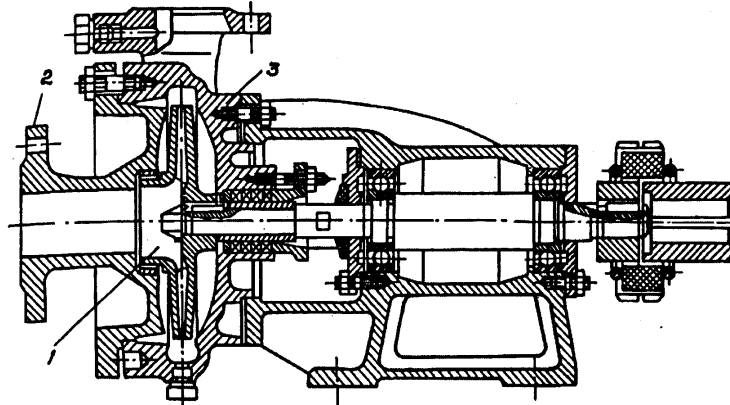


Рис. 6.4. Центробежный консольный насос типа К:
1 - рабочее колесо; 2 - всасывающий патрубок; 3 - корпус

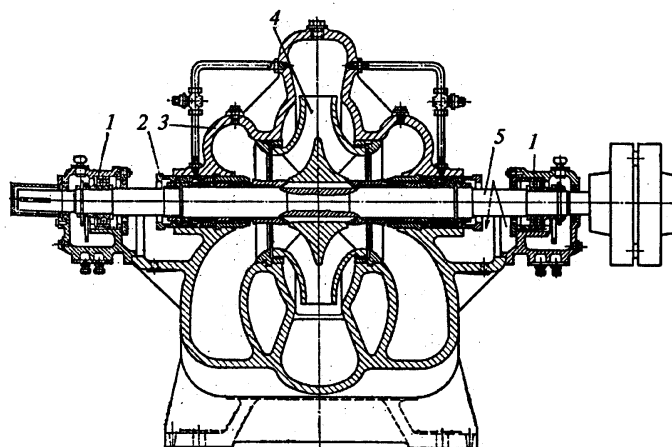


Рис. 6.5. Центробежный консольный насос типа Д:
1 - опорные подшипники; 2 - сальниковое уплотнение; 3 - корпус; 4 - рабочее колесо; 5 - вал

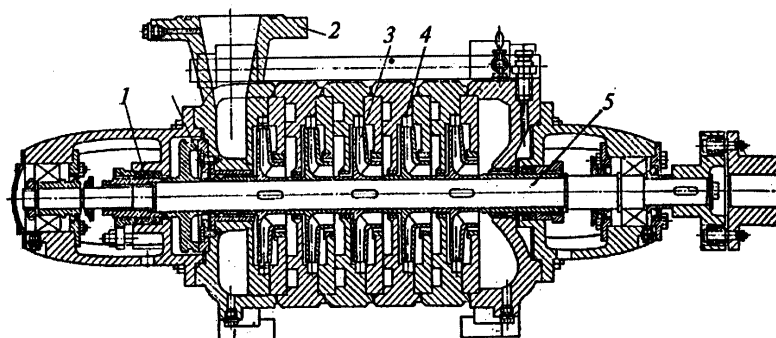


Рис. 6.6. Многоступенчатый насос типа ЦНС:

1 – сальниковое уплотнение; 2 – напорный патрубок; 3 - рабочее колесо; 4 - направляющий аппарат; 5 - вал

В зависимости от способа отвода воды из рабочего колеса насосы разделяют на спиральные и турбинные.

По расположению вала рабочего колеса насосы бывают вертикальные и горизонтальные.

По способу разъема корпуса различают насосы с горизонтальным разъемом и вертикальным торцевым разъемом.

Центробежные одноступенчатые насосы, выпускаемые серийно промышленностью, создают напор до 120 м при подаче до 15 м³/с. Многоступенчатые насосы развивают напор до 2000 м при подаче 80 - 100 л/с. КПД у этих насосов в зависимости от конструктивного исполнения меняется в широких пределах: от 0,85 - до 0,9 у крупных одноступенчатых насосов и до 0,4 - 0,45 у высоконапорных многоступенчатых.

Осевые насосы. Осевыми называют лопастные насосы, в которых жидкость движется через рабочее колесо в направлении его оси.

Подача серийно выпускаемых отечественной промышленностью осевых насосов колеблется в пределах от 0,07 до 45 м³/с при напорах от 2,5 до 27 м. КПД осевых насосов достигает 0,9 и выше. Осевые насосы (рис. 6.7) находят применение в оросительных установках, на насосных станциях первого подъема систем водоснабжения, применяются также для перекачки сточной жидкости и активного ила в системах канализации.

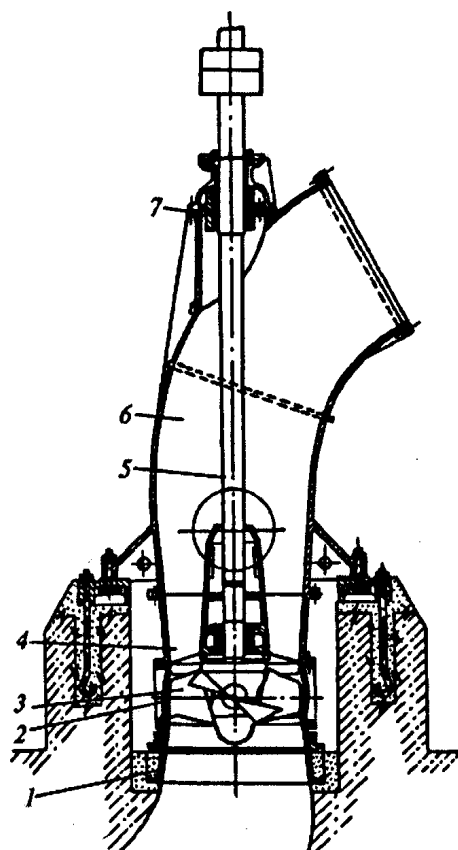


Рис. 6.7. Осевой насос типа ОПВ:

1 - фундаментальное кольцо; 2 - камера рабочего колеса; 3 – рабочее колесо; 4 – направляющий аппарат; 5 – вал; 6 - отвод; 7 - опорный подшипник

Струйные насосы. Характерной особенностью струйных насосов является то, что у них нет подвижных частей, а рабочим органом является сама жидкость. Принцип действия струйного насоса основан на передаче кинетической энергии от потока рабочей жидкости к потоку перекачиваемой жидкости. Рабочая жидкость под давлением из напорного трубопровода 1 (рис. 6.8) подается в сопло 2. В сопле жидкость приобретает большую скорость, кинетическая энергия ее возрастает, а потенциальная уменьшается (согласно уравнению Д.Бернулли для идеальной жидкости сумма удельной потенциальной и кинетической энергии потока во всех его сечениях одинакова). С уменьшением потенциальной энергии во всасывающей камере 3 давление снижается и при определенной скорости потока становится меньше атмосферного, т.е. возникает вакуум. В результате жидкость из приемного резервуара поступает во всасывающую камеру и далее в камеру смешения 4 и в диффузор 5. В диффузоре скорость потока уменьшается и увеличивается статический напор. КПД струйных насосов практически не превышает 0,25 - 0,3.

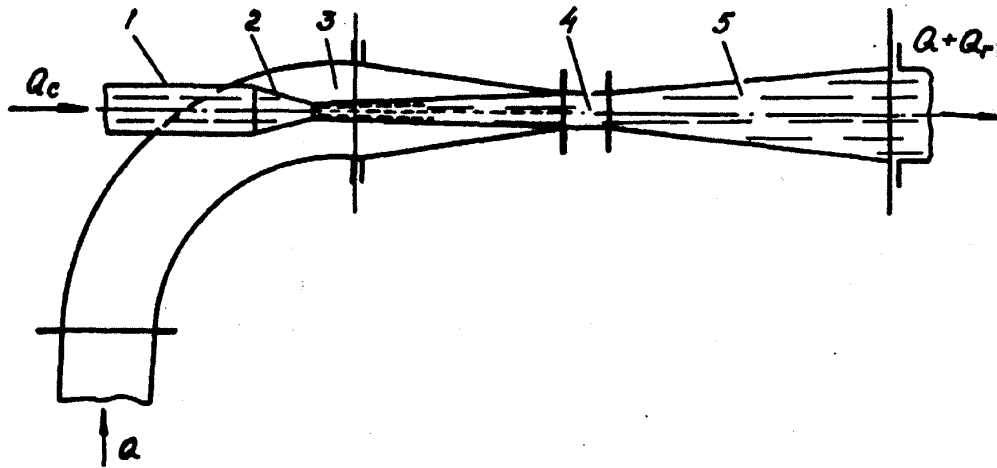


Рис. 6.8. Схема струйного насоса

Струйные насосы (эжекторы) широко применяются для откачки воды из глубоких скважин, а также для подъема шлама, или песка из песколовков и для перемешивания ила в метантенках на канализационных очистных сооружениях.

Воздушные водоподъемники. Воздушные подъемники (эрлифты) (рис. 6.9) применяют при подъеме подземных вод из трубчатых колодцев. В водоподъемную трубу 2, заглубленную под уровень воды, через форсунку 4 по воздушной трубке 3 под давлением подается сжатый воздух. Плотность образующейся при этом воздушно-водяной смеси значительно меньше плотности воды, в результате чего смесь поднимается вверх в резервуар-воздухоотделитель 1. Из резервуара вода с помощью центробежного насоса подается к потребителям. Подача Q и напор H эрлифта находятся в определенной зависимости. Подача Q уменьшается с увеличением высоты подъема H . КПД воздушных водоподъемников сравнительно низкий - не превышает 0,3 - 0,4, а с учетом компрессора общий КПД установки составляет обычно 0,15 - 0,20.

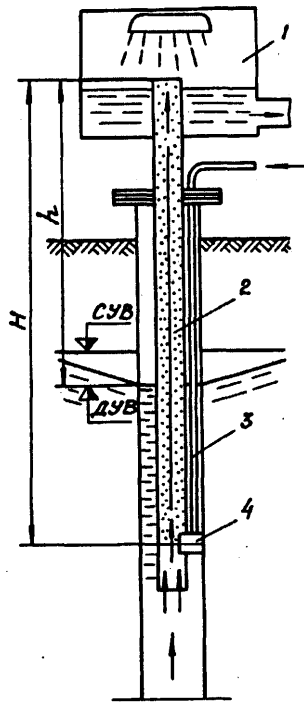


Рис. 6.9. Схема воздушного водоподъемника

Скв а ж и н н ы е н а с о с ы , бывают двух типов. Погружные скважинные насосы типа ЭЦВ (рис. 6.10) представляют собой агрегат, состоящий из центробежного многоступенчатого насоса и погружного электродвигателя с жестким соединением их валов. Скважинные насосы с трансмиссионным валом (рис. 6.11), у которых насос опускается в скважину и через вертикальный вал приводится в движение электродвигателем, расположенным наверху.

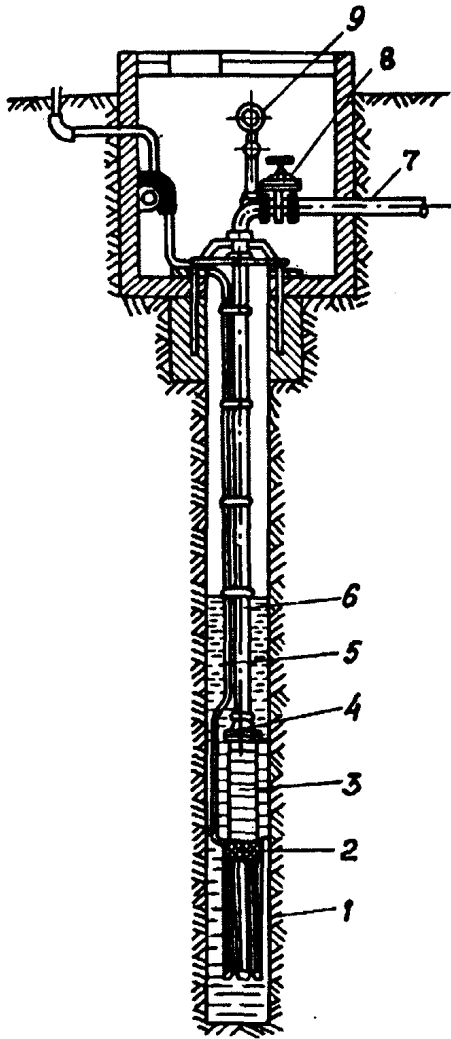


Рис. 6.10. Общий вид скважинной установки с насосом типа ЭЦВ:

1 - электродвигатель, 2 - сетка, 3 - насос, 4 - нагнетательный патрубок; 5 - кабель; 6 - водоподъемная труба; 7 - напорный трубопровод; 8 - задвижка; 9 - манометр

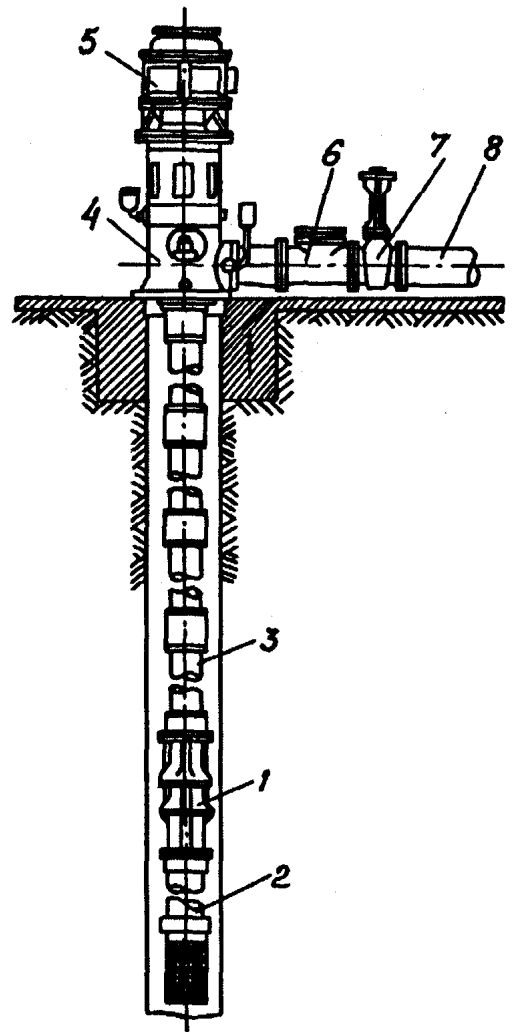


Рис. 6.11. Общий вид скважинной установки с насосом типа АТН:

1 - насос; 2 - всасывающая труба; 3 - водоподъемная труба; 4 - станина; 5 - электродвигатель; 6 - обратный клапан; 7 - задвижка; 8 - нагнетательная труба

6.3. Основное уравнение центробежного насоса.

В рабочем колесе насоса жидкость движется вдоль лопастей с относительной скоростью $\vec{\omega}$ и одновременно вращается вместе с колесом вокруг его оси с переносной скоростью \vec{u} (рис. 6.12). Абсолютное движение жидкости складывается из этих двух движений, и его скорость равна геометрической сумме относительной и переносной

скоростей, т.е.

$$\bar{c} = \bar{\omega} + \bar{u} . \quad (6.12)$$

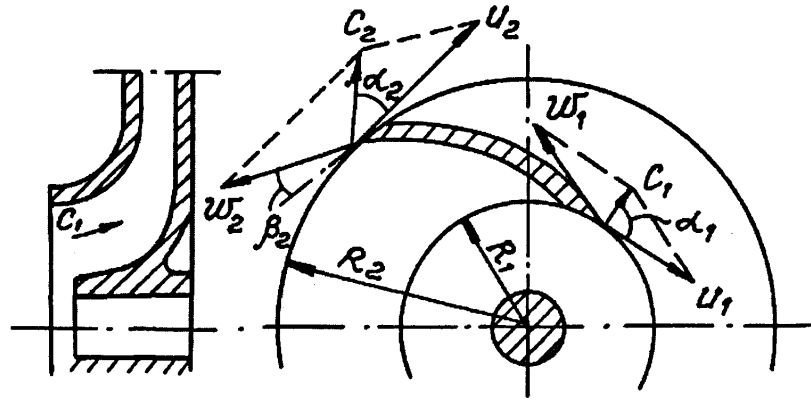


Рис. 6.12. Параллелограммы скоростей жидкости при входе и выходе из рабочего колеса.

Параллелограммы скоростей жидкости при входе и выходе из рабочего колеса показаны на рис. 6.12.

Движение жидкости в каналах рабочего колеса принимают параллельноструйным. У входа в рабочее колесо жидкость движется с абсолютной скоростью c_1 , а при движении ее по межлопастным каналам абсолютная скорость непрерывно увеличивается и в конце каналов достигает величины c_2 .

Разность удельных кинетических энергий у выхода из рабочего колеса и у входа в него определяет теоретический напор насоса H_T .

Основное уравнение центробежного насоса, выведенное Л.Эйлером, имеет вид:

$$H_m = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{g} . \quad (6.13)$$

Это уравнение связывает теоретический напор насоса со скоростью движения жидкости, которые зависят от геометрии рабочего колеса и скорости его движения, а также от количества перекачиваемой жидкости.

Обычно в центробежных насосах вход жидкости в колесо происходит по радиальному направлению и $\alpha_1 = 90^\circ$, тогда

$$H_m = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g} . \quad (6.14)$$

С учетом особенностей действительного характера течения реальной жидкости в рабочем колесе насоса действительный напор H всегда меньше теоретического H_T . Поэтому основное уравнение центробежного насоса для реальных условий имеет вид

$$H_m = k\eta_e - \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g}, \quad (6.15)$$

где k - коэффициент, учитывающий конечное число лопастей и их толщину в рабочем колесе;
 η_r - гидравлический коэффициент полезного действия насоса.

6.4. Характеристика центробежного насоса.

Для рационального использования центробежных насосов в условиях строительства и эксплуатации необходимо знать взаимосвязь между подачей, напором, потребляемой мощностью и другими параметрами насоса при различных режимах его работы. Эти данные представляются в форме характеристик насосов.

Для центробежных насосов различают теоретические и экспериментальные характеристики.

Теоретические характеристики определяют, пользуясь основными уравнениями центробежного насоса, в которые вводят поправки на реальные условия работы насоса. В реальных условиях на работу насоса влияет много различных факторов, которые не всегда возможно учесть, поэтому такие характеристики имеют некоторые неточности и ими практически не пользуются.

Экспериментальные характеристики строят по результатам испытаний насосов в заводских лабораториях, они отражают истинные зависимости между параметрами насоса.

Графики, выражающие зависимости напора H в м, потребляемой мощности N в кВт, коэффициента полезного действия η и допускаемой вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ в м от подачи Q при постоянной частоте вращения n и определенной форме и размерах проточной части (рабочего колеса), называют рабочей характеристикой насоса.

На рис. 6.13 приведена характеристика насоса Д1600-90 при частоте вращения $n = 1450$ об/мин. На рабочих характеристиках насосов, приводимых в каталогах заводами - изготовителями, на кривой H волнистыми линиями указывается рекомендуемая область использования насоса. Обычно эту область выбирают такой, чтобы снижение КПД против $\eta_{\text{макс}}$ не превышало 5 - 8 %.

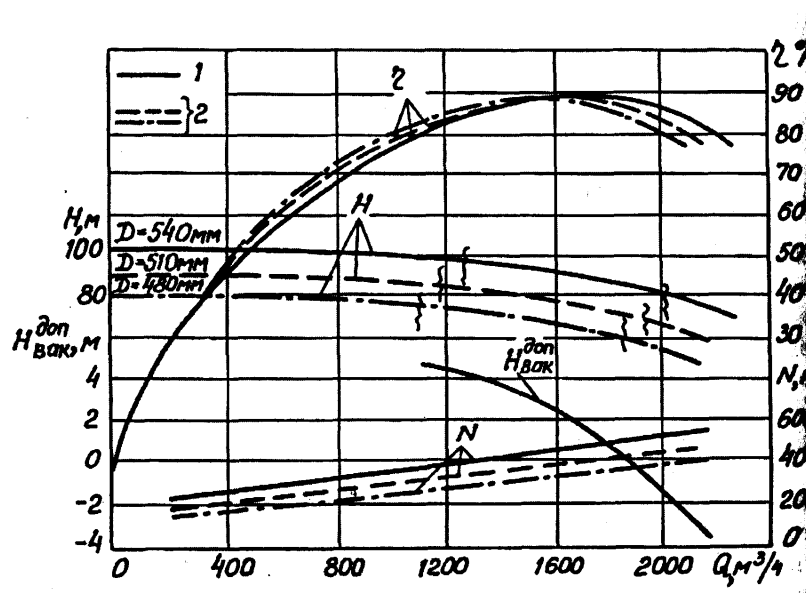


Рис. 6.13. Характеристика центробежного насоса Д1600-90:
1 - рабочее колесо, поставляемое заводом-изготовителем; 2 – обточенное колесо

Характеристика насоса дается для постоянной частоты вращения. Зависимость подачи Q , напора H и мощности N центробежного насоса от частоты его вращения n характеризуется следующими уравнениями пропорциональности:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}; \frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2; \frac{N}{N_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3 \quad (6.16)$$

Коэффициент полезного действия насоса η при изменении его частоты вращения n в довольно широких пределах изменяется незначительно, поэтому при уменьшении частоты вращения до 50 % практически можно принимать $\eta_1 = \eta$.

Допускаемая вакуумметрическая высота всасывания для новой частоты вращения n_1 определяется в м по формуле

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 10 - \left(10 - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}\right) \cdot \left(\frac{n_1}{n}\right)^2. \quad (6.17)$$

Следует заметить, что $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ изменяется весьма значительно с изменением n , особенно в области больших подач.

В центробежных насосах для дополнительного смещения характеристики, в основном по напору, и в целях расширения области применения насосов применяют обточку рабочего колеса по наружному диаметру. Установлено, что при уменьшении наружного диаметра рабочего колеса на 10 - 20 % КПД насоса изменяется незначительно.

При обточке рабочего колеса центробежного насоса подача и напор изменяются в соответствии со следующими уравнениями.

$$\frac{Q}{Q_{\text{обт}}} = \frac{D}{D_{\text{обт}}}; \frac{H}{H_{\text{обт}}} = \left(\frac{D}{D_{\text{обт}}}\right)^2 \quad (6.18)$$

Предел обточки рабочих колес зависит от коэффициента быстротходности

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (6.19)$$

где Q - подача насоса, м³/с;
 H - напор насоса, м;
 n - частота вращения, об/мин.

Рекомендуются следующие пределы обточки рабочих колес:

При $n_s = 60 \dots 120$	20...15 %
“ $n_s = 120 \dots 200$	15...11 %
“ $n_s = 200 \dots 300$	11...7 % .

6.5. Совместная работа насоса и трубопровода

Насосный агрегат и система трубопроводов в процессе работы находятся в определенной технологической связи. В результате анализа работы насосной установки было найдено выражение для определения напора (6.6). Величина гидравлического потерь h_T в м в этой формуле зависит от диаметра d , длины трубопроводов l , коэффициента сопротивления λ , количества и видов всех местных сопротивлений, а также от квадрата скорости течения жидкости в них v^2 , т.е.

$$h_T = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (6.20)$$

где $\sum \zeta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Учитывая, что для заданного трубопровода d , l , λ , g и $\sum \zeta$ постоянны, а $v^2 = 4 Q^2 / \pi d^2 = 0,785 Q^2 / d^2$, можно записать

$$h_T = S Q^2, \quad (6.21)$$

где S - удельное сопротивление системы трубопроводов, величина постоянная для данного трубопровода и представляющая потерю напора в системе при $Q = 1$.

Полная высота (в м) подъема жидкости насосной установкой может быть выражена функцией расхода

$$H = H_T + S Q^2. \quad (6.22)$$

Это уравнение называют гидравлической характеристикой системы трубопроводов.

Пользуясь выражением (6.22), можно построить эту характеристику в графическом виде (рис. 6.14), она представляет собой параболу, выходящую из точки $H = H_T$ при $Q = 0$ (кривая 2). Если на один и тот же график нанести характеристику насоса и характеристику трубопровода, то получим график, характеризующий работу насосной установки. Точка А пересечения кривой 1 $H - Q$ насоса и кривой 2 $Q - H_{tr}$ трубопровода называется рабочей точкой насосной установки. Она определяет все данные, характеризующие рабочий режим насосной установки, а именно подачу Q_A , напор H_A , мощность N_A на валу насоса, КПД η_A и допускаемую вакуумметрическую высоту всасывания $H_{\text{вак}A}^{\text{доп}}$.

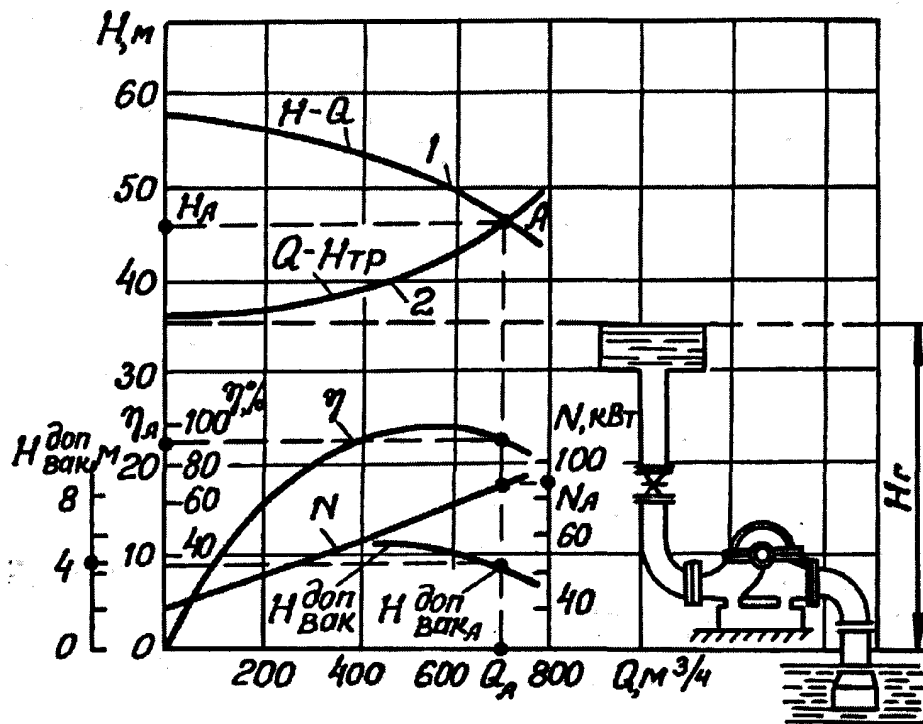


Рис. 6.14. К определению точки работы насоса

6.6. Параллельная и последовательная работа центробежных насосов

На насосных станциях (особенно крупных) часто встречается необходимость в совместной работе нескольких насосов. Для увеличения подачи насосной станцией в системе водоснабжения часто используют параллельную работу насосов. Для питания систем с высокими напорами, но с относительно малыми подачами можно использовать последовательное включение в сеть нескольких насосов.

Совместная работа нескольких насосов с подачей воды в общий напорный трубопровод называется параллельной работой насосов. Эти насосы могут быть с одинаковыми и неодинаковыми характеристиками.

Для построения характеристики совместной работы нескольких параллельно работающих насосов на общий напорный трубопровод складывают подачу этих насосов при одинаковых напорах. Так как насосы одинаковые, то построение суммарной характеристики (рис. 6.15) системы с двумя параллельно работающими насосами $\Sigma(Q - H)_{1+2}$ сводится к удвоению их производительностей при одинаковых напорах.

Для определения режима работы этих насосов следует построить характеристику трубопроводов $Q - H_{тр}$ и по рабочей точке А пересечения характеристики насосов и характеристики трубопровода определить суммарную фактическую подачу двух насосов Q_{1+2} и напор H_{1+2} . Для определения подачи, мощности и КПД каждого насоса при их совместной работе необходимо из точки А провести линию, параллельную оси абсцисс, которая пересечет характеристику каждого из насосов в точке $A_{1,2}$. Координаты этой точки определяют подачу Q_1, Q_2 и напор H_1, H_2 каждого насоса. Мощность, КПД и допустимая вакуумметрическая высота всасывания каждого из совместно работающих насосов определяют соответственно точками 1, 2, 3, являющимися точками пересечения

кривых η , N и $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ перпендикуляром, опущенным из точки $A_{1,2}$.

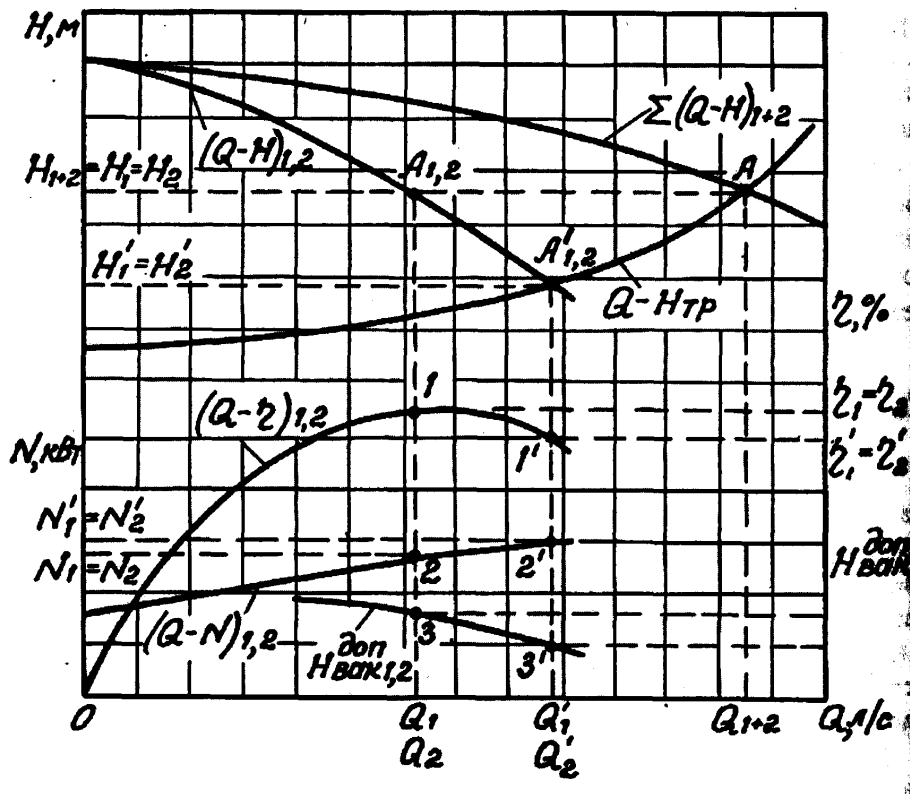


Рис. 6.15. Характеристика параллельной работы двух одинаковых центробежных насосов

Параметры каждого насоса Q'_1 , Q'_2 и H'_1 , H'_2 при их раздельной работе, т.е. когда один из них выключен, а второй работает, определяются по т. $A_{1,2}'$. Мощность, КПД и допустимая высота всасывания каждого из раздельно работающих насосов определяются соответственно точками $1'$, $2'$, $3'$.

Следует заметить, что суммарная подача насосов Q_{1+2} работающих параллельно на общий трубопровод, меньше суммарной подачи этих же насосов $Q'_1 + Q'_2$, работающих индивидуально, т.е. $Q_{1+2} < Q'_1 + Q'_2$. Это объясняется тем, что насосы в случае параллельного включения работают при более высоких напорах, чем при работе одного насоса. Нагрузка электродвигателей при параллельной работе насосов также меньше их нагрузки, при индивидуальной работе, т.е. $N_H < N_H'$.

Параллельная работа насосов с различными характеристиками возможна только для таких насосов, у которых развиваемые напоры отличаются друг от друга незначительно (подача значения не имеет). Определение параметров параллельной работы насосов с различными характеристиками проиллюстрирована на рис. 6.16. Суммарная характеристика насосов $\Sigma(Q - H)_{1+2}$ строится путем сложения подач каждого насоса при одинаковых напорах. Подача Q_{1+2} и напор H_{1+2} являются суммарными фактическими параметрами этих насосов при совместной параллельной работе. Пдачи Q_1 , Q_2 и напоры H_1 , H_2 являются фактическими параметрами каждого насоса при совместной работе. Пдачи Q'_1 , Q'_2 и напоры H'_1 , H'_2 являются фактическими параметрами каждого насоса, работающего индивидуально. По точках 1_1 , 2_1 и 1_2 , 2_2 определяются соответственно КПД

и мощность (кривые $Q - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ на графике не показаны) каждого насоса при их совместной параллельной работе, а по точкам $1_1', 2_1'$ и $1_2', 2_2'$ - эти же параметры при работе каждого насоса индивидуально.

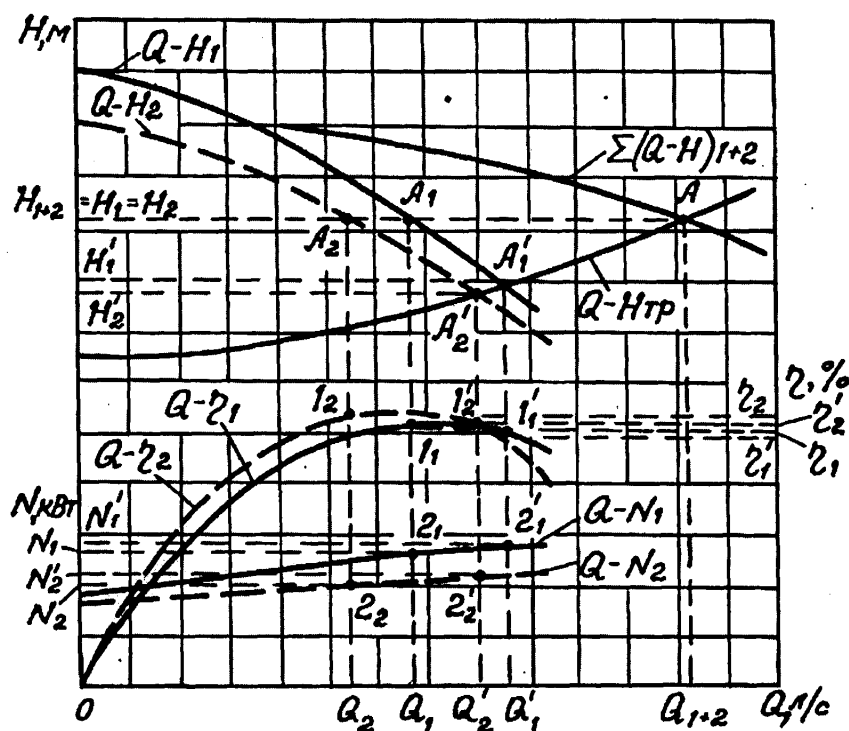


Рис. 6.16. Характеристика параллельной работы двух разных центробежных насосов

Если при параллельной работе в общий напорный трубопровод центробежных насосов последние расположены в непосредственной близости один от другого, то сопротивления в коротких соединительных участках ввиду их малости можно пренебречь. При значительном расстоянии между насосами, работающими в общий напорный трубопровод, сопротивлениями в соединительном участке пренебречь нельзя и оно должно быть учтено при расчете.

Простейший пример такой параллельной работы насосов представлен на рис. 6.17. Для того, чтобы правильно оценить параллельную работу насосов в этом случае, необходимо привести их характеристики к одной точке (к точке N на рис. 6.17). Ввиду близости расположения насоса 2 от точки N можно пренебречь потерями напора на участке от насоса 2 до точки N , предположив, что характеристика насоса 2 в этой точке тождественна его заводской характеристике.

Для приведения характеристики насоса 1 к точке N необходимо построить его характеристику относительно этой точки, т.е. вычесть из ординат заводской характеристики насоса потери напора на участке от насоса 1 до точки N . Эта характеристика представлена кривой $Q - H_{1N}$ на рис. 6.17. При построении суммарной характеристики совместной параллельной работы насосов 1 и 2 необходимо суммировать абсциссы кривых $Q - H_{1N}$ и $Q - H_2$, т.е. сложить характеристики насосов, приведенные к одной точке N .

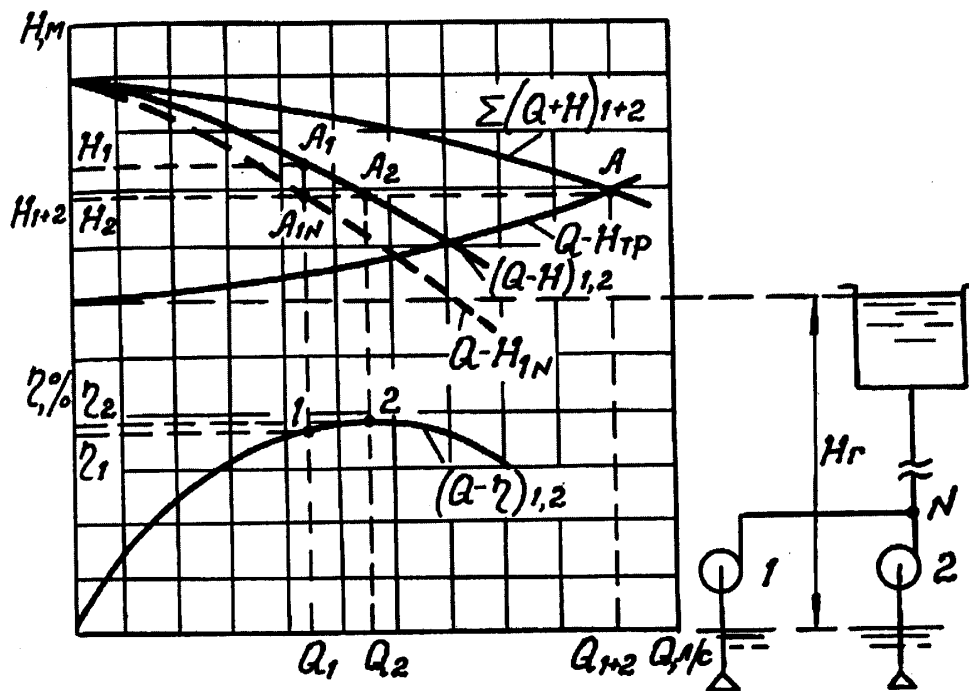


Рис. 6.17. Характеристика параллельной работы на одну систему двух центробежных насосов, расположенных на значительном расстоянии один от другого

По такому принципу можно построить характеристики трех и более насосов, расположенных на значительных расстояниях один от другого и подающих жидкость в общий напорный трубопровод.

Центробежные насосы включают в одну систему последовательно, т.е. напорный патрубок одного насоса подключают к всасывающему патрубку второго, в тех случаях, когда напор, развиваемый одним насосом, недостаточен для подачи жидкости на заданную высоту. При этом очевидно, расход остается неизменным, а высота подъема, развиваемая насосами, увеличивается.

На рис. 6.18 представлена схема последовательного соединения двух одинаковых центробежных насосов и их характеристики.

Для определения рабочих параметров последовательно соединенных насосов необходимо, как и при параллельной работе насосов, на одном графике совместить суммарную характеристику насосов $\Sigma Q - H_{1+2}$ и характеристику системы трубопроводов $Q - H_{тр.}$. Построение суммарной характеристики последовательной работы нескольких насосов осуществляют сложением ординат (напоров) H при одинаковых расходах Q , т.к. напор, развиваемый последовательно работающими насосами, равен сумме напоров, развиваемых каждым из этих насосов. В случае последовательной работы двух насосов с одинаковыми характеристиками (рис. 6.18) ординаты (при данном расходе) удваиваются.

Точка работы насосов (т. А) является точкой пересечения суммарной характеристики насосов $\Sigma Q - H_{1+2}$ с характеристикой системы трубопроводов $Q - H_{тр.}$. По точке А определяются суммарные фактические подачи двух насосов Q_{1+2} и напор H_{1+2} . Для определения напора, КПД и мощности каждого насоса при их совместной последовательной работе необходимо из точки А опустить перпендикуляр до пересечения

с кривыми $Q - H_{1,2}$, $Q - \eta_{1,2}$, $Q - N_{1,2}$ насосов. Ордината точки $A_{1,2}$ определяет напоры каждого насоса, а подачи у них равны $Q_1 = Q_2 = Q_{1+2}$. КПД и мощность каждого из совместно работающих насосов определяются соответственно точками 1 и 2.

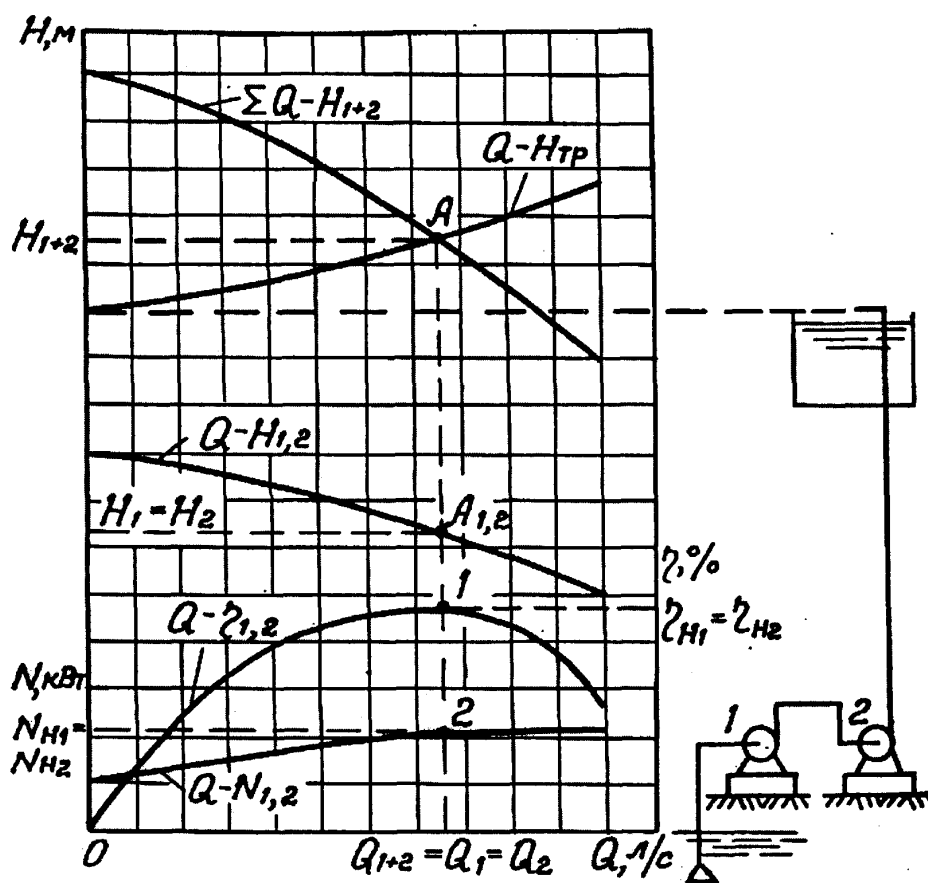


Рис. 6.18. Характеристика последовательной работы двух одинаковых центробежных насосов

Последовательная работа насосов с разными характеристиками возможна только для таких насосов, у которых подача отличается друг от друга незначительно (напор значения не имеет). Определение параметров последовательной работы насосов с различными характеристиками проиллюстрировано рис. 6.19. Суммарная характеристика насосов $\Sigma Q - H_{1+2}$ строится путем сложения напора каждого насоса при одинаковых подачах. Подача Q_{1+2} и напор H_{1+2} являются суммарными фактическими параметрами этих насосов при совместной последовательной работе. Подачи $Q_1 = Q_2$ и напоры $H_1 = H_2$ являются фактическими параметрами каждого насоса при совместной работе. По точкам 1, 2 и 2₁, 2₂ определяются соответственно КПД и мощность каждого насоса при их совместной последовательной работе.

Если при последовательной работе в общий напорный трубопровод центробежных насосов последние расположены в непосредственной близости один от другого, то сопротивлением в коротком соединительном участке ввиду его малости практически можно пренебречь. При значительном расстоянии между насосами сопротивлением в соединительном трубопроводе пренебречь нельзя и оно должно быть учтено при расчете. В практике перекачивания жидкости на большие расстояния при значительном геометрическом подъеме такая схема последовательного соединения насосов или

насосных станций используется достаточно широко. Определение рабочих параметров такой схемы использования центробежных насосов проиллюстрировано на рис. 6.20. Характеристику совместной работы насосов в этом случае строят следующим образом.

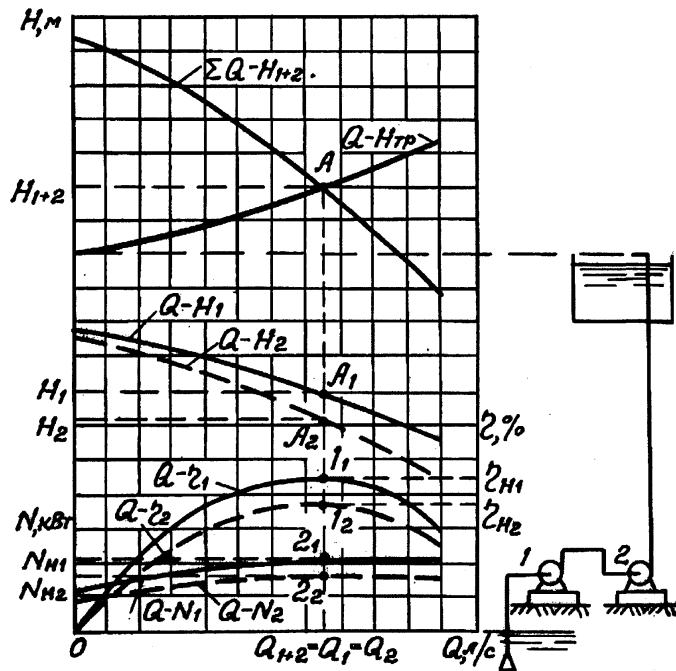


Рис. 6.19. Характеристика последовательной работы двух разных центробежных насосов

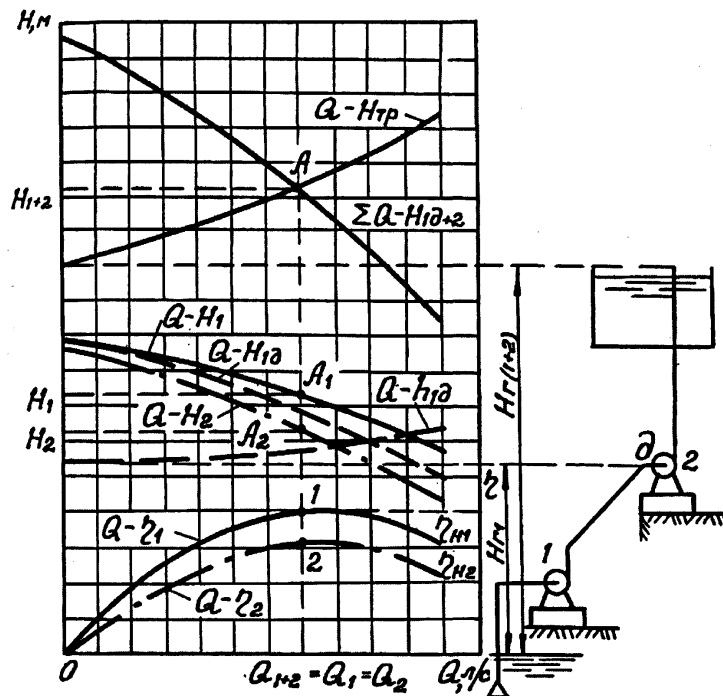


Рис. 6.20. Характеристика последовательной работы двух разных центробежных насосов, установленных на значительном расстоянии один от другого

При заданных характеристиках насоса 1 $Q - H_1$ и насоса 2 $Q - H_2$ вначале строят

дроссельную характеристику насоса 1 относительно точки d (точки присоединения напорной линии насоса 1 к насосу 2). Для этого из ординат кривой $Q - H_1$ вычитают потери напора на участке 1 - d, пользуясь характеристикой этого трубопровода $Q - h_{1d}$. Полученные таким образом ординаты дроссельной характеристики насоса 1 $Q - H_{1d}$ складывают с ординатами характеристики насоса 2 $Q - H_2$ и получают суммарную характеристику $\Sigma Q - H_{1d+2}$ совместной работы насосов 1 и 2.

Построив на этом же графике характеристику напорного трубопровода от насоса 2 до резервуара $Q - H_{тр}$, находят рабочую точку A данной системы трубопроводов и насосов. Как определить рабочие параметры насосов в этом случае, ясно из рис. 6.20

6.7 Подбор насоса и двигателя

Насос подбирают по требуемым параметрам - подаче Q и напору H. В каталогах по сводным графикам исходных технических данных находят точку с исходными Q и H и соответствующую ей марку насоса и далее уточняют параметры насосной установки по совмещенному графику характеристик принятого насоса и трубопровода.

При подборе насоса нужно стремиться к тому, чтобы его напор при оптимальном КПД был равен расчетному напору насосной установки или во всяком случае, чтобы рабочий режим лежал в пределах рекомендуемой области использования насоса. Однако не всегда удается достичь таких условий, так как число выпускаемых типов насосов ограничено. В таких случаях, если бывает недостаточной обточка рабочего колеса или изменение частоты вращения, принимают к установке несколько насосов или идут на некоторые изменения исходных данных.

Для привода центробежных насосов в системах водоснабжения и водоотведения, как правило, применяют асинхронные короткозамкнутые и реже синхронные электродвигатели переменного трехфазного тока, обеспечивающие надежность работы и простоту обслуживания.

При непосредственном соединении электродвигателя с насосом их частота вращения должна быть одинаковой или близкой по значению. Мощность двигателя в этом случае определяют в кВт по формуле

$$N_{дв} = k_3 \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_n}, \quad (6.23)$$

где k_3 - коэффициент запаса мощности двигателя;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 Q - подача, м³/с;
 H - напор, м;
 η_n - полный коэффициент полезного действия насоса.

Коэффициент k_3 принимают в зависимости от мощности двигателя в следующих пределах:

При мощности до 2 кВт коэффициент k_3 равен	1,5
“ “ от 2 до 5 кВт “ “ “	1,5 - 1,25
“ “ “ 5 “ 50 “ “ “	1,25 - 1,15
“ “ “ 50 “ 100 “ “ “	1,15 - 1,08

“ “ свыше 100 “ “ “ “ 1,05

Асинхронные электродвигатели единой серии А в исполнении с короткозамкнутым ротором А, АЗ, АП и АН выпускают на стандартные напряжения 127, 220, 280, 380, 500, 3000. 6000 и 10000 В.

6.8. Кавитация в насосах и допускаемая высота всасывания

Всасывание воды насосом происходит благодаря разрежению, которое образуется в его корпусе. Степень разрежения зависит от превышения внешнего барометрического давления $p_б$ над внутренним абсолютным давлением всасывания жидкости во входной части рабочего колеса и выражается формулой, м:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_б - (p_{\text{вс}} + v_{\text{вс}}^2/2g)}{\rho g} . \quad (6.24)$$

Величина разрежения должна быть такой, чтобы давление $p_{\text{вс}}$ при входе жидкости в рабочее колесо было больше давления ее паров $p_{\text{п.ж.т}}$ при данной температуре t , иначе может возникнуть явление, называемое к а в и т а - ц и е й.

Основным средством предупреждения кавитации, обеспечивающим нормальную работу центробежного насоса, является установка его на такой высоте по отношению к уровню воды в нижнем резервуаре, чтобы давление при входе в колесо всегда было больше давления паров перекачиваемой жидкости.

В ы с о т у у с т а н о в к и н а с о с а над минимальным уровнем жидкости в нижнем резервуаре определяют по формуле, м:

$$H_{\text{г.в.}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - \left(h_{\text{вс}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} \right) , \quad (6.25)$$

где $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ - допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м;
 $h_{\text{вс}}$ - потери напора во всасывающем трубопроводе, м;
 $v_{\text{вс}}$ - скорость течения жидкости во всасывающем патрубке насоса, м/с.

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ указывается в паспорте насоса и приводится на его рабочей характеристике для нормального барометрического давления 0,098 МПа и температуры перекачиваемой жидкости 20 °С. В других условиях работы насоса в паспортные данные необходимо вводить поправки и определять $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ по формуле, м:

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак.пасп}}^{\text{доп}} + \left(\frac{p_б}{\rho g} - 10 \right) - \left(h_{\text{п.ж.}} - h_{\text{п.ж.}_{t=20^\circ}} \right) , \quad (6.26)$$

где $p_б$ - фактическое барометрическое давление, Па;
 $h_{\text{п.ж.}}$ - упругость паров жидкости при данной температуре, м. Для воды

значения $h_{п.ж.}$ в зависимости от температуры t приведены в таблице;
 $h_{п.ж.}$ - упругость паров жидкости при температуре 20°C , м.

Значения $h_{п.ж.}$ для воды в зависимости от $t^\circ\text{C}$.

$t^\circ\text{C}$	0	10	20	40	60	80	100
$h_{п.ж.}$	0,06	0,12	0,24	0,75	2,03	4,83	10,33

На рабочих характеристиках современных центробежных насосов вместо величины $H_{вак}^{доп}$ указывается величина допустимого кавитационного запаса $h_{доп}$, м.

Переход от величины $\Delta h_{доп}$ к величине допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H_{вак}^{доп}$ можно осуществить по формуле:

$$H_{вак}^{доп} = \frac{p_a}{\rho g} - \Delta h_{доп} - h_{п.ж.} + \frac{v_{вс}^2}{2g} . \quad (6.27)$$

6.9. Регулирование подачи центробежных насосов

В условиях эксплуатации насосных агрегатов бывает необходимо иметь возможность регулировать подачу насоса в довольно широких пределах. Регулирование работы центробежного насоса может производиться изменением частоты вращения или срезкой рабочего колеса. Существует также способ регулирования подачи центробежных насосов изменением характеристики систем трубопроводов.

Наиболее экономичным способом регулирования работы насосного агрегата является изменение числа оборотов рабочего колеса. В этом случае изменение частоты вращения ведет к изменению характеристики насоса согласно уравнениям пропорциональности (6.16). Эти уравнения позволяют по одной характеристике $Q - H$ построить ряд характеристик насоса в широком диапазоне частоты вращения.

Решая совместно первые два уравнения пропорциональности (6.16), получим уравнение параболы подобных режимов:

$$H = \frac{H_1}{Q_1^2} Q^2 = \text{const} Q^2 = K_1 Q^2 , \quad (6.28)$$

где K_1 - коэффициент, характеризующий кривую пропорциональности, величина которого для одной параболы подобных режимов постоянная.

Имея характеристику насоса $Q - H$ для частоты вращения n и пользуясь уравнениями пропорциональности $Q / Q_1 = n / n_1$ и $H / H_1 = (n / n_1)^2$, можно построить новую характеристику насоса $Q_1 - H_1$ для другой частоты вращения n_1 .

Для этого надо задаться на известной кривой $Q - H$ какой-либо точкой 1 с параметрами Q и H при частоте вращения n (рис. 6.21) и, подставив их в уравнения $Q / Q_1 = n / n_1$ и $H / H_1 = (n / n_1)^2$, найти Q_1 и H_1 для точки 1' с заданной частотой вращения n_1 . Так же находят параметры точек 2', 3' и т.д. Соединив эти точки, получим кривую $Q_1 - H_1$, новую характеристику насоса для частоты вращения n_1 .

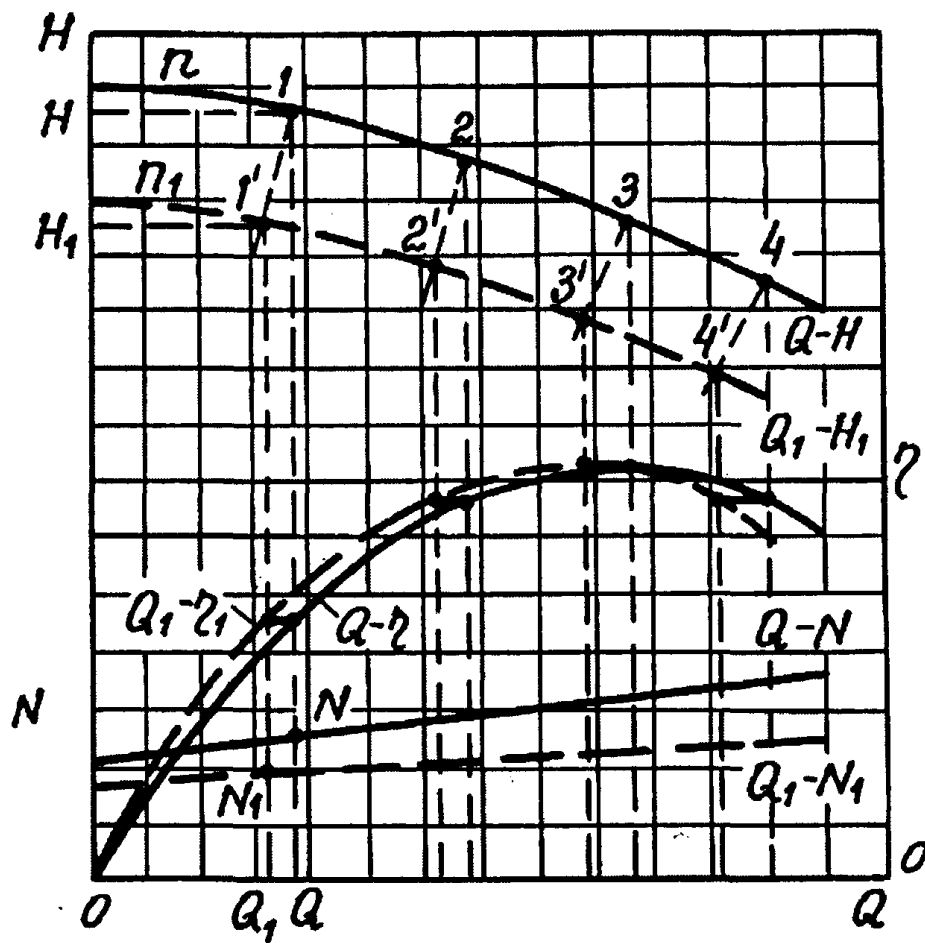


Рис. 6.21. Графические построения при пересчете характеристики насоса с одной частоты вращения на другую

При построении кривой КПД $Q_1 - \eta_1$ пользуются тем, что КПД насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса насоса в довольно широких диапазонах остается практически постоянным. Поэтому КПД, соответствующий точкам 1, 2, 3, 4 и т.д. на кривой $Q - H$, переносят без изменения соответственно точкам 1', 2', 3', 4' и т.д.

Кривую мощности $Q - N$ пересчитывают по третьему уравнению пропорциональности (6.16).

Другим способом регулирования работы центробежного насоса является метод срезки (обточка) рабочего колеса по его наружному диаметру. При срезке рабочего колеса центробежного насоса подача и напор изменяются в соответствии с уравнениями (6.18).

Пользуясь этими уравнениями, можно, например, найти, до какого диаметра нужно срезать рабочее колесо насоса, чтобы обеспечить необходимую подачу Q_A и напор H_A . Для этого из уравнения параболы подобных режимов вида $H = K Q^2$ после подстановки заданных Q_A и H_A находят коэффициент K . Далее, задаваясь различными подачами по шкале Q графика (рис. 6.22), по этому уравнению можно определить соответствующие напоры. При вычислении напоров значение коэффициента K сохраняется постоянным. По значениям Q и H строят параболу подобных режимов, которая пройдет через заданную точку A с координатами Q_A и H_A и пересечет кривую $Q - H$ в точке B . После этого по

уравнению $Q_B / Q_A = D / D_{срА}$ находят искомый диаметр рабочего колеса $D_{срА}$ по формуле $D_{срА} = (Q_A / Q_B)D$.

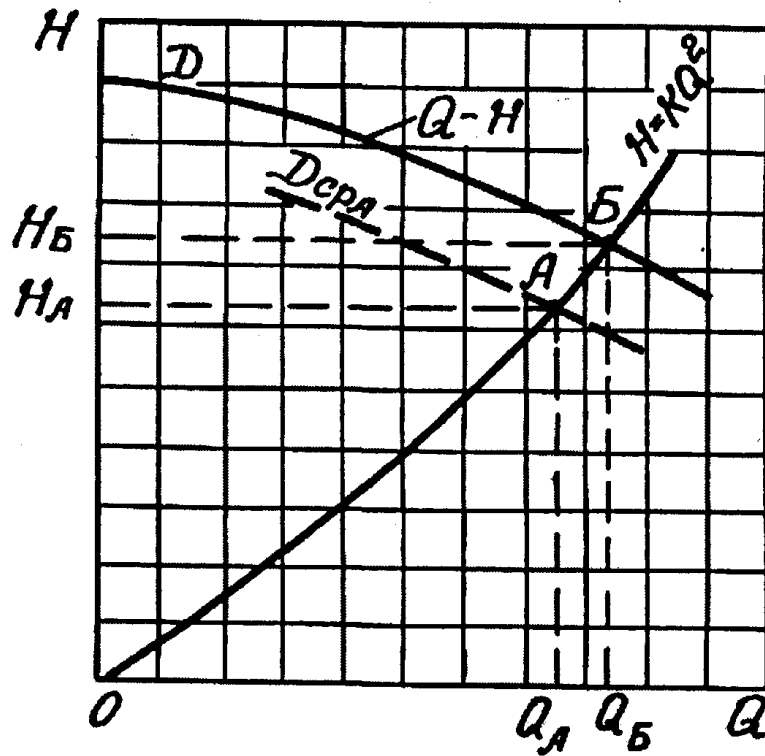


Рис. 6.22. Графические построения при определении диаметра срезки рабочего колеса насоса

Коэффициент полезного действия насоса при срезке колеса изменяется незначительно. С достаточной степенью точности можно принять, что КПД насоса уменьшается на 1 % на каждые 10 % срезки колеса при коэффициенте быстроходности $n_s = 60 \dots 2000$ на 1 % на каждые 4 % срезки при $n_s = 200 \dots 300$.

Следует заметить, что срезка колеса допустима только до определенного предела, значения которого указано в параграфе 6.4.

Одним из наиболее широко используемых способов регулирования подачи центробежных насосов является способ изменения характеристики системы трубопроводов, который осуществляется, как правило, задвижкой, установленной на напорной линии. Регулирование задвижкой состоит в том, что, уменьшая открытие задвижки, вводят дополнительное сопротивление на напорной линии и за счет этого изменяют характеристику трубопроводов. Зависимость $Q_\phi = f(S)$ (рис. 6.23) фактического расхода Q_ϕ в трубопроводе в функции от открытия s задвижки в процентах показывает, что с уменьшением степени открытия задвижки характеристика трубопровода поднимается вверх. Изменяя открытие задвижки, можно плавно регулировать расход от Q_{\max} до нуля.

Регулирование работы насоса задвижкой чрезвычайно просто. Существенным недостатком этого способа является неэкономичность и возможность регулирования только в сторону уменьшения подачи.

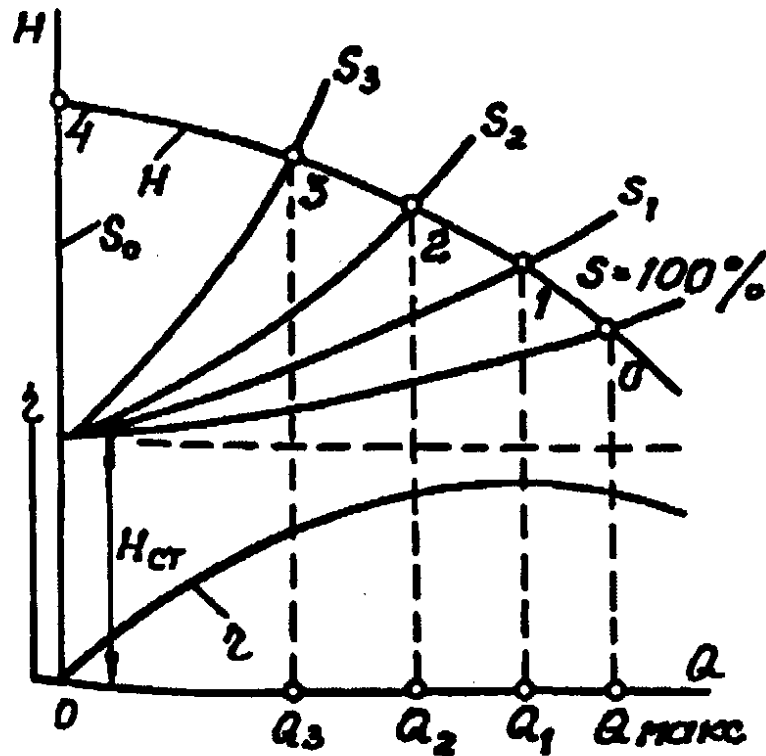


Рис. 6.23. Графические построения при регулировании работы насоса задвижкой

6.10. Водопроводные насосные станции

По своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения насосные станции бывают следующих типов:

станции I подъема, которые забирают воду непосредственно из источника и подают на очистные сооружения или, если очистка воды не требуется, непосредственно в распределительную сеть, водонапорные башни и другие сооружения; такие станции могут быть совмещены с водозаборными сооружениями или отделены от них;

станции II подъема служат для подачи очищенной воды из резервуаров в распределительную сеть и водонапорные башни; в отдельных случаях насосные станции II подъема блокируются с очистными сооружениями или совмещают со станцией I подъема;

повысительные станции, предназначенные для повышения напора в водопроводной сети;

циркуляционные станции, устанавливаемые для перекачки воды в системах оборотного водоснабжения.

В зависимости от надежности действия насосные станции подразделяются на три категории:

на станциях I категории надежности не допускается перерыв в работе насосов;

на станциях II категории надежности допускается перерыв в работе насосов на время, необходимое для включения резервных агрегатов;

на станциях III категории надежности допускается перерыв в подаче воды на время ликвидации аварии.

Для обеспечения требуемой надежности действия насосные станции оборудуются,

кроме рабочих агрегатов, резервными, число которых принимают в соответствии с рекомендациями строительных норм и правил.

По расположению насосных агрегатов относительно поверхности земли насосные станции подразделяют на наземные, полузаглубленные и заглубленные.

Подачу насосов (в м³/ч) станции I подъема рассчитывают на подачу среднечасового расхода воды в дни максимального водопотребления по формуле

$$Q = \frac{\alpha Q_{сут}}{T}, \quad (6.29)$$

где α - коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды очистной станции ($\alpha = 1,03 \dots 1,1$);
 $Q_{сут}$ - максимальный суточный расход, м³;
 T - число часов работы насосной станции.

Подача насосной станции II подъема зависит от режима водопотребления. Подача воды насосами для этих станций может быть равномерной в течение суток или ступенчатой, когда в разные часы суток работает разное число насосов в зависимости от водопотребления.

В системах оборотного водоснабжения подачу насосов принимают равной среднечасовому расходу воды.

6.11. Принцип размещения насосного оборудования

Насосные станции оборудуются насосными агрегатами, всасывающими и напорными трубопроводами с арматурой, устройствами для заливки насосов, противоударными приборами, контрольно-измерительной аппаратурой и подъемно-транспортными средствами. Компоновку оборудования и конструкцию зданий насосной станции принимают в соответствии с рекомендациями строительных норм и правил.

Расположение насосных агрегатов и трубопроводов в насосной станции должно обеспечивать надежность работы, удобство, простоту и безопасность обслуживания, минимальную протяженность коммуникаций и возможность расширения станции.

Для удобства монтажа и эксплуатации на насосных станциях целесообразно применять однотипное оборудование. Насосные агрегаты в зданиях насосных станций могут быть расположены по одной из следующих схем: в один ряд перпендикулярно оси станции; в один ряд параллельно продольной оси станции; в два ряда с параллельным расположением осей в каждом ряду; по схеме двухъярусного размещения агрегатов в шахматном порядке.

При выборе схемы расположения агрегатов в здании необходимо учитывать конкретные условия проектирования: количество агрегатов и их размеры, заглубление насосной станции, арматуру которой оборудуют всасывающие и напорные трубопроводы. При этом следует иметь в виду, что при однорядном расположении агрегатов возможно комплексное размещение оборудования. Двухрядное расположение агрегатов имеет преимущество при большом числе разнотипных агрегатов, но при этой схеме увеличивается пролет здания и усложняются коммуникации трубопроводов. Двухрядное шахматное расположение агрегатов целесообразно при большом числе крупных машин.

При определении размеров машинного отделения насосной станции необходимо

учитывать, что минимальная ширина проходов должна быть между агрегатами 1-1,2 м; агрегатами и стеной - 0,7 - 1 м; фундаментами агрегатов и распределительным щитом - 1,5 м; неподвижными выступающими частями оборудования - 0,7 м.

В целях повышения надежности работы станции насосы следует устанавливать под залив при расчетном уровне воды в приемном резервуаре. За расчетный уровень обычно принимается уровень пожарного запаса. При установке насосов с превышением их оси над самым низким уровнем воды необходимо следить, чтобы это превышение было меньше допустимой высоты всасывания насосов на величину потерь напора во всасывающем трубопроводе.

Внутристанционные трубопроводы насосных станций следует выполнять из стальных труб на сварке с применением фланцев для присоединения арматуры и насосов. Диаметры труб рассчитывают по допустимым скоростям течения воды, которые принимают: для всасывающих труб - не более 1 - 1,2 м/с при $d < 250$ мм и не более 1,2 - 1,6 м/с при $d \geq 250$ мм; для напорных труб - 1,5 - 2 м/с при $d < 250$ мм и 2 - 2,5 м/с при $d \geq 250$ мм.

Всасывающий трубопровод представляет одну из ответственных частей оборудования станции, от которого во многом зависит нормальная работа насосов. Он должен быть герметичным, возможно меньшей длины и иметь наименьшее число фасонных частей, а также непрерывный подъем к насосу не менее 0,005.

Непременным условием правильной работы всасывающих трубопроводов является устранение причин образования в них воздушных мешков. Для этого при переходе от труб с одного диаметра к трубам другого диаметра на горизонтальных участках трубопровода следует применять только косые переходы с горизонтальной верхней образующей. Для предотвращения попадания воздуха во всасывающий трубопровод входное отверстие трубы должно быть заглублено ниже самого низкого уровня воды в приемном резервуаре на 0,5 - 1 м.

Число всасывающих линий независимо от числа насосов должно быть не меньше двух. Задвижки на всасывающих трубопроводах применяют только у насосов, расположенных под заливом, или при присоединении насосов к общему всасывающему коллектору.

Корпус и всасывающие трубопроводы центробежных насосов перед пуском должны быть заполнены жидкостью.

Если насос расположен ниже уровня перекачиваемой жидкости, то специальные устройства для его заполнения не предусматривают, а при расположении насоса выше уровня перекачиваемой жидкости необходимо применять специальные устройства для его заливки.

Заливка насоса из напорного трубопровода показана на рис. 6.24, а. Для того, чтобы в период заливки насоса вода во всасывающей трубе не пропадала в приемный резервуар, на ее конце устанавливают приемный клапан с сеткой.

На рис. 6.24, б приведена схема отсасывания воздуха эжектором из корпуса насоса, который подключен к его верхней части.

На рис. 6.24, в показана схема отсасывания воздуха с помощью вакуум-насоса. Создаваемый вакуум достаточно высок и в зависимости от марки насоса достигает 7-9 м водяного столба. Сам процесс обычно длится 2-3 мин. Такой способ заливки насоса имеет большие преимущества, так как весь процесс можно полностью автоматизировать.

Напорные водоводы насосных станций должны обеспечивать подключения агрегатов без перерыва подачи. Напорные трубопроводы каждого насоса оборудуются задвижкой и обратным клапаном для предотвращения обратного тока воды.

Всасывающие и напорные трубопроводы внутри станции, как правило, укладывают

на полу, при этом для удобства обслуживания устраивают переходные мостики. В отдельных случаях допускается укладка труб в каналах, перекрываваемых плитами.

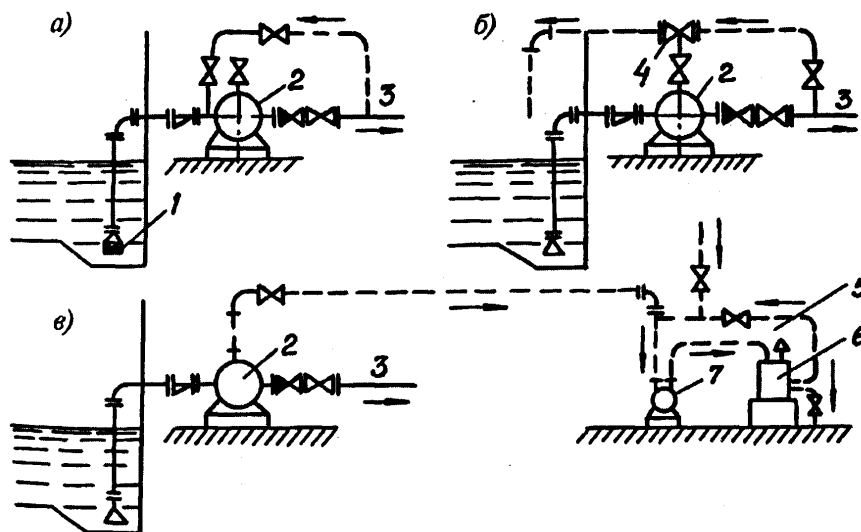


Рис. 6.24. Схемы заливки насосов:

а – из напорного трубопровода; б – эжектором; в - вакуум-насосом, 1 - приемный клапан с сеткой; 2 - насос; 3 - напорный трубопровод; 4 - эжектор; 5 - трубопровод; 6 – циркуляционный бачок; 7 – вакуум-насос

Машинные отделения насосных станций, кроме основного оборудования, должны иметь подъемно-транспортные механизмы (таль с кошкой, подвесную кран-балку, краны мостовые и др.); дренажные насосы для удаления из заглубленных станций грунтовой воды, просачивающейся через стены; вакуум-насосы для залива основных насосов при запуске, если они установлена “под заливом”.

В зданиях насосных станций с крупными насосными агрегатами для ремонта насосов и электродвигателей должно быть предусмотрено место для монтажной площадки, которую обычно устраивают в торце здания на уровне поверхности земли.

Для обеспечения электроснабжения на насосных станциях монтируют трансформаторные подстанции со 100 %-ным резервом.

Для распределения электроэнергии между агрегатами служит щит или шкафы низкого напряжения, располагаемые в машинном отделении.

В целях обеспечения бесперебойности электроснабжения насосные станции I и II категорий надежности должны получать энергию одним из следующих способов: от двух независимых источников энергии или от двух отдельных фидеров от кольцевой системы (с установкой резервных агрегатов на электростанциях).

На рис. 6.25 показана схема насосной станции I подъема, предназначенной для подачи подземной воды из скважины. Насосная станция оборудована глубинным насосом с трансмиссионным валом.

Пример типовой водопроводной насосной станции II подъема приведен на рис. 6.26. В здании насосной станции предусмотрено размещение четырех моноблочных центробежных насосов типа КМ. Насосные станции такого типа характерны для схем водоснабжения небольших населенных пунктов.

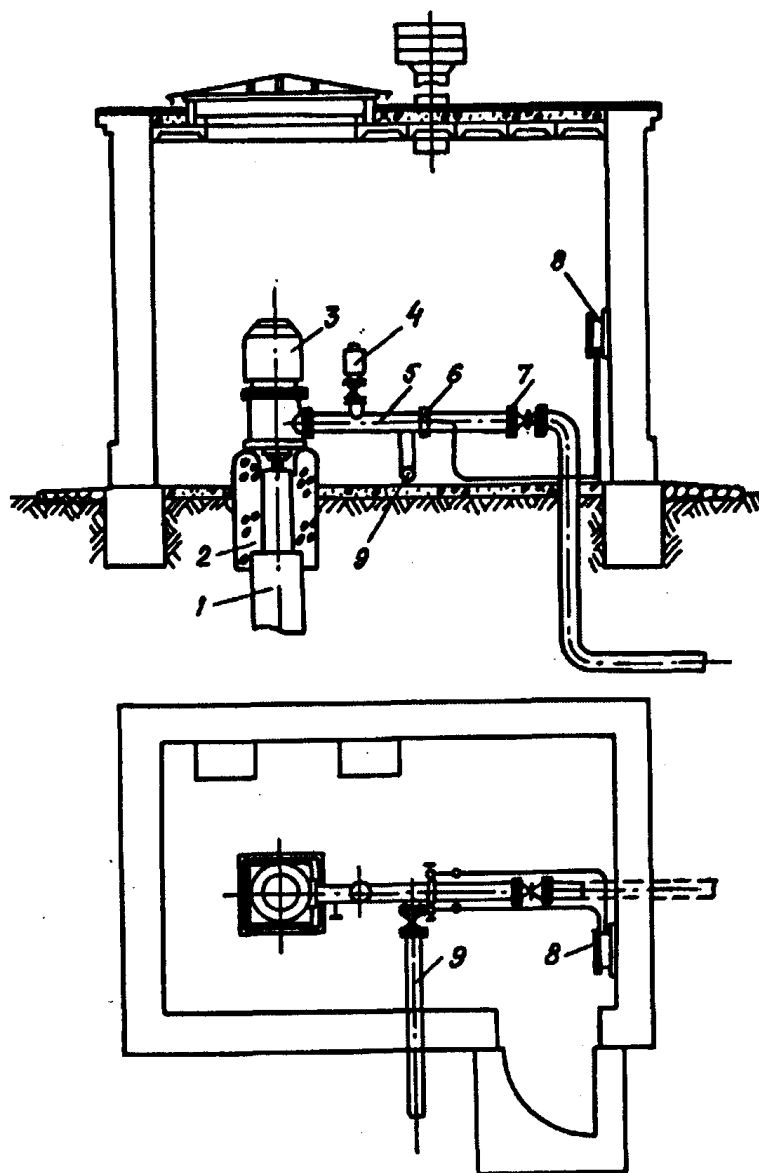


Рис. 6.25. Схема насосной станции I подъема:

1 – скважина; 2 – фундамент под двигатель; 3 – двигатель; 4 – вантуз; 5 – напорный трубопровод; 6 – измерительная диафрагма; 7 – задвижка; 8 – дифманометр; 9 – сбросной трубопровод

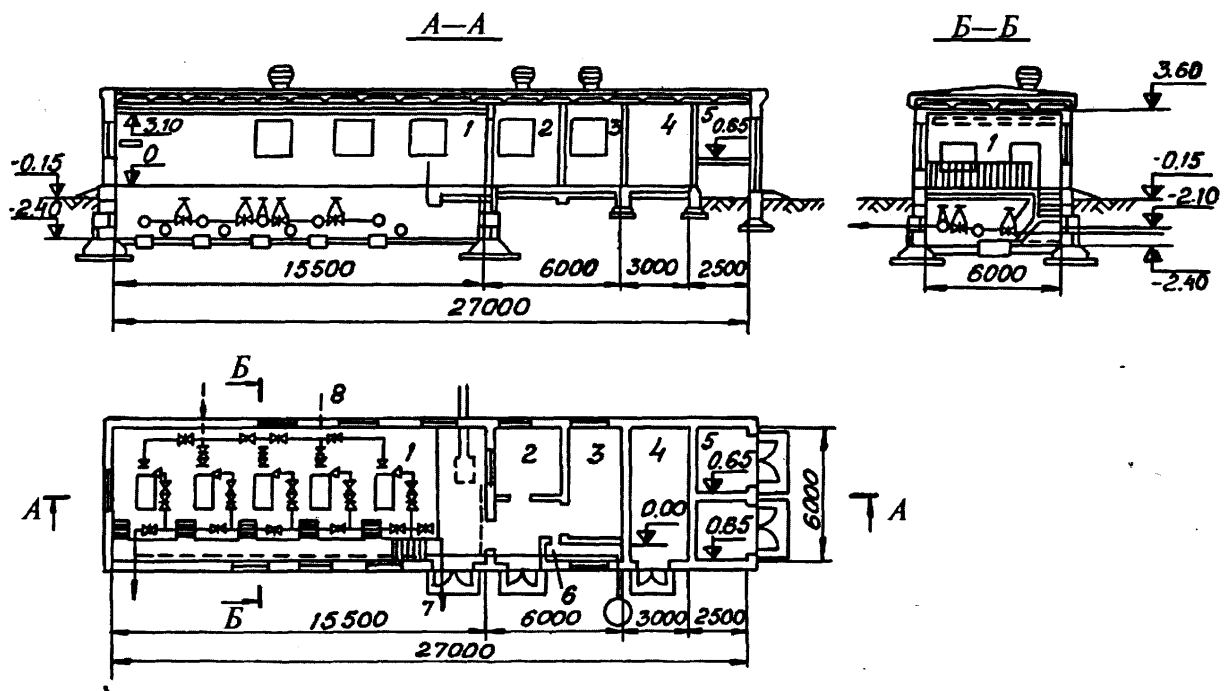


Рис. 6.26. Схема насосной станции II подъема:

1 – машинный зал; 2 – помещение для обслуживающего персонала; 3 - мастерская; 4 - помещение распределительных устройств; 5 - камеры трансформаторов; 6 - санузел; 7 – напорные трубопроводы; 8 – всасывающие трубопроводы

7. Источники водоснабжения и водозаборы.

7.1 Поверхностные источники водоснабжения.

В настоящее время на долю поверхностных водоисточников приходится около 80% от общего количества воды, используемой в хозяйственно-питьевом и промышленном водоснабжении и только 20% потребляемой воды дают подземные водоисточники.

Поверхностными водоисточниками являются реки, озера, водохранилища, каналы, в некоторых случаях моря и ледники.

Каждый из видов поверхностных источников имеет свою качественную характеристику, например, рекам (за исключением северных) присуща повышенная мутность воды. Причем показатели мутности имеют значительные сезонные колебания (наибольшая мутность во время осенних и весенних паводков, наименьшая - зимой). Вода большинства озер на территории России характеризуется достаточно высокой цветностью при сравнительно небольшой мутности ее.

Кроме того, каждый из видов поверхностных водоисточников имеет свои особенности, связанные с климатическими, геологическими, метеорологическими, гидрологическими, топографическими, биологическими и другими факторами. Естественно, не все перечисленные факторы в равной степени влияют на состояние источника, поэтому для правильного выбора и проектирования водозаборного сооружения в каждом конкретном случае необходимо детальное изучение указанных факторов.

Оценку рек как источников водоснабжения следует производить, прежде всего, на основании гидрологических факторов, в частности количества и качества стока, общих расходов, уровней воды, их колебаний, ледового режима, паводков, их колебаний, скорости течения, количества и качества наносов, устройства русла. Необходимо также учитывать топографические и геологические факторы. Для зарегулированных рек как источников водоснабжения, кроме указанных выше факторов, следует учитывать также гидрографические условия, т.е. очертание береговой линии, образовавшееся в результате регулирования стока реки; метеорологические факторы - направление и силу ветра, биологические факторы - цветение воды, продолжительность цветения, наличие планктона, водной растительности.

При оценке озер и водохранилищ учитываются те же факторы, что и для рек. Для водохранилищ дополнительно анализируются те же факторы, что и для зарегулированных рек.

Поверхностные водоисточники имеют разнообразный режим питания и стока. Для большинства рек основными источниками питания являются дождевые, снеговые и ледниковые воды. В засушливые периоды года и в период ледостава источником питания реки служат подземные воды. Реки, как правило, имеют несколько источников питания с преобладанием одного или двух из них, меняющихся по периодам года. Для равнинных рек Европейской части России и в Сибири характерно грунтовое и частично дождевое - летом и зимой, снеговое в результате таяния его - весной, дождевое - осенью.

Речной сток и расходы его изменяются в зависимости от периода года и по длине реки от верховья до устья. Обычно сток и расход увеличиваются с увеличением водосборной площади, поэтому расходы воды в реке различны для разных створов и населенных пунктов.

Распределение стока рек по периодам года и по месяцам (внутригодовое распределение стока) зависит, прежде всего, от внутригодового распределения осадков и температуры воздуха, а также от физико-географических условий бассейна реки, болот, озер, водохранилищ, ледников. Максимальный сток рек образуется обычно от таяния равнинных снегов, горных снегов и ледников, дождей. Наличие в бассейне рек, озер и водохранилищ болот способствует уменьшению максимального стока, но зато препятствует резкому уменьшению стока в меженный период, когда реки питаются преимущественно грунтовыми водами. Иначе говоря, болота выполняют буферную роль в количественном изменении стока реки по периодам года.

В связи с неравномерностью стока по сезонам года, весьма важной характеристикой водного режима реки является среднемноголетнее значение стока, определяемое по данным годовых стоков за n -летний период по выражению:

$$Q = \frac{\sum Q}{n} = q \cdot T, \quad (7.1)$$

где Q - годовой сток, $\text{к м}^3/\text{год}$;
 n - число лет наблюдений;
 q - среднее секундное значение расхода за n лет наблюдений;
 T - число секунд в год.

Аналогично определяются сезонные среднемноголетние стоки, а также их максимальные и минимальные значения, которые необходимо учитывать при выборе и проектировании водозаборных сооружений.

Скорости движения воды в реке и колебания уровней в значительной степени зависят от формы поперечного сечения русла, уклона его, очертания в плане, водной растительности.

Движение воды в реке носит турбулентный характер. У вогнутого берега массы воды перемещаются вниз, размывая берега, а у выпуклого берега - вверх, намывая его. Эту закономерность движения речного потока следует учитывать при выборе конструкции и места расположения водозабора.

Скорости движения воды в реках распределяются по живому сечению неравномерно - по вертикали они уменьшаются от поверхности ко дну, а по горизонтали - от середины реки к берегам. Среднее для живого сечения значение скорости определяется по формуле:

$$v_{\text{ср}} = Q/W, \quad (7.2)$$

где Q - расход воды в реке в данном створе, м³/с
 W - площадь живого сечения реки в заданном створе, м².

Истинные скорости водного потока в отдельных точках могут превышать средние значения в 2 и более раз. Эти особенности необходимо учитывать при проектировании водозаборных сооружений, так как от скоростей водного потока, их направления и распределения по живому сечению зависит устойчивость русла реки в месте водозабора, вид крепления русла, режимы водоотбора водозабором, движения наносов, шуго-ледовые явления и др.

При изменениях расходов воды меняются и уровни воды в реке. Обычно различают сезонные, многолетние и случайные колебания уровня воды в реках. Сезонные и многолетние колебания уровней воды в реках и озерах определяются внутригодовыми и годовыми величинами и легко могут прогнозироваться. Случайные колебания уровней воды в реках вызываются заторами льда, сгонами и нагонами воды при сильных ветрах, когда при неизменных расходах резко увеличиваются или уменьшаются скорости движения воды. Такие колебания трудно прогнозировать и поэтому они носят характер стихийных явлений, часто наводнений, например на р. Неве в Санкт-Петербурге.

На время половодий на равнинных реках уровень воды может повыситься до 10-15 м. На озерах колебания уровня воды значительно меньше и могут составлять 0,5 - 1,0 м.

С установлением отрицательных температур воздуха (поздняя осень, зима) происходит охлаждение воды и образование льда, поверхностного и внутреннего. На первой стадии замерзания рек и озер образуются отдельные кристаллики льда в массе воды, которые называются шугой. По мере понижения температуры происходит смерзание отдельных льдинок друг с другом и наступает ледостав.

По характеру ледового режима реки разделяют на 4 группы: с устойчивым ледоставом, с неустойчивым ледоставом, с отдельными ледовыми явлениями и с отсутствием ледовых явлений. Для большинства рек России характерен устойчивый ледостав.

Интенсивное образование внутриводного льда - шуга характерно для всех рек с устойчивым и неустойчивым ледоставом. Образовавшаяся шуга создает значительные затруднения по забору воды из реки.

В реках с устойчивым ледоставом шуга образуется преимущественно в начале зимы. Для рек с неустойчивым ледоставом образование внутриводного льда происходит в течение всей зимы.

Продолжительность ледостава на реках колеблется в широких пределах и зависит,

прежде всего, от климатических условий территорий, по которым они протекают. В северных районах Сибири и Дальнего Востока продолжительность ледостава достигает 7-8 месяцев, а на юге и юго-западе России ледостав очень кратковременный или вообще отсутствует. Толщина льда на реках и озерах северных регионов России достигает 2м.

При выборе места расположения водозабора и его конструкции необходимо учитывать такие факторы, как наносы (продукты разрушения и размыва дна и берегов реки) так и получающиеся в результате этого явления деформации русла.

В настоящее время все русловые деформации делятся на необратимые и обратимые. К необратимым деформациям относятся многолетние изменения продольного профиля реки и соответствующие изменения ее внутренней морфологической структуры. К обратимым деформациям относятся перемещения в русле реки крупных песчаных гряд, сезонные изменения конфигурации дна, подмывы и намывы берегов. Эти деформации вызываются движением наносов, поступающих в водный поток и должны учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации водозаборных сооружений на реках.

Основными факторами, оказывающими влияние на устойчивость русла, является скорость движения воды в реке, вид пород, слагающих русло, а также начертание русла реки в плане. Поверхностным источникам водоснабжения присущи такие природные процессы, как цветение, обрастание и зарастание. Цветение воды - это интенсивное размножение в верхних слоях воды планктонных организмов растительного (фитопланктон) и животного (зоопланктон) происхождения. Наиболее массовое развитие планктона происходит в весенний, летний и осенний периоды года, особенно в озерах и водохранилищах. Реки с большими скоростями движения воды цветут значительно слабее и реже.

При заборе воды в период ее цветения водоприемные сооружения покрываются слоем гелеобразной, слизистой массы. Весной и осенью фитопланктон представлен, в основном, диатомовыми водорослями, а летом - сине-зелеными.

Фактором, значительно затрудняющим забор воды из водоисточников, являются обрастания, т.е. отложения мелких водных организмов на твердых поверхностях, находящихся под водой, в том числе и на водоприемных устройствах и внутренней поверхности самотечных труб.

Качественный состав и интенсивность обрастания зависят от физико-химических свойств воды в водоисточниках, куда попадают бытовые и производственные стоки, обрастания состоят из нитчатых бактерий.

Водозаборные сооружения обычно обрастают организмами - мидиями, губками, моллюсками. Интенсивность обрастания может колебаться от нескольких миллиметров до 25...30 см. в год, что существенно сказывается на пропускную способность водоприемных устройств. Плотность отложений различна: от рыхлых, легко удаляемых механическим воздействием, до очень плотных, сцементированных, удаляемых ударным инструментом.

Зарастание водоемов вызывается развитием водной растительности. Зарастание происходит практически во всех водоисточниках, особенно в прибрежной полосе их. Особенно подвержены зарастанию озера, водохранилища, реки равнинных территорий с небольшими скоростями движения воды в них. Из всех водных растений приоритет принадлежит полупогружным и погруженным растениям, особенно интенсивно развивающимся в зоне мелководья.

Постепенное зарастание и заболачивание водоисточников значительно затрудняет забор воды.

7.2 Подземные источники водоснабжения.

Подземными водами называются воды, находящиеся в верхних слоях земной коры. Эти воды практически не содержат взвеси, в большинстве случаев бесцветны, но почти всегда сильно минерализованы, имея в своем составе соли кальция, магния, железа, марганца. Подземные воды классифицируются как по отдельным признакам, так и по характеру их движения в толще водоносного слоя.

Если исходить из качественных и количественных признаков, то их можно классифицировать по: характеру залегания, температуре, химическому составу, степени минерализации.

По характеру залегания подземные воды могут быть разделены на верховодку (воды зоны аэрации), грунтовые и артезианские.

Верховодка, залегающая вблизи поверхности земли (1-5 м) не может служить надежным источником водоснабжения, т.к. могут легко загрязняться и, кроме того, их запасы, как правило, ограничены и зависят в значительной степени от количества атмосферных осадков.

Грунтовые воды, залегающие на глубине нескольких десятков метров, характеризуются значительными запасами воды, надежно защищены от попадания в них загрязнений с поверхности земли. Они являются весьма надежными источниками водоснабжения.

Артезианские воды, залегающие под водонепроницаемыми породами, характеризуются значительными запасами воды, надежно защищены от попадания в них загрязнения, обладают целым набором полезных для человека химических элементов, вследствие чего являются наилучшими источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения.

По характеру движения подземных вод оно может быть ламинарным при движении отдельных струй с небольшой скоростью и турбулентным - при движении водного потока с большими скоростями в вихревом режиме.

В песчаных водоносных грунтах движение водного потока может быть только ламинарным.

Турбулентный режим движения подземных водных масс наблюдается лишь в галечных и гравелистых грунтах, в карстовых пустотах, в крупноразмерных трещинах.

Режим ламинарного движения подземных вод описывается формулой Дарси

$$Q = \frac{(h_1 - h_2)}{l} \cdot F \cdot k, \quad (7.3)$$

где Q - расход подземных вод, м³/сут;
 $h_1 - h_2$ - потери напора (разность пьезометрических отметок), м;
 F - площадь поперечного сечения потока, м²;
 l - длина пути фильтрации, м;
 k - коэффициент фильтрации грунта (породы), м³/сут.

Формулу (7.3) еще называют линейным законом фильтрации.

Закон Дарси справедлив не только при движении подземных вод в песчаных породах, но и в гравийно-галечных, а также во многих трещиноватых.

Артезианские подземные воды - это воды напорного типа. Условия залегания и напор водоносных горизонтов могут быть самыми различными в зависимости от района их расположения. Часто напорные водоносные горизонты разделяются водоупорными

слоями различной мощности и имеют пластовое расположение.

7.3 Классификация водозаборов.

Водозаборные сооружения характеризуются по следующим признакам:

- виду источника водоснабжения - поверхностные (речные, озерные, водохранилищные, из каналов), подземные (трубчатые и шахтные колодцы, горизонтальные водосборы, каптажи, инфильтрационные водозаборы);
- назначению - хозяйственно-питьевые, производственные, сельскохозяйственные;
- производительности - малой (меньше $1 \text{ м}^3/\text{с}$), средней (от 1 до $6 \text{ м}^3/\text{с}$), большой (больше $6 \text{ м}^3/\text{с}$);
- компоновке основных элементов - совмещенные, отдельные, комбинированные.
- расположению водоприемника - береговые, русловые, ковшевые.
- способу приема воды - глубинный, донный поверхностный, инфильтрационный, комбинированный;
- степени стационарности - стационарные, передвижные;
- сроку эксплуатации - постоянные и временные.

Бесперебойная работа водозабора в значительной степени зависит от места его расположения и конструктивных элементов, входящих в состав водозаборного узла.

Водозаборные сооружения, предназначенные для хозяйственно-питьевого водоснабжения, должны располагаться выше населенных пунктов по течению реки, мест сброса сточных вод, стоянок судов и барж, складов. При этом водозабор должен быть максимально приближен к потребителю. Для технологических нужд промышленных предприятий, не предъявляющих высоких требований к качеству воды по бактериальным показателям, допускается устройство водозаборных сооружений на территории промышленного объекта.

На выбор водозабора большое влияние оказывают условия забора воды. Основные типы водозаборов и область их применения приведены в СНиП 2.04.02-84.

Для речных водозаборов прием воды целесообразно осуществлять у вогнутого берега. В этих местах быстрее образуется ледостав, а шуга в меньшей степени забивает решетки водоприемных окон оголовка водозабора. Водозаборные сооружения нецелесообразно размещать в местах возможного образования ледяных заторов, вблизи порогов, ниже притоков, несущих большое количество взвеси и других загрязнений, в местах нереста рыб и в местах с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями.

На озерах и водохранилищах водоприемники водозаборов размещают за пределами прибойных зон, в местах, укрытых от волнения.

Разнообразие местных природных условий в сочетании с различным количеством забираемой воды вызывает необходимость создания большого количества типов и конструкций водоприемных сооружений. При всем многообразии видов водозаборов должны быть соблюдены условия бесперебойной подачи на очистку необходимого количества воды и удачного расположения в части того, чтобы водозабор обеспечивал плавное обтекание его потоком и не стеснял русло водоисточника.

Водозаборное сооружение состоит, как правило, из водоприемника, сетчатого колодца и насосной станции.

Наиболее широкое распространение в практике водоснабжения получили водозаборы берегового и руслового типа, отличающиеся месторасположением водоприемника по отношению к берегу.

Водозаборы берегового типа устраивают в том случае, если вблизи

берега обеспечиваются требуемые условия для забора воды. Насосная станция первого подъема может быть либо удалена на каком то расстоянии от водоприемника, либо совмещена с ним. Совмещение берегового колодца и насосной станции в одном здании упрощает обслуживание водозабора, позволяет использовать насосы с небольшой высотой всасывания.

Водозаборы руслового типа устраивают при пологих берегах и дне водоисточника, когда требуемые для приема воды глубины находятся на значительном расстоянии от берега. При этом типе водозабора в месте приема воды устраивают оголовки с водоприемными окнами, от которого вода по самотечным или сифонным водоводам поступает в береговой сетчатый колодец.

Важным условием успешной работы насосной станции первого подъема и очистных сооружений является предварительная очистка воды от сравнительно крупных загрязняющих примесей. С этой целью во входные окна водоприемников ставятся решетки. Для удаления из воды более мелких загрязнений (водоросли, мелкие плавающие предметы, рыба и др.) береговые колодцы оборудуются сетками.

Съемные решетки, устанавливаемые на водоприемных окнах, представляют собой плоскую металлическую раму, сваренную из уголкового стального швеллера с металлическими из полосовой или круглой стали стержнями. Расстояние между стержнями от 50 до 100 мм.

Для предупреждения обмерзания внутриводным льдом стержни решеток покрывают гидрофобными материалами (каучук, эбонит, резина). Весьма часто используют электрообогрев решеток.

Сетки, устанавливаемые в береговом колодце, могут быть двух типов - плоские съемные и вращающиеся.

Плоские съемные сетки представляют собой проволочное сетчатое полотно, натянутое на стальную раму, сваренную из уголкового железа либо швеллера. Размер ячеек сетки может быть от 2x2мм до 20x20 мм. Все зависит от качества воды водоисточника и требований, предъявляемых к предварительной очистке перед основными очистными сооружениями. Очищают и промывают плоскую сетку вручную в павильоне над водоприемным колодцем, для чего ее периодически поднимают с помощью ручной тали. Плоские сетки применяют на водозаборах с производительностью до 1,5 м³/с.

При заборе больших количеств воды из водоемов значительно загрязненных применяют ленточные вращающиеся сетки, прочистка и промывка которых механизирована.

Вращающиеся ленточные сетки по конструкции разделяют на каркасные, состоящие из отдельных секций, движущиеся по направляющему каркасу и бескаркасные, свободно подвешенные на грузовых звездочках секции, приводимые в движение электродвигателем. Загрязнения с полотен сеток удаляют специальными промывными устройствами и отводят за пределы водозабора по желобам и трубам.

При проектировании и строительстве водозаборов должны быть предусмотрены рыбозащитные устройства. В настоящее время применяют рыбозащитные устройства трех видов: механические, гидравлические и физиологические.

К механическим рыбозащитным устройствам относятся сетки, жалюзи, фильтры из каменной наброски, установленные на пути движения рыбы.

Гидравлические рыбозаградители - это струенаправляющие устройства, с помощью которых в водотоках создают гидравлические условия для направления движения рыбы у сооружений, а также жалюзи и отбойные козырьки.

Физиологические рыбозаградители представляют собой системы, которые задерживают рыбу созданием в воде электрических, звуковых и световых полей. Действие этих систем основано на отпугивании рыбы от водозабора посредством неприятных ощущений, возникающих у рыб от указанных раздражителей.

Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водозаборных сооружений устанавливаются для обеспечения их санитарно-эпидемиологической надежности.

Зона санитарной охраны поверхностного источника водоснабжения представляет собой территорию, в границах которой находится сам источник водоснабжения и часть бассейна его питания. На этой территории устанавливается режим, обеспечивающий защиту источника водоснабжения от возможного несанкционированного загрязнения. Границы зоны санитарной охраны устанавливаются проектом. Проект зоны санитарной охраны согласовывается с органами Государственного санитарного надзора.

Зона санитарной охраны состоит из двух поясов.

Первый пояс охватывает часть используемого водоисточника в месте забора воды и территорию водозабора. В первой зоне запрещены все виды строительства, купание, ловля рыбы, выпуск стоков, применение удобрений, водопой скота. Границы первого пояса зоны санитарной охраны на реках должны быть: Вверх по течению ≥ 200 м от водозабора, Вниз по течению ≥ 100 м от водозабора.

Границы первого пояса зоны санитарной охраны на озерах или водохранилищах должны быть не менее 100м от водозабора по акватории во всех направлениях.

Второй пояс санитарной охраны включает источник водоснабжения и бассейн его питания. Границы второго пояса реки или канала, являющихся источником водоснабжения, устанавливаются с учетом источников загрязнения водоема вредными веществами: вверх по течению - исходя из пробега воды от границы пояса до водозабора в срок 4-5 суток при расходе воды в реке 95% обеспеченности, вниз по течению - не менее 250м от водозабора.

Контроль за содержанием зон санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения и водозаборных сооружений осуществляется органами Государственного санитарного надзора.

7.4 Водозаборы берегового типа.

Береговые водозаборные сооружения применяют при наличии у берега глубин, обеспечивающих надежный забор воды во все периоды года. Водозаборный узел берегового типа представляет собой комплекс сооружений, включающий водоприемный сетчатый колодец и насосную станцию первого подъема. Входные окна, через которые вода поступает в водозабор, располагаются в передней стенке водоприемника (обращенной к водоисточнику) в несколько ярусов. Это позволяет забирать воду из различных слоев водоисточника, обеспечивая прием воды во все периоды года, при этом выбирая воду наилучшего на данный период качества. Водоприемные отверстия оборудуют съемными решетками, устанавливаемыми в пазах стены водоприемного колодца.

Внутри водоприемного колодца для предварительной очистки воды (процеживания) устраиваются плоские, либо вращающиеся сетки. Их устанавливают обычно в перегородке, разделяющей колодец на водоприемную и всасывающую камеры.

Для предотвращения заиливания колодца взвешенными веществами, поступающими вместе с водой и выпадающими в осадок, колодец оборудуется илоудаляющими устройствами - эжекторами.

Водоприемный колодец, как правило, выполняют из железобетона (монолитного либо сборного) прямоугольной или круглой в плане формы. Для обеспечения бесперебойности работы и для периодической очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприемный колодец должен быть разделен перегородками на секции (не менее двух). Число секций принимается обычно равным числу устанавливаемых насосов и всасывающих линий.

Насосная станция первого подъема может быть как совмещена с водоприемником, так и разделена с ним. При небольшой и средней производительности водозаборов, незначительных колебаниях уровня воды в водоисточнике, при использовании насосов с большой вакуумметрической высотой всасывания предпочтительно применять отдельный тип водозаборного сооружения (рис 7.1).

При значительных колебаниях уровня воды в водоисточнике, хорошем основании (грунта), средней и большой производительности водозабора применяют схему берегового водозабора, совмещенного с насосной станцией первого подъема. Размеры водозаборов, а следовательно, их стоимость во многом определяется типом используемого насосного оборудования. В равных условиях при использовании насосов с вертикальным приводом можно уменьшить площадь и объем сооружения по сравнению с таковой при использовании горизонтальных насосов.

При определении размеров водозаборных сооружений необходимо предусматривать возможность их расширения при необходимости увеличения их производительности.

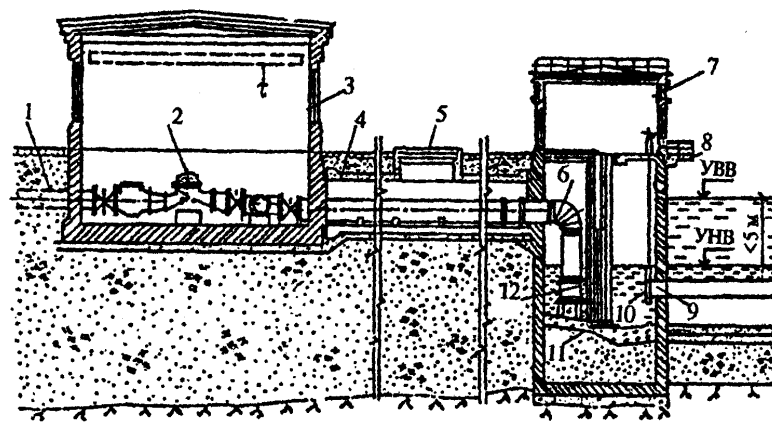


Рис. 7.1. Береговой водозабор раздельной компоновки:

1 – напорный водовод, 2 – насос, 3 – насосная станция первого подъема, 4 – галерея, 5 – люк, 6 – всасывающий трубопровод, 7 – береговой водоприемный сетчатый колодец, 8 – служебный мостов, 9 – водоприемное отверстие с сороудерживающей решеткой, 10 – затвор, 11 – эжектор, 12 – плоская сетка

Форма подземной части береговых водозаборов совмещенного типа зависит от

способа производства работ. Прямоугольная форма принимается при возведении сооружения за шпунтовым ограждением, а круглая - при строительстве способом опускного колодца. При раздельном типе водозабора насосная станция строится, как правило, в котловане прямоугольной в плане формы.

Фундамент водозаборных сооружений закладывают на отметке 1.0-1.5м ниже отметки дна, а дно реки или канала около водоприемного колодца защищают от размыва бетонными плитами или каменной наброской.

7.5 Водозаборные сооружения руслового типа.

Водозабор руслового типа представляет собой набор сооружений по приему воды из вод источника на некотором расстоянии от берега, транспортированию ее по трубам к водоприемному колодцу, оборудованному сетками для предочистки воды от грубодисперсных примесей, и насосной станции первого подъема.

В зависимости от расположения берегового водоприемного сетчатого колодца и насосной станции первого подъема русловые водозаборы, как и береговые, бывают двух типов: с раздельной компоновкой, когда насосная станция и водоприемный колодец расположены в разных зданиях на определенном расстоянии друг от друга (7.2,а) и с совмещенной компоновкой, когда насосная станция и водоприемный колодец расположены в одном здании (рис 7.2,б).

При относительно чистой воде в водоприемнике и небольшой производительности водозабора, водозабор может состоять только лишь из оголовка, всасывающего трубопровода и насосной станции первого подъема. В этом случае на входных окнах оголовка устанавливаются не решетки, а сетки.

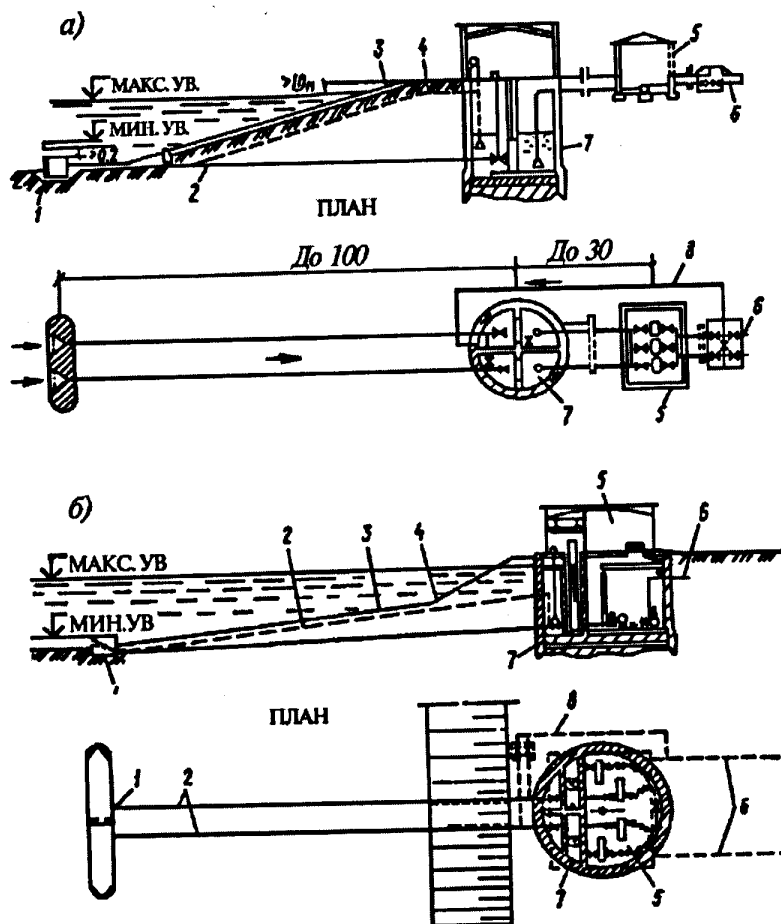


Рис. 7.2. Схемы русловых водозаборов:
а – раздельного, б – совмещенного

Одной из наиболее ответственных частей русловых водозаборов является водоприемное устройство (оголовок), обеспечивающее надежный прием воды и защиту концов самотечных, сифонных или всасывающих линий.

Все многообразие оголовков можно разделить на три основные группы: постоянно-затопленные, затапливаемые высокими водами и незатапливаемые.

Постоянно-затопленные оголовки располагают ниже минимального уровня воды в водоисточнике и нижней кромки ледяного покрова при ледоставе. В практике хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения они получили наибольшее распространение, т.к. они сравнительно дешевые, менее трудоемки при строительстве. Однако невозможность их осмотра и очистки при высоких уровнях воды, шугоходе и ледоходе делает их менее надежными при эксплуатации.

Форма, конструкция и расположение затопленных оголовков должны быть такими, чтобы была хорошая обтекаемость их водным потоком и чтобы не образовались вблизи оголовков донные наносы.

По конструкции и расположению затопленных водоприемных оголовков они делятся на незащищенные (деревянные, стальные, пустотелые железобетонные) и защищенные, выполненные из железобетона. На реках с легкими условиями забора воды применяют незащищенные водоприемники, на судоходных и лесосплавных реках строят, как правило, защищенные водоприемные оголовки.

На небольших реках с малыми глубинами при производительности водозабора до 1 м³/с могут применяться деревянные ряжевые водоприемники. Они просты конструктивно и относительно недороги.

Постоянно-затопленные оголовки должны принимать воду сбоку или снизу. Лобовой (по течению реки) прием воды, благоприятный в гидравлическом отношении, имеет существенный недостаток в том, что с сорозадерживающих решеток и сеток трудно удалять задержанные загрязнения и шугу, которые прижимаются к решеткам и сеткам гидродинамической силой потока. На водоприемных окнах оголовка должны быть предусмотрены рыбозащитные устройства. Конструкции некоторых типов постоянно-затопленных оголовков представлены на рис 7.3.

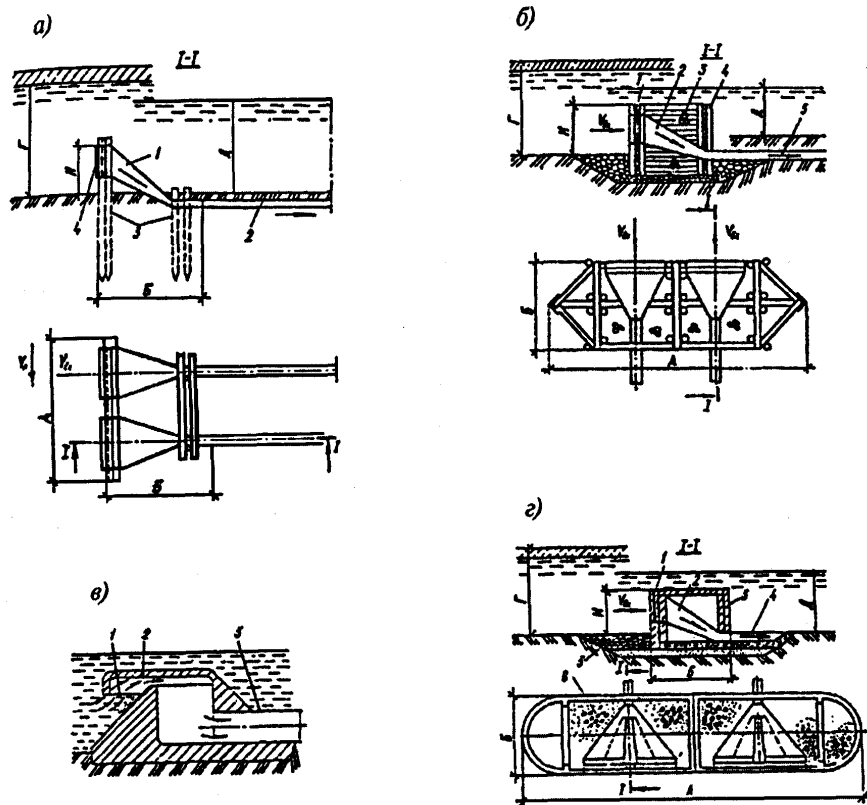


Рис. 7.3. Схемы затопленных оголовков речных водозаборов:

а) раструбный свайный незащищенный оголовок: 1 – раструб, 2 – самотечный или сифонный водовод, 3 – сваи, 4 – сороудерживающая решетка, $A = 3,5-5$ м, $B = 3,6-4,0$, $\Gamma = 2,5-2,7$; б) деревянный ряжевый оголовок с боковым проемом воды: 1 – сороудерживающая решетка, 2 – водоприемный раструб, 3 – каменная наброска, 4 – ряж, 5 – самотечные или сифонные водоводы. в) сифонный железобетонный оголовок: 1 – сороудерживающая решетка, 2 – козырек, 3 – самотечные или сифонные водоводы; г) железобетонный раструбный защищенный оголовок: 1 – сороудерживающая решетка, 2 – раструб, 3 – железобетонный корпус оголовка, 4 – самотечный или сифонный водовод, 5 – крепление русла камнем, 6 – загрузка галечником или щебнем

В затопливаемых высокими водами водоприемниках при минимальных и меженных уровнях воды имеется доступ к сорозадеживающим решеткам, сеткам и рыбозащитным устройствам. Однако они создают значительные неудобства для судоходства и лесосплава. Поэтому они не находят широкого применения в системах хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения.

Незатопливаемые водоприемники наиболее надежны и наиболее удобны в эксплуатации, но наиболее дорогостоящи. Поэтому находят применение в основном на водозаборах средней и большой производительности в тяжелых условиях забора воды. Такие оголовки, как правило, содержат два (и даже три) яруса водоприемных отверстий, что позволяет забирать воду наилучшего качества.

Самотечные и сифонные линии русловых водозаборов связывают оголовки с береговыми колодцами. Для обеспечения бесперебойной надежной подачи воды число

самотечных или сифонных водоводов должно быть не менее двух. Обычно их количество соответствует числу секций берегового колодца.

В зависимости от метода укладки самотечные водоводы устраивают из железобетонных, асбестоцементных, чугунных или стальных труб. Стальные трубы снаружи покрывают антикоррозийной изоляцией, а внутри - цементом или антикоррозийными материалами.

Водоводы от водоприемника до берегового колодца укладывают как горизонтально, так и с уклоном, при условии обеспечения заданной пропускной способности.

Самотечные водоводы должны быть защищены от подмыва речным потоком и механических повреждений. Поэтому их следует заглублять ниже отметки дна. Это заглубление на судоходных реках должно составлять 0.8-1.5 м, а на несудоходных - 0.4-0.5 м. На вводах самотечных линий в береговой колодец устанавливаются сальники.

Диаметры самотечных линий определяют по расходу одной секции водоприемного колодца при нормативном эксплуатационном режиме. Кроме того, производится проверка пропускной способности на случай аварии на одной из линий. Скорости движения воды в самотечных линиях должны быть в пределах 0,5-2,5 м/с.

Сифонные водоводы допускается применять в водозаборах 2 и 3 категории надежности подачи воды, а также в случаях, когда по геологическим и гидрогеологическим условиям прокладка самотечных водоводов затруднена и экономически нецелесообразна. Диаметр сифонных водоводов определяется из условия

$$Q = v \omega, \quad (7.4)$$

где Q - расчетный расход одного водовода, м³/с;
 v - скорость движения воды в водоводе, м/с;
 ω - площадь поперечного сечения водовода, м².

Скорость движения в сифонном водоводе должна быть в диапазоне 0,7-1,5 м/с.

Для сифонного водовода необходимо определять его высотное положение, исходя из условия обеспечения его работоспособности при самом низком расчетном уровне воды в реке и максимальном заборе воды. Для этого необходимо выполнение условия

$$P_{\text{вак}} < P_{\text{атм}} - P_{\text{н.п.}}, \quad (7.5)$$

где $P_{\text{вак}}$ - вакуум в наивысшей точке водовода, м.вод.ст.;
 $P_{\text{атм}}$ - атмосферное давление, м.вод.ст.;
 $P_{\text{н.п.}}$ - давление насыщенных паров воды при расчетной температуре, м.вод.ст.

Значение $P_{\text{вак}}$ определяется по формуле:

$$P_{\text{вак}} = H + \frac{v^2}{2g} + \sum h, \quad (7.6)$$

где H - высота расположения рассматриваемого сечения над пьезометрическим уровнем воды в начале водовода, м;

- v - средняя скорость движения воды в том же сечении, м/с;
 $\sum h$ - сумма потерь напора в водоводе от начального сечения до рассматриваемого, м.

В практике обычно определяется наивысшая точка сифона при принятом допустимом вакууме 6-7 м.

Для надежной работы руслового водозабора предусматривается промывка сорозадерживающих решеток, самотечных и сифонных линий обратным током воды. Для этого на водозаборном сооружении должны быть сделаны присоединения самотечных и сифонных линий к напорным водоводам для включения резервных насосов на промывку.

Береговые водоприемные колодцы русловых водозаборов по устройству аналогичны колодцам береговых водозаборов, однако, они имеют дополнительную запорную арматуру на водоводах, входящих в колодец (рис 7.4). В водоприемном колодце располагают также трубопроводы обратной промывки и арматуру управления промывкой.

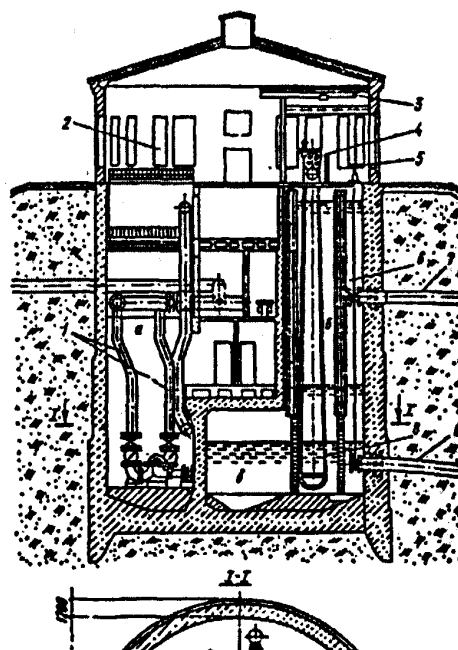
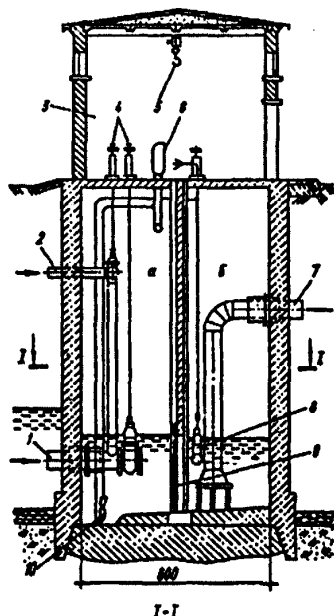


Рис. 7.4. Водоприемный береговой сетчатый колодец руслового водозабора с раздельной компоновкой:

а – водоприемные отделения; б – всасывающие отделения; 1 – самотечный или сифонный водовод, 2 – промывочный трубопровод, 3 – наземный павильон, 4 – колонки управления задвижками, 5 – таль, 6 – ванна-трап для промывки сетки, 7 – всасывающий трубопровод, 8 – соединительный патрубок с задвижкой, 9 – плоская сороудерживающая сетка, 10 – эжектор

Рис. 7.5. Водоприемный колодец совмещенного типа с самотечными водоводами в 2 яруса:

а – насосная станция 1-го подъема; б – водоприемная камера; в – камера всасывания; 1 – напорные линии, 2 – павильон, 3 – кран-балка, 4 – механизм вращения сеток, 5 – управление задвижками самотечных линий, 6 – плоские сетки, 7, 9 – самотечные линии, 8 – вращающаяся сетка

Водоприемный колодец, совмещенный с насосной станцией первого подъема, с самотечными водоводами в 2 яруса, подающими воду от оголовка, при двухъярусном заборе воды представлен на рис 7.5. Водоприемная часть колодца двухсекционная, оборудована вращающимися сетками, перекрывающими всю ширину водоприемных камер.

7.6. Водозаборы на озерах и водохранилищах

Прием воды из озер должен осуществляться с учетом их особенностей и требований предъявляемых потребителями к воде.

Наиболее удобны для забора воды большие и глубокие озера, с небольшими колебаниями уровней воды, малой степенью цветения, незначительным зарастанием.

На озере рационально применить водозабор с русловым водоприемником, располагающимся на достаточной глубине, в месте, где вода наименее загрязнена. В качестве водоприемника наиболее часто применяется незащищенный раструбный оголовок (см. рис 7.3).

Можно устраивать также водозаборы берегового типа. Однако, располагаться они

должны в защищенных зонах, где нет больших скоплений льда весной и действия волны, что ухудшает качество воды водоисточника при взмучивании.

На больших, но неглубоких озерах чаще всего устраивают русловые водозаборы. Водоприемники в виде затопленных и незатопляемых оголовков располагают на значительном расстоянии от берега.

На небольших и неглубоких озерах чаще всего устраивают самые простые водозаборы руслового типа.

При проектировании водозаборов из водохранилищ очень важным моментом является выбор места забора воды. Водоприемники надо располагать в таком месте, где они могут принимать наиболее чистую воду и быть, по возможности, близко к водопотребителям. На стадии проектирования должны быть учтены также воздействия ледовых явлений, характер отложения наносов, развитие водной растительности и животного мира.

Тип водозаборных сооружений определяется топографическими, геологическими, гидрогеологическими, санитарными и другими условиями в месте их расположения. В соответствии с этими условиями могут быть применены водозаборные сооружения раздельного, островного или берегового типа.

Водозаборные сооружения раздельного типа имеют в своем составе затопленный оголовок, самотечный или сифонный водовод, береговой водоприемный колодец и насосную станцию первого подъема.

При островном типе водоприемник совмещен с насосной станцией и размещен в акватории водохранилища в отдалении от берега. Хотя водозаборы этого типа более дорогостоящи, но они более надежны в эксплуатации.

7.7. Типы и схемы водозаборов из подземных водоисточников

Конструкции и виды водозаборных узлов для приема подземных вод определяются условиями залегания, мощностью, геологическим строением водоносных горизонтов и гидравлическими характеристиками подземного водного потока. В зависимости от конкретных условий могут быть применены водозаборы следующих типов: вертикальные, горизонтальные, комбинированные, каптажи и лучевые.

К вертикальным водозаборам относятся шахтные колодцы и буровые скважины. Шахтные колодцы используют для приема неглубоко залегающих подземных вод (не более 10м) из безнапорных и слабонапорных водоносных пластов. Буровые скважины применяют при сравнительно глубоком расположении водоносных пластов (более 10м) и значительной их мощности (более 5м). Устраивают скважины как в безнапорных, так и в напорных водоносных пластах.

Горизонтальные водозаборы бывают траншейными и трубчатыми, иногда в виде галерей. Галереи применяют при небольшой глубине залегания водоносного горизонта (не более 8м), как правило вблизи водоемов и водотоков. Трубчатые водозаборы предназначены главным образом для перехвата подземного потока или подруслового потока поверхностного источника.

Комбинированные водозаборы - это горизонтальные галереи с рядом скважин или шахтных колодцев. Их используют для забора воды из неглубоко расположенных маломощных водоносных пластов или подруслых вод.

Каптажный водосбор представляет собой сооружение по сбору воды из родников.

Лучевые водозаборы являются разновидностью горизонтальных водосборников и состоят из горизонтальных лучей, радиально присоединенных к сборному шахтному колодцу. В основном этот вид водозабора применяется для сбора подруслых вод, а также подземных вод водоносных горизонтов, кровля которых расположена на глубине не более 15м от поверхности земли. Лучевые водозаборы эффективны при небольшом коэффициенте фильтрации водоносного пласта. Приемный колодец, расположенный в центральной части лучевого водозабора, предназначен не только для приема воды и установки соответствующего насосного оборудования, но и для проведения работ по устройству лучей-скважин. Обычно колодец устраивается опускным способом.

7.8. Скважинные водозаборы

Забор подземных вод с помощью водозаборных скважин является наиболее распространенным. Глубины пробуренных водозаборных скважин могут быть от 10 до 1000 и более метров. В практике водоснабжения чаще всего используются скважины глубиной 100-150 м, реже 200-300 м.

Самая нижняя часть скважины служит отстойником. Выше отстойника располагается водоприемная часть скважины - фильтр. Выше фильтра располагаются обсадные и эксплуатационные трубы, которые служат для удержания стенок пробуренной скважины от обрушения и для размещения в них водоподъемных труб и насоса. Над эксплуатационной колонной расположен кондуктор, который задает направление проходящей через него трубе при бурении. Принципиальная схема водозаборной скважины представлена на рис 7.6.

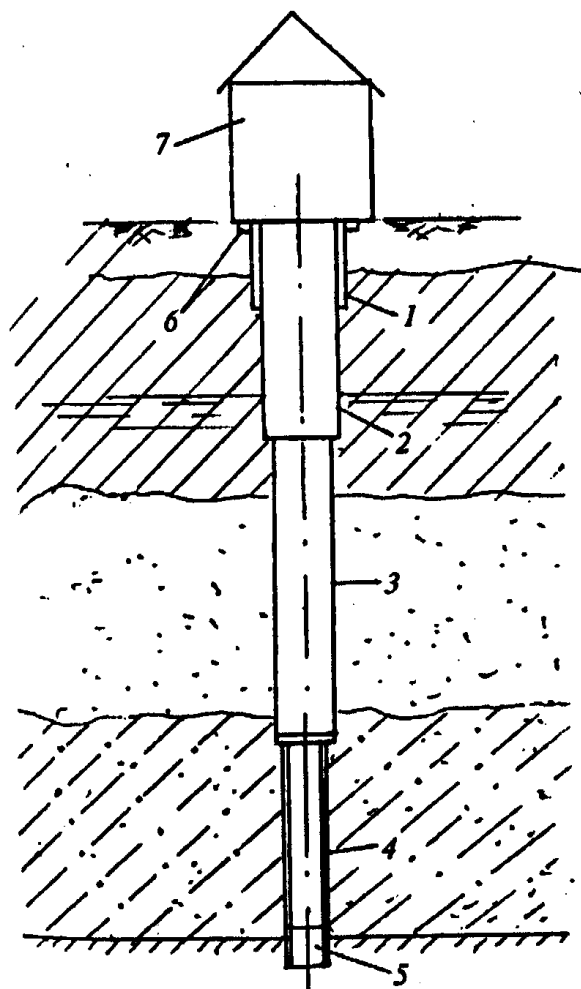


Рис. 7.6. Схема водозаборной скважины:

1 – кондуктор, 2 – обсадная труба, 3 – эксплуатационная колонна труб, 4 – фильтр, 5 – отстойник, 6 – глиняный замок, 7 – павильон

Водозаборные скважины бурят преимущественно двумя способами: роторным и ударно-канатным. Роторный способ бурения обеспечивает проходжение горных пород со значительными скоростями, однако он требует большого количества воды. По способу подачи воды на промывку и выносу продуктов бурения роторное бурение делится на два вида: с прямой и обратной промывкой. Способ промывки зависит от вида проходимых пород.

Ударно-канатный способ применяется при бурении скважин глубиной 100-150м в сложных гидрогеологических условиях. Он используется для бурения как в твердых так и в мягких породах. Ударно-канатный способ бурения имеет преимущество перед роторным в том, что в данном случае не требуется промывочная жидкость.

Водозаборная скважина должна иметь такую конструкцию, чтобы обеспечивалась многолетняя ее работа, надежность защиты водоносного горизонта от проникновения загрязнений вместе с верховодными водами из вышележащих водоносных горизонтов. Скважина крепится обсадными трубами. Они опускаются до верхней границы водоносного горизонта. В обсадную трубу пропускается техническая колонна труб, которая заглубляется в подстилающий водонепроницаемый слой. Затем в техническую

колонну опускается фильтр, после чего техническая колонна извлекается, а пространство (зазор) между стенками фильтровой и обсадной трубы герметизируется.

При большой глубине бурения, когда достичь водоносного горизонта обсадной трубой одного диаметра невозможно, применяется телескопическая конструкция обсадных труб с уменьшением их диаметра по мере заглубления. Разница между диаметрами предыдущей и последующей колонн обсадных труб должна быть не менее 50 мм. Длина колонны одного диаметра должна быть при ударно-конатном способе - не более 100м, а при роторном бурении - до 400-500м.

При телескопическом устройстве скважины с целью экономии обсадных труб производится обрезка внутренних колонн труб. Верхний конец обсадной трубы, остающейся в скважине, должен находиться выше башмака предыдущей колонны не менее, чем на 3м. Кольцевой зазор между двумя смежными колоннами герметизируется.

Водоприемная часть водозаборных скважин в большинстве случаев оборудуется фильтром, т.к. безфильтровые скважины могут отвечать своему назначению только в скальных трещиноватых породах.

Фильтры водозаборных скважин во многом определяют надежность и долговечность их работы. Фильтры должны обеспечивать хороший доступ воды в скважину, защищать ее от пескования.

Фильтр включает в себя фильтрующую часть, надфильтровую трубу и отстойник. Тип, конструкция и размеры фильтра выбираются в зависимости от дебита, условий (режима) эксплуатации, характера породы водоносного пласта, глубины скважины, индекса стабильности воды.

Для подъема воды из скважин применяют в основном насосы типа ЭВЦ. При расположении динамического уровня воды на глубине 5-6м от поверхности земли воду можно забирать горизонтальными насосами. Основные схемы оборудования скважин представлены на рис 7.7.

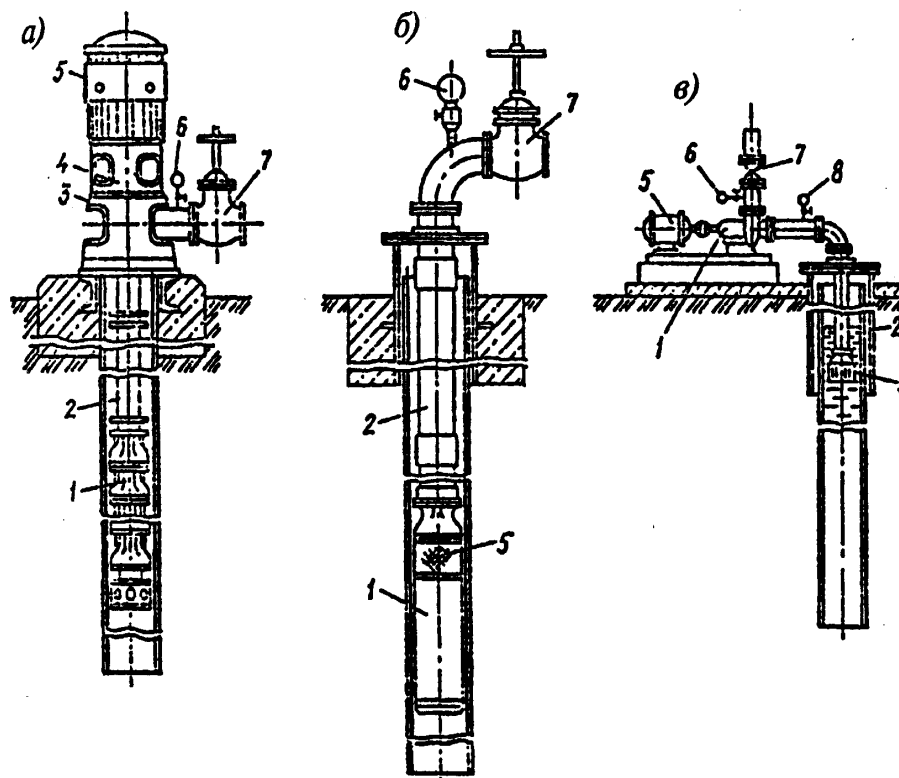


Рис. 7.7. Схемы оборудования скважин насосами:

а, б – насосная установка соответственно с трансмиссионным валом и погружным электродвигателем; в – схема оборудования скважины горизонтальным центробежным насосом; 1 – насос, 2 – водоподъемный трубопровод, 3 – опорное колено, 4 – пята привода, 5 – электродвигатель, 6 – манометр, 7 – задвижка, 8 – вакуумметр, 9 – приемный клапан

Над устьем водозаборных скважин устраивают павильон для размещения насосов, приборов, пусковой и контрольно-измерительной арматуры.

Если водозаборные скважины располагаются в поймах рек, затопляемых во время весенних паводков, павильоны строят на подсыпке с отметкой верха подсыпки выше максимального паводкового горизонта.

7.9. Горизонтальные и лучевые водозаборы

Горизонтальные водозаборы представляют собой дренажи или водосборные галереи, уложенные в толще водоносного пласта. Эти сооружения позволяют использовать для водоснабжения маломощные водоносные пласты. Они наиболее эффективны в поймах рек и вблизи водохранилищ и озер. Горизонтальные водозаборы применяют при глубине залегания водоносных пластов до 8м. В общем случае они состоят из водоприемной части, водопроводной части, водосборного колодца, смотровых и вентиляционных колодцев.

Водопроводную часть водосбора выполняют из труб с круглыми или щелевыми отверстиями и обсыпкой из крупнозернистого песка или гравия. Водоприемная часть выполняется из стальных, чугунных или асбестоцементных труб без каких либо

отверстий. Трубы укладываются с уклоном в сторону водосборного колодца.

Лучевые водозаборы представляют собой разновидность горизонтальных водосборов и состоят из системы горизонтальных лучей - скважин, радиально присоединенных к сборному шахтному колодцу. Лучевые водозаборы применяются в основном для забора воды из маломощных водоносных пластов (толщиной до 5 м), залегающих на глубине от 30 до 50 м, а также из пластов с небольшим коэффициентом фильтрации.

В зависимости от условий питания и расположения лучей на местности лучевые водозаборы подразделяются на русловые, подрусловые, береговые и берегорусловые (рис. 7.8).

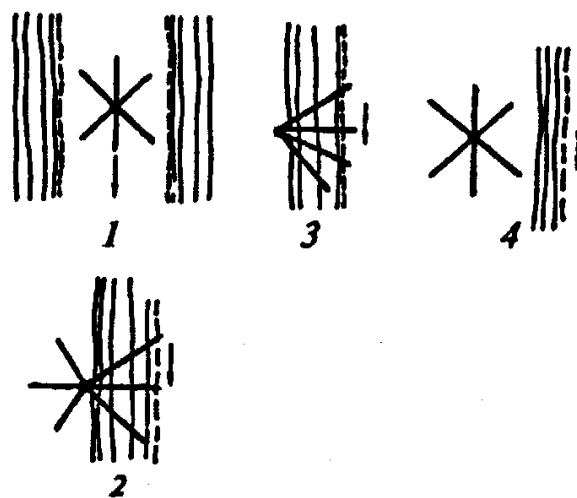


Рис. 7.8. Типы лучевых водозаборов:
1 – русловой, 2 – подрусловой, 3 – береговой, 4 – берегорусловой

Шахтные колодцы лучевых водозаборов сооружают открытым, опускным или кессонным способами.

Горизонтальные лучи - скважины устраивают продавливанием из шахты в водоносный пласт с применением вибро - и гидравлического бурения.

8. Улучшение качества питьевой воды.

Подготовка воды для промпредприятий

8.1. Физические и химические показатели качества воды

При выборе источника водоснабжения учитываются такие физические свойства воды как температура, запах, вкус, мутность и цветность. Причем, эти показатели определяются по всем характерным периодам года (весна, лето, осень, зима).

Температура природных вод зависит от их происхождения. В подземных водоисточниках вода имеет постоянную температуру независимо от периода года. Наоборот температура воды поверхностных водоисточников изменяется по периодам года в достаточно широком диапазоне (от 0,1°C зимой до 24-26°C летом).

Мутность природных вод зависит, прежде всего, от их происхождения, а также от географических и климатических условий, в которых находится водоисточник. Подземные воды имеют незначительную мутность, не превышающую 1,0-1,5 мг/л, зато воды поверхностных водоисточников почти всегда содержат взвешанные вещества в виде мельчайших частей глины, песка, водорослей, микроорганизмов и других веществ минерального и органического происхождения. Однако, как правило, вода поверхностных водоисточников северных регионов европейской части России, Сибири и частично Дальнего Востока относится к категории маломутных. Для водоисточников центральных и южных регионов страны, наоборот, характерна более высокая мутность воды. Независимо от географических, геологических и гидрологических условий расположения водоисточника мутность воды в реках всегда выше, чем в озерах и водохранилищах. Наибольшая мутность воды в водоисточниках наблюдается во время весенних паводков, в периоды затяжных дождей, а наименьшая - в зимнее время, когда водоисточники покрыты льдом. Измеряется мутность воды в мг/дм³.

Цветность воды природных водоисточников обусловлена наличием в ней коллоидных и растворенных органических веществ гумусового происхождения, придающих воде желтый или бурый оттенок. Густота оттенка зависит от концентрации этих веществ в воде.

Гумусовые вещества образуются в результате разложения органических веществ (почвенный, растительный гумус) до более простых химических соединений. В природных водах гумусовые вещества представлены, в основном, органическими гуминовыми и фульво-кислотами, а так же их солями.

Цветность характерна для вод поверхностных водоисточников и практически отсутствует в подземных водах. Однако иногда подземные воды, чаще всего в болотисто-низинных местах с надежными водоупорными горизонтами, обогащаются болотистыми цветными водами и приобретают желтоватую окраску.

Цветность природных вод измеряется в градусах. По уровню цветности воды поверхностных водоисточников могут быть малоцветные (до 30-35 градусов), средней цветности (до 80 градусов) и высокоцветные (свыше 80 градусов). В практике водоснабжения иногда используются водоисточники, цветность воды которых составляет 150-200 градусов.

Большинство рек Северо-запада и Севера России относятся к категории высокоцветных маломутных. Средняя часть страны характеризуется водоисточниками средней цветности и мутности. Вода рек южных регионов России, наоборот, имеет повышенную мутность и сравнительно небольшую цветность. Цветность воды в водоисточнике и количественно и качественно изменяется по периодам года. Во время повышенного стока с прилегающих к водоисточнику территорий (таяние снега, дожди), цветность воды, как правило, повышается, изменяется и соотношение компонентов цветности.

Природным водам свойственен такой качественный показатель, как привкус и запах. Чаще всего природные воды могут обладать горьким и соленым вкусом и практически никогда кислым или сладким. Избыток магниевых солей придает воде горьковатый вкус, а натриевых (поваренная соль) - солоноватый. Соли других металлов, например железа и марганца, придают воде железистый привкус.

Запахи воды могут быть естественного и искусственного происхождения. Естественные запахи вызваны живущими и отмершими в воде организмами, растительными остатками. Основными запахами природных вод являются болотный, землянистый, древесный, травянистый, рыбный, сероводородный и др. Наиболее интенсивные запахи присущи воде водохранилищ и озер. Запахи искусственного происхождения возникают вследствие выпуска в водоисточники недостаточно очищенных сточных вод. К запахам искусственного происхождения можно отнести нефтяной, фенольный, хиорфенольный и др. Интенсивность привкусов и запахов оценивается в баллах.

Химический анализ качества природной воды имеет первостепенное значение при выборе метода очистки ее. К химическим показателям воды относятся: активная реакция (водородный показатель), окисляемость, щелочность, жесткость, концентрация хлоридов, сульфитов, фосфатов, нитратов, нитритов, железа, марганца и других элементов.

Активная реакция воды определяется концентрацией водородных ионов. Она выражает степень кислотности или щелочности воды. Обычно активную реакцию воды выражают водородным показателем - рН, который представляет собой отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов: $pH = - \lg [H^+]$. Для дистиллированной воды $pH = 7$ (нейтральная среда). Для слабокислой среды $pH < 7$, а для слабощелочной - $pH > 7$. Обычно для природных вод (поверхностных и подземных) значение рН находится в пределах от 6 до 8,5. Наименьшие значения водородного показателя имеют высокоцветные мягкие воды, а наибольшие - подземные, особенно жесткие.

Окисляемость природных вод вызвана присутствием в них органических веществ, на окисление которых расходуется кислород. Поэтому величина окисляемости численно равна количеству кислорода, пошедшего на окисления находящихся в воде загрязняющих веществ, и выражается в мг/л. Наименьшей величиной окисляемости (~1,5-2мг/л, O₂) характеризуются артезианские воды. Вода чистых озер имеет окисляемость 6-10 мг/л, O₂, в речной воде окисляемость колеблется в широких пределах и может достигнуть 50 мг/л и даже более. Повышенной окисляемостью характеризуются высокоцветные воды; в болотистых водах окисляемость может достигнуть 200 и более мг/л O₂.

Щелочность воды определяется присутствием в ней гидроксидов (ОН-) и анионов угольной кислоты (НСО₃⁻, СО₃²⁻).

Хлориды и сульфаты содержатся практически во всех природных водах. В подземных водах концентрации этих соединений могут быть весьма значительны до 1000мг/л и более. В поверхностных водоисточниках содержание хлоридов и сульфатов обычно колеблется в пределах 50-100мг/л. Сульфаты и хлориды при определенных концентрациях (300мг/л и более) являются причиной коррозионной активности воды и разрушающе действуют на бетонные конструкции.

Жесткость природных вод обусловлена присутствием в них солей кальция и магния. Хотя указанные соли и не являются особо вредными для человеческого организма, наличие их в значительном количестве нежелательно, т.к. вода становится малоприспособленной для хозяйственных нужд и для промышленного водоснабжения. Жесткая вода не пригодна для питания паровых котлов, ее нельзя использовать во многих технологических производственных процессах.

Железо в природных водах находится в виде двухвалентных ионов, органоминеральных коллоидных комплексов и тонкодисперсной взвеси гидроксида железа, а также в виде сульфида железа. Марганец, как правило, находится в воде в виде ионов двухвалентного марганца, способного окисляться в присутствии кислорода, хлора или озона, до четырехвалентного, с образованием гидроксида марганца.

Наличие в воде железа и марганца может приводить к развитию в трубопроводах железистых и марганцевых бактерий, продукты жизнедеятельности которых могут накапливаться в больших количествах и существенно уменьшать сечение водопроводных труб.

Из растворенных в воде газов наиболее важными с точки зрения качества воды является свободная углекислота, кислород и сероводород. Содержание углекислоты в природных водах колеблется от нескольких единиц до нескольких сотен миллиграммов в 1л. В зависимости от величины рН воды углекислота встречается в ней в виде углекислого газа либо в виде карбонатов и бикарбонатов. Избыточная углекислота весьма агрессивна по отношению к металлу и бетону.

Концентрация растворенного в воде кислорода может колебаться в значительных диапазонах (от 0 до 14мг/л) и зависит от ряда причин (температура воды, парциальное давление, степень загрязненности воды органическими веществами). Кислород интенсифицирует процессы коррозии металлов. Это надо особенно учитывать в теплоэнергетических системах.

Сероводород, как правило, попадает в воду в результате контакта ее с гниющими органическими остатками, либо с некоторыми минералами (гипсом, серным колчеданом). Присутствие сероводорода в воде крайне нежелательно как для хозяйственно-питьевого, так и для промышленного водоснабжения.

Ядовитые вещества, в частности тяжелые металлы, попадают в водоисточники в основном с промышленными сточными водами. Когда имеется вероятность их попадания в водоисточник, определение концентрации ядовитых веществ в воде обязательно.

8.2. Классификация загрязнений природных вод и физико-химических процессов воздействия на загрязнения

Кульским Л.А. предложена классификация загрязнений воды на основе их фазово-дисперсного состояния и на их способности образовывать гомогенные и гетерогенные водные системы. Особенностью предложенной классификации является то, что она отражает не только индивидуальные свойства отдельных загрязнений, но и свойства образовавшейся системы в целом.

Сущность предлагаемой классификации состоит в том, что все примеси воды разделены на четыре группы, две из которых относятся к гетерогенным системам, а две другие - к гомогенным.

Гетерогенные системы в воде обусловлены наличием в ней нерастворимых или коллоидных соединений, а также эмульсий и пены. Гомогенные системы в воде представляют собой истинные растворы различных веществ. Истинные растворы являются устойчивыми системами и без дополнительного внешнего воздействия могут существовать без изменений сколь угодно долго.

К первой группе загрязнений относятся нерастворимые примеси, образующие с водой суспензии, эмульсии и пены. Сюда следует отнести и бактериальные взвеси. Системы, образованные примесями первой группы кинетически неустойчивы и способны к седиментации (осаждению).

Вторую группу загрязнений составляют гидрофильные и гидрофобные коллоиды, а также высокомолекулярные вещества. В эту группу входят минеральные и органоминеральные частицы почв, грунтов и растительности (гумусовые вещества).

Третья группа загрязняющих веществ включает растворенные в воде газы и органические соединения. К ним относятся разнообразные продукты жизнедеятельности и отмирания различных грибов, бактерий, водорослей, а также фенолы и спирты. Они придают воде привкусы и запахи.

Четвертая группа примесей образует с водой растворы.

При современном уровне техники и технологии водоочистки эффективные результаты работы водоочистных сооружений получить, возможно, если использовать различные физико-химические процессы воздействия на загрязнения только с учетом фазово-дисперсного состояния последних.

8.3. Требования к качеству воды различного назначения

Основные требования, предъявляемые к питьевой воде, предполагают безвредность воды для организма человека, приятный вкус и внешний вид, а также пригодность для хозяйственно-бытовых нужд.

Показатели качества, которым должна удовлетворять питьевая вода, нормируются «Санитарными правилами и нормами (СанПиН) 2.1.4.559-96. Питьевая вода.»

Вода для охлаждения агрегатов многих производственных процессов не должна давать отложений в трубах и камерах, по которым она проходит, т.к. отложения затрудняют теплопередачу и уменьшают сечение труб, снижая интенсивность охлаждения.

В воде не должно быть крупной взвеси (песка). В воде не должно быть органических веществ, т.к. она интенсифицирует процесс биообрастания стенок.

Вода для паросилового хозяйства не должна содержать примесей, которые могут вызвать отложения накипи. По причине образования накипи снижается теплопроводность, ухудшается теплопередача, возможен перегрев стенок паровых котлов.

Из солей, образующих накипь наиболее вредны и опасны CaSO_4 , CaCO_3 , CaSiO_3 , MgSiO_3 . Эти соли отлагаются на стенках паровых котлов, образуя котельный камень.

Для предотвращения коррозии стенок паровых котлов вода должна обладать достаточным щелочным резервом. Ее концентрация в котловой воде должна составлять не менее 30-50 мг/л.

Особенно нежелательно присутствие в питательной воде котлов высокого давления кремниевой кислоты SiO_2 , которая может образовывать плотную накипь с очень низкой теплопроводностью.

8.4. Основные технологические схемы и сооружения для улучшения качества воды

Как было отмечено в предыдущем разделе, каждому виду загрязнения природной воды соответствуют вполне определенные технологические процессы извлечения его из воды. Природные воды отличаются большим разнообразием загрязнений и их сочетанием. Поэтому для решения проблемы эффективной очистки воды требуются различные технологические схемы и процессы, различные наборы сооружений для реализации этих процессов.

Используемые в практике водоочистки технологические схемы обычно классифицируются на

реагентные и безреагентные; предочистки и глубокой очистки, на одноступенные и многоступенные, на напорные и безнапорные.

Реагентная схема очистки природных вод более сложна, нежели безреагентная, зато она обеспечивает более глубокую очистку. Безреагентная схема, как правило, применяется для предочистки природных вод. Чаще всего ее используют при очистке воды для технических целей.

Как реагентная, так и безреагентная технологическая схема очистки могут быть одноступенными и многоступенными, с сооружениями безнапорного и напорного типа.

Основные, чаще всего используемые в практике водоочистки технологические схемы и типы сооружений представлены на рис 8.1.

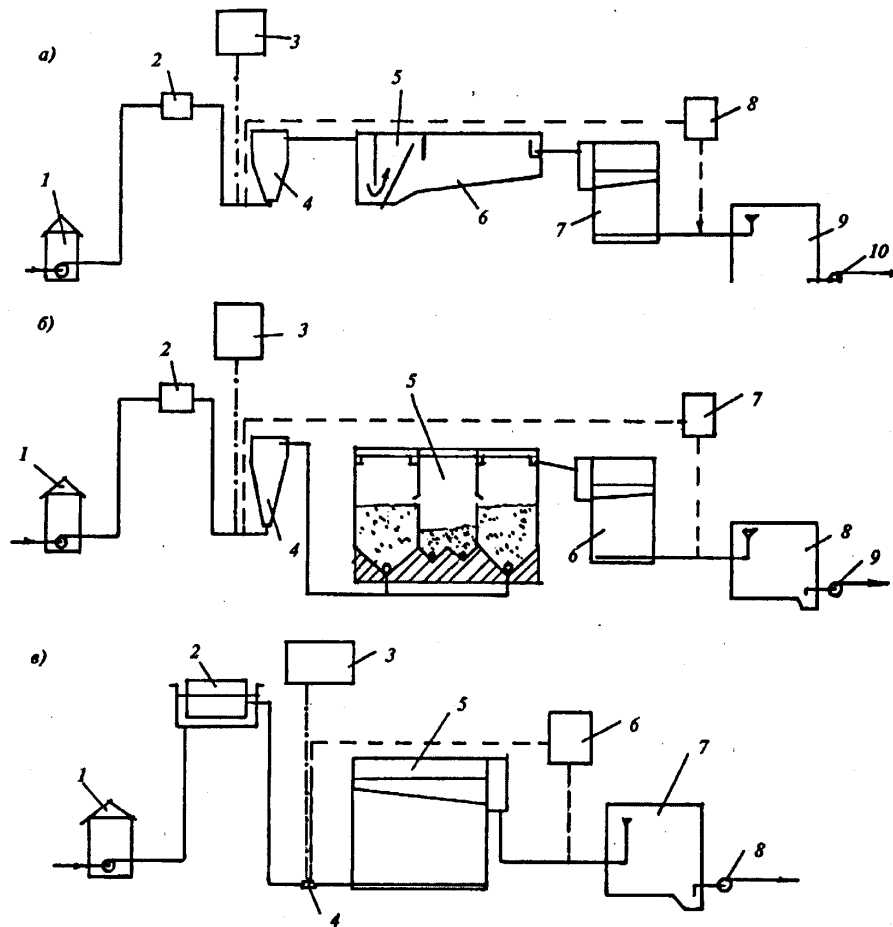


Рис. 8.1. Основные технологические схемы водоочистки:

- а) двухступенчатая с горизонтальным отстойником и фильтром; 1 – насосная станция 1-го подъема, 2 – микросетки, 3 – реагентное хозяйство, 4 – смеситель, 5 – камера хлопьеобразования, 6 – горизонтальный отстойник, 7 – фильтр, 8 – хлораторная, 9 – резервуар чистой воды, 10 – насосы 2-го подъема; б) двухступенчатая с осветлителем и фильтром: 1 – насосная станция 1-го подъема, 2 – микросетки, 3 – реагентное хозяйство, 4 – смеситель, 5 – осветлитель со взвешенным осадком, 6 – фильтр, 7 – хлораторная, 8 – резервуар чистой воды, 9 – насосы 2-го подъема; в) одноступенчатая с контактными осветлителями: 1 – насосная станция 1-го подъема, 2 – барабанные сетки, 3 – реагентное хозяйство, 4 – сужающее устройство (смеситель), 5 – контактный осветлитель КО-1, 6 – хлораторная, 7 – резервуар чистой воды, 8 – насосы 2-го подъема

Отстойники используются в основном как сооружения для предварительной очистки воды от взвешенных частиц минерального и органического происхождения. По типу конструкции и характеру движения воды в сооружении отстойники могут быть горизонтальными, вертикальными или радиальными. В последние десятилетия в практике очистки природных вод стали использоваться специальные полочные отстойники с осаждением взвеси в тонком слое.

Фильтры, входящие в состав общей технологической схемы водоочистки, выполняют роль сооружений для глубокой доочистки воды от взвешенных веществ, не осевших в отстойниках части коллоидных и растворенных веществ (за счет сил адсорбции и молекулярного взаимодействия).

Наиболее широкое распространение имеют технологии с реагентной обработкой воды. В меньшей степени в практике водоснабжения используются безреагентные методы очистки. В основном они применяются в техническом водоснабжении или как предочистка для последующей глубокой очистки в питьевом водоснабжении.

8.5. Методы безреагентной очистки воды

Очистка природных вод без предварительной обработки химическими реагентами называется безреагентной. Безреагентные методы очистки воды можно осуществлять отстаиванием, микропроцеживанием, фильтрованием, центрифугированием и флотацией. При значительном содержании в воде грубодисперсных взвесей минерального происхождения для первой стадии осветления такой воды можно использовать песколовки, преимущественно горизонтальные с прямолинейным и круговым движением воды.

Для выделения из воды сравнительно легких органических взвесей, а также высокодисперсных минеральных примесей используют процесс отстаивания. Скорость выпадения частиц в отстойных сооружениях выражается в миллиметрах в 1 секунду и называется гидравлической крупностью. Скорость осаждения мелкой частицы шарообразной формы, не изменяющей своего размера в процессе осаждения, выражается формулой Стокса:

$$u = \frac{d^2}{18\mu} \cdot g(\rho_T - \rho_V), \quad (8.1)$$

где u - скорость осаждения частицы, см/с;
 d - диаметр частицы, см;
 μ - вязкость воды, см²/с;
 ρ_T, ρ_V - плотность частицы и воды, г/см³
 g - ускорение силы тяжести, см/с².

Для осаждения взвешенных частиц с гидравлической крупностью не менее 0.15 мм/с применяются отстойники различных типов. При емкости отстойников, обеспечивающей пребывание в них воды в течение 12 часов, задерживаются лишь сравнительно крупные частицы. Поэтому отстаивание без предварительной обработки воды реагентами применяют только для предварительной очистки воды, на первом этапе осветления.

Более полная очистка воды осуществляется фильтрованием ее на медленных фильтрах, микрофильтрах и скорых фильтрах.

Скорые фильтры представляют собой емкости, заполненные песком и гравием. Верхний слой из песка - фильтрующий, толщина его 0.8м, нижний слой из гравия - поддерживающий. Дренаж медленных фильтров выполняется из дырчатых или пористых керамических плиток или труб. Иногда в качестве дренажа используется пористый бетон.

Очистка воды на медленных фильтрах происходит за счет так называемой биологической пленки, образующейся на поверхности песчаной загрузки фильтра и состоящей из накопившихся загрязнений, планктона и бактерий. Основная масса загрязнений задерживается верхним слоем песка толщиной 10-15 см. Скорость фильтрования воды составляет 0.1-0.2 м/ч.

Вследствие постепенного заиливания верхнего слоя песка и образования пленки на поверхности фильтра возрастают потери напора, и скорость фильтрования резко уменьшается. Поэтому через каждые 30-60 дней производится удаление пленки вместе с поверхностным слоем песка. По мере уменьшения толщины фильтрующего слоя производят досыпку фильтра свежим песком. Можно производить удаление загрязнений водяной промывкой с одновременным механическим взрыхлением и удалением за пределы фильтра грязной промывной воды.

Цветность воды медленными фильтрами устраняется недостаточно. Способ очистки воды медленным фильтрованием при цветности исходной воды более 50 градусов применять нецелесообразно.

Для предварительной очистки природных вод, содержащих большое количество планктона и взвесей с плотностью около 1г/см^3 , используют микрофильтрацию. Микрофильтр состоит из барабана, цилиндрическая поверхность которого выполнена в виде каркаса, обтянутого микросеткой.

Подача воды осуществляется самотеком во внутреннюю часть барабана через боковую стену его. Профильтровавшись через микросетку, вода выходит из барабана наружу. Сам барабан устанавливается в резервуар и на $3/4$ своего диаметра погружен в воду.

Содержащиеся в фильтруемой воде частицы загрязнений задерживаются на внутренней поверхности микросетки. Для очистки сетки от задержанных ею загрязнений служит промывное устройство, находящееся снаружи барабана над верхней его частью. Расход воды на промывку микросеток составляет около 2% подаваемой на микрофильтр воды. Грязная промывная вода собирается и отводится желобом, размещенным внутри барабана.

Для интенсификации процесса седиментации взвешенных частиц в практике осветления природных вод используется способ, основанный на действии центробежных сил. Наиболее простыми аппаратами, в которых используются центробежные силы, являются напорные и безнапорные гидроциклоны.

В напорном гидроциклоне (рис 8.2) поток осветляемой воды движется по спирали пристеночной области по направлению к конической части аппарата. В конической части поток поворачивает к центру аппарата и движется к выходному отверстию. Взвешенные частицы вдоль стенки аппарата опускаются в нижнюю часть конуса и удаляются через разгрузочное отверстие. Недостатком напорных гидроциклонов является их большая энергоемкость и сложность удаления всплывающих загрязнений.

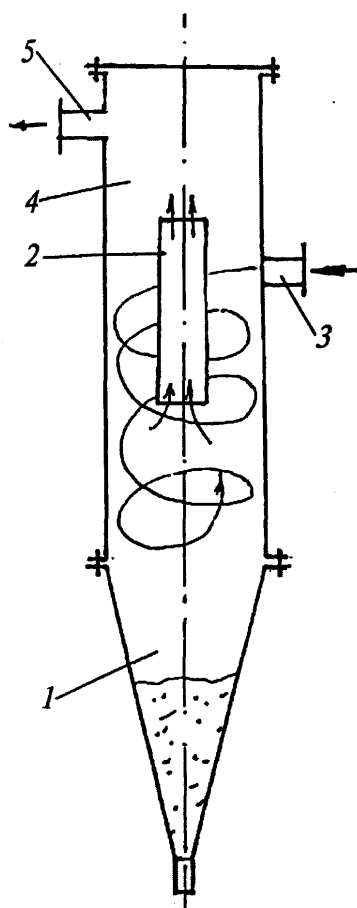


Рис. 8.2. Напорный гидроциклон:

1 – сменная насадка – сгуститель, 2 – сливной патрубков с диафрагмой, 3 – входной патрубков, 4 – камера сбора осветленной воды, 5 – выходной патрубков

Безнапорные гидроциклоны используются тогда, когда необходимо удалить только относительно крупные частицы с гидравлической крупностью более 10мм/с.

Скорые фильтры для безреагентной очистки воды используются только в напорном исполнении, круглой в плане формы, диаметром от 1000 до 3400 мм. В нижней части фильтра располагается трубчатый дренаж большого сопротивления, служащий системой для сбора очищенной воды и подачи промывной воды. Над распределительной системой размещается поддерживающий слой гравия и далее слой фильтрующей загрузки, который может быть выполнен из различных фильтрующих материалов. Более подробно фильтр рассматривается ниже в подразделе 8.9.

8.6. Коагулирование загрязнений воды. Коагулянты и флокулянты

Загрязнения, обуславливающие цветность и мутность природной воды (загрязнения 1 и 2 групп), как правило, обладают значительной устойчивостью против укрупнения и в обычных условиях осаждаются крайне медленно, а коллоиды цветности практически вообще не выпадают в осадок. Для ускорения процесса осветления и обесцвечивания природных вод используют коагулирование загрязняющих примесей воды.

Коагуляцией примесей воды называется процесс укрупнения мельчайших коллоидных и взвешенных частиц, происходящий вследствие их взаимного слипания под действием межмолекулярных и электрокинетических сил.

В свободном объеме воды при обычных условиях тонкодисперсные и коллоидные частицы загрязнений обладают агрегатной устойчивостью, обусловленной наличием на поверхности частиц двойного электрического слоя и как следствие - электрокинетического потенциала. При добавлении в воду электролитов агрегатная устойчивость примесей нарушается, т.к. происходит снижение электрокинетического потенциала на поверхности частиц загрязнений.

Это приводит к взаимному слипанию мельчайших частиц и их укрупнению.

Используемые в технологии обработки воды коагулянты обычно являются солями слабых оснований и сильных кислот (сульфат алюминия, хлорное железо), при растворении которых происходит гидролиз с образованием малорастворимых оснований.

В процессе очистки воды от взвешенных веществ мицеллы гидроксида алюминия, несущие на своей поверхности положительный заряд, сорбируются на поверхности глинистых или других частиц, находящихся в очищаемой воде. В результате этого частицы взвеси покрываются плотным слоем частиц гидроксида алюминия.

Таким образом, взвешенные вещества играют роль поверхности, стимулирующей адсорбционно-коагуляционное взаимодействие, и способствуют образованию плотных агрегированных структур. Глинистые частицы, покрытые слоем более мелких частиц гидроксида алюминия, соединяются между собой посредством цепочечных структур гидроксида алюминия, образуя мостики. Образование мостиков происходит при малом содержании глинистых частиц. В случае повышенной концентрации взвеси в воде частицы ее, покрытые слоем гидроксида, соединяются друг с другом, образуя более плотную структуру.

Весь процесс осветления воды, начиная с образования мицелл и заканчивая их осаждением условно можно разделить на несколько этапов. На первом этапе, после введения в воду коагулянта происходит гидролиз его с образованием мицелл и последующим их агрегированием в более крупные шарообразные частицы золь (около 0.01-0.1мкм). Появляется опалесценция. Этот этап называется стадией скрытой коагуляции. Затем начинается этап построения цепочечных структур и образования огромного количества мельчайших хлопьев, которые агрегируются в более крупные, и достигнув определенных размеров под действием силы тяжести оседают. Наступает стадия седиментации.

Для быстрого осаждения хлопьев в отстойных сооружениях они должны иметь достаточную для этого плотность, которая зависит от относительного содержания в их структуре твердых частиц.

Объем твердых частиц в единице объема хлопьев чистого гидроксида алюминия невелик и измеряется долями процента. Хлопья в этом случае имеют плотность 1.002-1.003 кг/дм³. Это объясняется рыхлой структурой хлопьев и большим количеством связанной с ними воды. Рыхлые и легкие хлопья образуются при коагулировании цветных маломутных вод, а более плотные и тяжелые (с плотностью 1.01-1.03 кг/дм³) получаются при более высокой концентрации взвеси в обрабатываемой воде.

Процесс обесцвечивания воды несколько отличается по физико-химической сущности от процесса осветления воды от взвеси.

После гидролиза введенного в воду коагулянта и формирования образовавшегося гидроксида в виде мельчайших хлопьев получают огромные активные поверхности с небольшим положительным - потенциалом. Коллоидные частицы, обуславливающие цветность природной воды, несущие на своей поверхности отрицательный электрокинетический потенциал, адсорбируются на поверхности хлопьев гидроксидов. При этом происходят два процесса: собственно адсорбция и фиксация адсорбированных коллоидов. Величина адсорбции коллоидных частиц цветности пропорциональна их дисперсности: чем выше дисперсность коллоидных частиц, тем сильнее адсорбция. На процесс фиксации (закрепления) адсорбированных коллоидов значительное влияние оказывает полярность электрокинетических потенциалов сорбента (гидроксида алюминия).

В качестве коагулянтов наибольшее распространение в нашей стране получили сульфат алюминия и хлорное железо.

Безводный сульфат алюминия - белый порошок с плотностью 2710кг/м³. В практике водоочистки, как правило, используется водный сульфат алюминия - $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$.

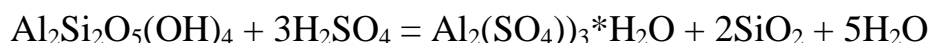
Сульфат алюминия выпускается в форме кусков неопределенных размеров массой до 10кг или чешуек с содержанием 14-16.3% Al_2O_3 . При содержании в продукте менее 15% Al_2O_3 наблюдается его слеживание, что приводит к значительным затруднениям при его использовании.

Одним из основных способов производства очищенного сульфата алюминия в настоящее время

является получение его из гидроксида алюминия. Гидроксид алюминия является полупродуктом в производстве глинозема. Его получают преимущественно из бокситов щелочным способом. Производство сульфата алюминия из его гидроксида состоит из двух технологических стадий - разложения гидроксида серной кислотой и кристаллизацией образовавшегося продукта. Процесс получения сульфата алюминия осуществляется при $t = 105-120^{\circ}\text{C}$.

Сульфат алюминия можно получать непосредственным разложением бокситов серной кислотой при $t = 135^{\circ}\text{C}$ в специальных реакторах.

Другим способом получения сульфата алюминия является обработка природных каолинов серной кислотой. Процесс протекает по формуле:



В этом случае получается неочищенный продукт, т.к. в его состав входит диоксид кремния. После отфильтрования получившегося концентрированного раствора от нерастворимой двуокиси кремния и гранулирования фильтрата на установках кипящего слоя получают очищенный сульфат алюминия с содержанием 22-26% Al_2O_3 . Гранулы охлаждают до 80°C в холодильнике кипящего слоя и транспортируют в бункерный склад, из которого грузят в вагоны и отправляют потребителям.

Иногда сульфат алюминия получают из алюминиевых квасцов, одним из разновидностей которых являются alunитовые породы, разрабатываемые на Урале. При получении сульфата алюминия alunитовую породу вначале обжигают при $t = 500^{\circ}\text{C}$, а затем обрабатывают серной кислотой при $t = 105^{\circ}\text{C}$.

Из хлоросодержащих соединений алюминия, используемых в качестве коагулянтов для очистки воды наибольшее применение нашли хлорид алюминия - AlCl_3 и гидроксохлорид алюминия - $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$. Хлорид алюминия - кристаллический порошок белого цвета плотностью 2470кг/м^3 , кристаллизуется в виде пластинок и чешуек. При гидролизе водных растворов хлорида алюминия получают гидроксохлориды $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$.

Хлорид алюминия можно получить из природных алюмосодержащих минералов (глинозем, бокситы, каолины) прокаливанием их совместно с хлоридом серы, при температуре прокалывания $700-800^{\circ}\text{C}$.

При использовании основного хлорида алюминия - $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ в практике водо-очистки процесс хлопьеобразования идет более интенсивно и ускоряется осаждение коагулированной взвеси. Значительно сокращается расход коагулянта при очистке ма-ломутных цветных вод с небольшим щелочным резервом и малым солесодержанием. Зона оптимальных значений pH существенно расширяется, особенно в сторону низких значений. Поскольку основной хлорид алюминия имеет меньшую кислотность нежели сульфат алюминия, то он наиболее пригоден для очистки природных вод с небольшим щелочным резервом. Учитывая малое содержание хлор-иона в коагулянте, при его применении солесодержание очищенной воды увеличивается в меньшей мере, чем в случае использования сульфата алюминия. Кроме того, уменьшается количество остаточного алюминия в обработанной воде.

Оксихлорид алюминия характеризуется значительно более высоким содержанием водорастворимого алюминия, а его растворы не требуют применения нержавеющей стали и противокоррозионной защиты аппаратуры и трубопроводов. При хранении коагулянт не слеживается и не стареет.

Из солей железа, которые используются в качестве коагулянта наиболее предпочтителен хлорид железа. Наилучшими коагулирующими свойствами обладает в интервале pH 3.5-6.5, а также 8-11. Обесцвечивание воды лучше протекает при pH 3.5-5.0. Очистку мутных жестких вод лучше осуществлять при $\text{pH} > 8$.

По сравнению с солями алюминия соли железа могут применяться при очистке вод с более разным солевым составом, оказывают лучшее действие при низких температурах, характеризуются большей прочностью и гидравлической крупностью хлопьев.

В качестве сырья для производства хлорида железа могут применяться колчеданные огарки, высокожелезистые бокситы, железные руды, железный лом и отходы машиностроения и другие виды железосодержащего сырья.

Безводный хлорид железа FeCl_3 осаждается из водных растворов в виде кристаллов зеленоватого или темно-коричневого цвета плотностью 2900кг/м^3 . Хлорид железа очень гигроскопичен и хорошо растворим в

воде. В промышленных масштабах хлорид железа - FeCl_3 получают окислением FeCl_2 хлором.

К флокулянтам относятся химические вещества, ускоряющие процесс хлопьеобразования и седиментации образовавшихся хлопьев. Все известные в настоящее время флокулянты подразделяются на три группы: неорганические полимеры, природные высокомолекулярные вещества и синтетические органические полимеры.

Наиболее распространенный неорганический флокулянт - активная кремниевая кислота (АК), получаемая путем конденсации низкомолекулярных кремниевых кислот или их труднорастворимых солей.

Сырьем для получения АК является жидкое стекло - водный раствор силиката натрия, содержащий 23-39% SiO_2 и 8-15% Na_2O . Химический состав силиката натрия выражается формулой $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Для активации силиката натрия с целью получения кремниевой кислоты из ее соли используются минеральные кислоты (HCl , H_2SO_4), диоксиды углерода и серы (CO_2 , SO_2). После перемешивания раствора силиката с активатором система выдерживается в течение 1-2 часов для вызревания золя. Затем созревший золь разбавляют водой до концентрации SiO_2 0,5-0,75% и используют в качестве рабочего раствора, дозируя его в обрабатываемую воду. Отрицательный ζ -потенциал золя АК улучшает сорбционное взаимодействие с положительно заряженными частицами (хлопьями) гидроксидов алюминия или железа.

Синтетические высокомолекулярные флокулянты (ВМФ) подразделяют на анионные и катионные. Из анионных флокулянтов наибольшее распространение получил полиакриламид (ПАА).

Получают полиакриламид полимеризацией 4-9% водных растворов акриламида в окислительно-восстановительной среде в присутствии персульфата калия, триэтанолamina и гидросульфата натрия. Полиакриламидные флокулянты в большинстве случаев выпускают в виде геля с содержанием полимера от 7 до 11%. Более удобен для транспортировки и использования гранулированный полиакриламид с содержанием основного вещества 82-98%. Одним из флокулянтов такого типа является ПАА-ГС (полиакриламид гранулированный сульфатный) с содержанием основного вещества около 90%.

Полиакриламид гидролизует в воде с образованием акриловой кислоты и ее солей. При этом образуются карбоксильные группы, придающие молекулам ПАА отрицательный заряд.

Так как примеси природных вод (взвесь и коллоидные частицы гумусовых веществ) заряжены отрицательно, то для эффективной флокуляции их весьма целесообразно использование катионного флокулянта ВА-2. Сырьем для получения этого флокулянта служит полистирол. Установлено, что для очистки мутных вод оптимальные дозы его составляют 0,4-4% от концентрации дисперсной фазы (взвеси), а при обесцвечивании воды - 0,2-1 мг/дм³ на 10 градусов цветности. Флокулянт ВА-2 можно применять самостоятельно, вместо коагулянта. Использование ВА-2 вместо сульфата алюминия увеличивает в несколько раз продолжительность фильтроцикла фильтровального сооружения.

8.7. Реагентное хозяйство

Первой технологической операцией при подготовке воды для осветления и обесцвечивания с применением реагентов является приготовление раствора коагулянта и дозирование его в обрабатываемую воду. Комплекс устройств для складирования, хранения, приготовления растворов и дозирования реагентов называют обычно реагентным хозяйством водоочистной станции.

Складирование реагентов возможно навалом в сухом виде либо в специальной таре, а также в виде высококонцентрированных растворов крепостью до 30% в специальных емкостях.

Наибольшее распространение получил способ мокрого хранения коагулянта. С этой целью на водоочистой станции предусматривают специальные резервуары большого объема, в которых расчетный запас коагулянта, доставляемого с завода-изготовителя, хранится в виде концентрированного раствора. В процессе эксплуатации этот раствор подается в расходные баки, где доводится до рабочей концентрации и затем дозируется в обрабатываемую воду. Мокрое хранение коагулянта применяется в основном на водоочистных сооружениях большой и средней производительности.

На сооружениях небольшой производительности коагулянты хранятся на складе в сухом виде навалом либо в таре, чаще всего в мешках. При хранении коагулянта в таре высота штабеля обычно от 1,5 до 3 м. По мере надобности коагулянт со склада поступает в растворные баки, где растворяется водой до концентрации 10-17%. Для ускорения процесса растворения производится барботаж воздухом с помощью дырчатых труб. После отстаивания раствор коагулянта перепускают в расходные баки, где разбавляют водой до концентрации 4-10% и дозируют в очищаемую воду.

В случае использования кускового коагулянта растворные баки должны быть снабжены колосниковой решеткой, на которой располагается кусковой материал. По мере растворения коагулянта находившийся в кусках шлам через отверстия колосниковой решетки опускается на дно растворного бака. Днища баков устраиваются с наклоном к горизонту под углом 45-50°. Для выпуска шлама служит трубопровод $d = 150$ мм. Днища расходных баков должны иметь уклон к сбросному трубопроводу, диаметр которого $d = 100$ мм.

Для ориентированных расчетов при проектировании дозы коагулянта для очистки цветных вод определяется по формуле

$$D_k = 4\sqrt{Ц} , \quad (8.2)$$

где Ц - цветность воды, градус.

Доза коагулянта, считая по безводному продукту, при очистке мутных вод определяется в соответствии с табл. 8.2.

Рекомендуемые дозы коагулянта для очистки мутных вод

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта, мг/ч
<100	25-35
100...200	30-40
200...400	35-45
400...600	45-50
600...800	50-60
800...1000	60-70
1000...1500	70-80

Для подщелачивания воды на водоочистных станциях применяют известь в виде известкового молока, концентрацией до 5% по оксиду кальция, либо раствор кальцинированной соды, концентрацией 5-8%.

Приготовление известкового молока осуществляют в баках, число которых должно быть не менее двух. Баки должны иметь конические днища с углом 45° и сбросные трубопроводы диаметром не менее 100 мм.

Растворение извести в баках осуществляют гидравлическим перемешиванием с помощью циркуляционного насоса при восходящей скорости не менее 5 мм/с, механической мешалкой, либо барботированием воздухом с интенсивностью 8-10 л/с м^2 .

Известковое молоко из растворного бака поступает в вертикальный отстойник для осветления от нерастворимых примесей.

Раствор соды готовят в железобетонных или стальных баках с плоским или слегка коническим днищем. Перемешивание и растворение порошкообразной или кусковой соды осуществляют циркуляционным насосом, лопастной мешалкой, либо сжатым воздухом. Для ускорения растворения соды вода подогревается до 60°C .

Применяемые в практике водоподготовки устройства для дозирования растворов коагулянтов в обрабатываемую воду бывают трех типов: дозаторы постоянной дозы; пропорциональные дозаторы, которые автоматически меняют дозу в соответствии с изменяющимся расходом воды; насосы-дозаторы.

Простейшим дозирующим устройством постоянной дозы является дозатор системы Хованского. Он состоит из поплавка и прикрепленного к нему с помощью трубки (под поплавком) гибкого шланга, на свободный конец трубки навинчивается калиброванная сменная диафрагма.

Ввиду того, что отверстие трубки постоянно находится на одном расстоянии от поверхности раствора, расход, протекающий через отверстие диафрагмы, будет постоянен и величина его будет зависеть лишь от того, какая диафрагма установлена. Чтобы шланг не работал как сифон, к трубке под поплавком устанавливается штуцер, верх которого выведен выше уровня раствора в баке.

В настоящее время все большее применение на водоочистных станциях, особенно средней и большой производительности, получают специальные насосы-дозаторы для дозирования растворов любых реагентов.

Насосы-дозаторы выпускают двух типов - плунжерные и винтовые. К первым относятся насосы типа НД с подачей от 0,16 до 2,5 м³/ч, ко вторым - марки 1В6/10Х с подачей от 0,5 до 6 м³/ч.

Для обеспечения эффективного осветления воды, предварительно обработанной коагулянтом, необходимо создать хорошие условия для перемешивания ее с введенным коагулянтом.

Смешение реагентов с водой производят в смесительных устройствах за счет турбулизации потока обрабатываемой воды. Одно из основных требований, предъявляемых к процессу смешения, заключается в быстроте его проведения, Смешивание реагента с водой должно осуществляться в течение 1-2 минут. Смесители подразделяются на гидравлические и механические. К числу гидравлических смесителей следует отнести: щелевой, дырчатый, вихревой.

В практике водоочистки наиболее распространены перегородчатые щелевые и дырчатые смесители.

При движении воды через щели перегородок или через отверстия со скоростью около 1 м/с создаются вихревые течения, что способствует быстрому и полному смешению реагента с водой. Расстояние между перегородками принимается равным двойной ширине лотка.

Вихревые смесители выполняются в виде цилиндрического или квадратного в плане резервуара с конической или пирамидальной нижней частью при угле конусности от 30 до 45°.

В нижнюю часть конуса (или пирамиды) подводят обрабатываемую воду со скоростью 1,0-1,5 м/с, туда же через отдельные патрубки вводят реагенты. Восходящая скорость движения воды в цилиндрической части смесителя, высота которой составляет 1,0-1,5 м, должна быть 30-40 мм/с. Отвод воды из смесителя может осуществляться периферийным лотком, центральной воронкой, либо дырчатыми затопленными трубами.

Механические смесители представляют собой круглые или квадратные в плане резервуары с соотношением высоты к ширине 2:1 с плоским или коническим днищем. Для перемешивания воды с введенным в нее коагулянтом применяют турбинные, пропеллерные или лопастные мешалки на вертикальной оси. Время пребывания воды в смесителе составляет от 30 с до 3 мин.

8.8. Осветление воды отстаиванием. Основные типы отстойников и их характеристики

Эффективность работы отстойных сооружений во многом определяется качеством процесса хлопьеобразования. Чем крупнее хлопья, чем плотнее их структура, тем полнее и быстрее идет процесс осветления воды.

Для создания благоприятных условий завершающей стадии процесса коагуляции - стадии хлопьеобразования устраиваются камеры хлопьеобразования, которые в большинстве случаев встроены в корпус отстойников.

Наиболее часто применяются вихревые, водоворотные и перегородчатые. Последние сооружаются отдельно от отстойника.

Для более полного протекания процесса хлопьеобразования и получения достаточно крупных хлопьев объем камер рассчитывается на время пребывания воды в них от 8 до 30 минут.

Вихревая камера хлопьеобразования (рис. 8.3) выполняется из железобетона в виде пирамидального или конического резервуара с углом конусности от 50 до 70°. Обычно ее встраивают в отстойник. Принцип работы состоит в том, что перемешивание воды происходит при движении воды снизу вверх с уменьшающейся скоростью движения

потока вследствие увеличения площади поперечного сечения камеры хлопьеобразования. Время пребывания воды в камере должно составлять 8 минут для мутных вод и 12 минут для цветных.

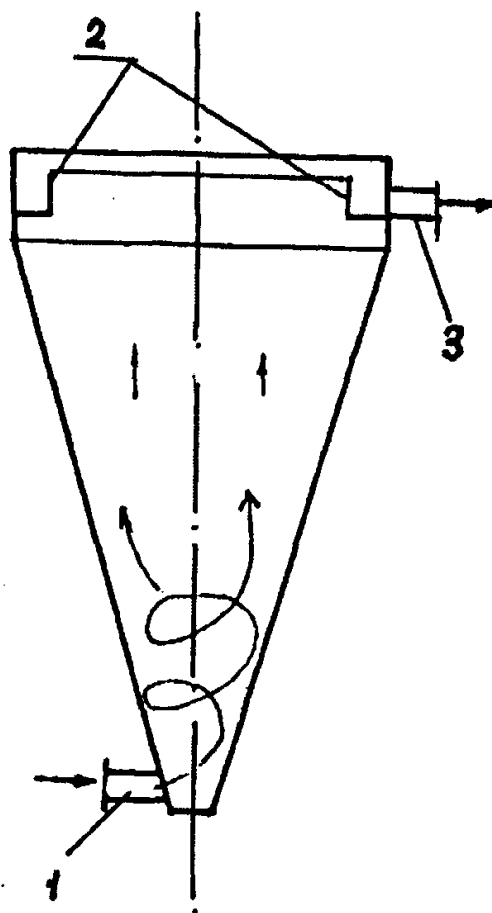


Рис. 8.3. Вихревая камера хлопьеобразования:

1 – входной патрубок, 2 – кольцевой желоб, 3 – отводящий патрубок

Водоворотная камера хлопьеобразования располагается внутри корпуса вертикального отстойника и выполняется в виде стакана (см. рис. 8.5). Вода подается в верхнюю часть камеры соплом. Выходя из сопла со скоростью 2-3 м/с, вода приобретает вращательное движение вдоль стенок камеры и движется в направлении сверху вниз. Для гашения вращательного движения воды при ее выходе в отстойник внизу камеры устраивают гаситель в виде крестообразной перегородки. Время пребывания воды в камере должно составлять от 15 до 20 минут. Высота камеры 3,5-4,0 м.

Перегородчатая камера хлопьеобразования представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар с перегородками, образующими 7-11 коридоров шириной около 0,7 м, через которые последовательно проходит вода со скоростью 0,2-0,3 м/с. Дно коридоров камеры должно выполняться с уклоном 0,02-0,03, средняя глубина каналов 2-2,5 м. Продолжительность пребывания воды в камере - около 25 минут.

Отстаивание взвесей (некоагулированных и коагулированных) происходит как в свободном, так и в стесненном осаждении. Учитывая, что концентрация взвеси в воде, даже при добавке коагулянтов, мала, в верхних слоях воды отстаивание происходит в

режиме свободного осаждения. В нижних слоях концентрация взвеси увеличивается за счет частиц, оседающих из верхних слоев, поэтому возможен режим стесненного осаждения. Главная задача при проектировании отстойников - обеспечение осаждения в них основной массы взвеси, содержащейся в обрабатываемой воде.

Все современные конструкции отстойников, используемые в практике водоочистки, работают в режиме динамического осаждения, при непрерывном движении воды в направлении от входа в отстойник до выхода из него. Причем скорости движения водного потока очень малы - от долей миллиметра в секунду до нескольких миллиметров. Таким образом, в потоке, практически полностью лишенном «транспортирующей» способности, осаждение взвеси подчиняется закону осаждения в неподвижном объеме жидкости.

В зависимости от направления движения воды отстойники можно разделить на три типа: горизонтальные, вертикальные и радиальные.

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный резервуар, выполненный обычно из железобетона (рис. 8.4). Для повышения равномерности распределения воды в поперечном сечении отстойника его делят в продольном направлении перегородками на ряд коридоров шириной от 3 до 6 м. Дно отстойника устраивают с уклоном не менее 0,01 в сторону входной части отстойника.

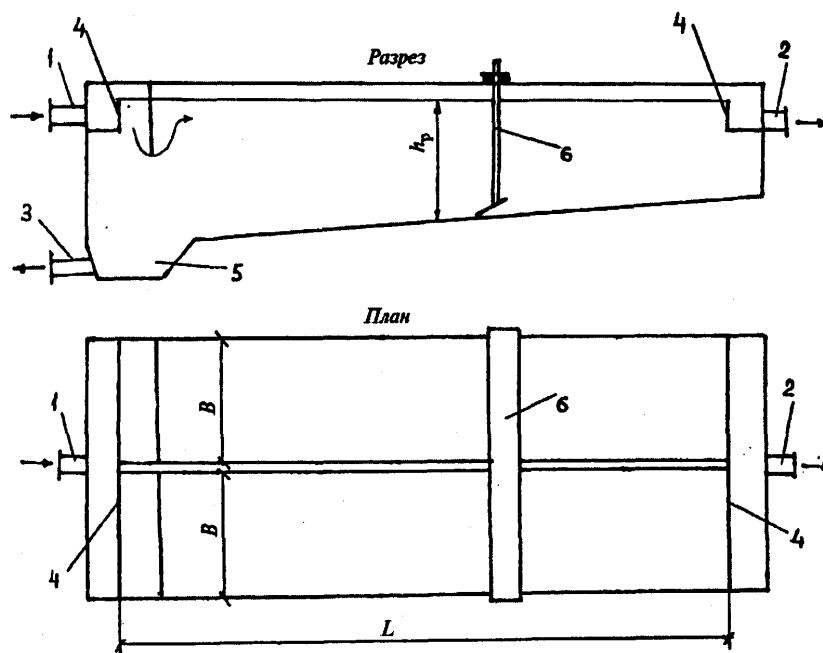


Рис. 8.4. Схема горизонтального отстойника:

1 – подвод осветляемой воды, 2 – отвод осветленной воды, 3 – выпуск осадка, 4 – дырчатые перегородки, 5 – приямок для сбора осадка, 6 – скребок

Для сгребания осадка в сторону приемка устраивается скребковый механизм в виде транспортера со скребками. При открытой задвижке на сбросном трубопроводе под действием гидростатического давления осадок в виде пульпы удаляется из отстойника. Другим способом удаления осадка является выпуск его через специальную дренажную систему из дырчатых труб, укладываемых по дну отстойника. Расстояние между осями соседних тру 2-3 м. Из открытых горизонтальных отстойников осадок можно удалять специальными плавучими землесосными снарядами.

Высоту горизонтального отстойника следует определять как сумму высот зоны осаждения и зоны накопления осадка с учетом превышения строительной высоты над расчетным уровнем воды не менее 0,3 м.

Длина отстойника L определяется из условия обеспечения требуемого эффекта осветления воды при принятой средней скорости движения потока в отстойнике.

При длине отстойника L и скорости горизонтального движения V продолжительность пребывания воды в отстойнике составит

$$t = L/V. \quad (8.3)$$

Это время необходимо для получения требуемой степени осветления воды. При заданной скорости движения воды в отстойнике глубина проточной части (глубина зоны осаждения) и средней скорости осаждения взвеси требуемая длина зоны осаждения отстойника определяется из формулы

$$L = h_p \cdot V/u, \quad (8.4)$$

где V - скорость движения воды в отстойнике, принимаемая для маломутных вод 6 - 8 мм/с, средней мутности 7-10 мм/с и мутных - 9-12 мм/с;

$h_p = 3-3,5$ м - глубина зоны осаждения;

u - скорость осаждения взвеси, мм/с, принимаемая равной: для мутных вод, не обработанных коагулянтом, 0,08-0,15; для вод средней мутности, обработанных коагулянтом, 0,45-0,50; для маломутных цветных вод, обработанных коагулянтом, 0,35-0,45.

После определения длины отстойника следует проверить отношение L/h_p , которое должно быть не менее 10.

Вертикальный отстойник представляет собой круглый или квадратный в плане резервуар с камерой хлопьеобразования водоворотного типа, расположенной в центре корпуса отстойника. Сам отстойник имеет конусное днище с углом наклона между стенками конуса 70-80° (рис. 8.5).

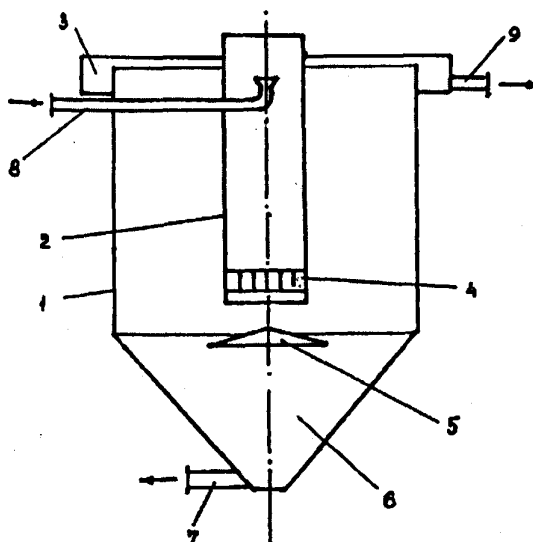


Рис. 8.5. Схема вертикального отстойника:

1 – корпус отстойника, 2 – камера хлопьеобразования, 3 – кольцевой водосборный лоток, 4 – гаситель, 5 – конус отражатель, 6 – зона накопления осадка, 7 – сброс осадка, 8 – подвод осветляемой воды, 9 – овод осветленной воды

Сбор осветленной воды осуществляется периферийными и радиальными желобами с затопленными отверстиями или треугольными водосливами. Диаметр отстойника 5-10 м, глубина - до 7 м. При работе отстойника вода поступает в верхнюю часть камеры хлопьеобразования, проходит по ней вниз, а затем, изменив направление на движение воды на противоположное на выходе из камеры, поднимается вверх через зону осаждения отстойника. Скорость восходящего потока воды должна составлять до 0,6 мм/с, время отстаивания - 2 часа.

Накопившийся в конической части отстойника осадок периодически сбрасывают в канализацию.

Радиальные отстойники являются разновидностью горизонтальных. Применяются преимущественно для осветления сильно мутных вод при большой производительности водоочистных сооружений.

Радиальный отстойник представляет из себя круглый в плане железобетонный резервуар (рис. 8.6), в который осветляемая вода подводится в нижнюю часть центральной трубой и изливается через воронку, вокруг которой расположен цилиндр-успокоитель. Вода от воронки, расположенной в центре корпуса отстойника, движется к периферии и сливается в кольцевой периферийный желоб.

Диаметры радиальных отстойников в зависимости от их производительности колеблются от 15 до 50 м, глубина - до 3,5 м у центра отстойника и до 1,5-2,5 м у периферии.

Для удаления осадка служит медленно вращающаяся металлическая ферма с укрепленными на ней скребками, сгребающими осадок к центру отстойника, откуда он откачивается насосами. Скорость вращения фермы 1,5 оборота/ч. Уклон днища отстойника к центру составляет 0,04.

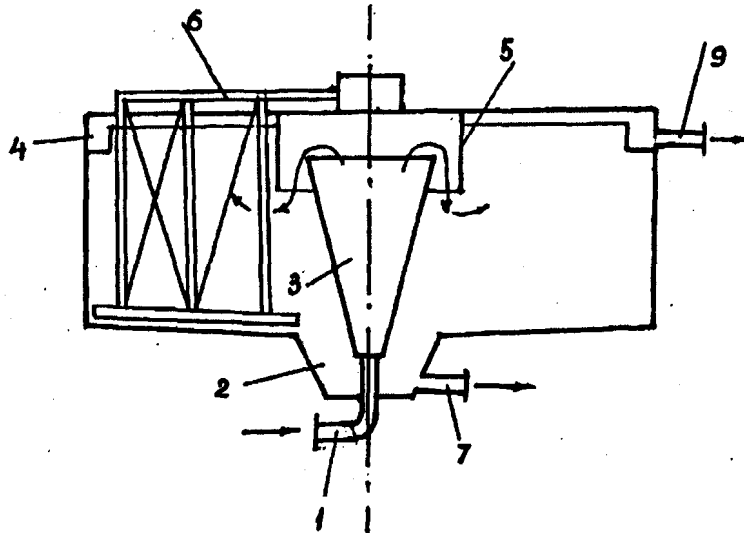


Рис. 8.6. Схема радиального отстойника:

1, 9 – подача исходной и отвод осветленной воды, 2 – приемок для сбора осадка, 3 – диффузор, 4 – сборный периферийный желоб для сбора воды, 5 – цилиндр успокоитель, 6 – вращающаяся ферма для удаления осадка, 7 – сброс осадка

Расчет радиального отстойника проводится в следующем порядке. При заданной степени осветления воды подсчитывается соответствующая этому скорость выпадения взвеси, после чего определяется площадь радиального отстойника по формуле

$$F_{p.o} = \alpha(q/u)^{1,07} + F_{в.з.}, \quad (8.5)$$

где $\alpha = 0,2$ – коэффициент;

q – расход воды, поступающей на отстойник, m^3/c ;

$u = 0,5-0,6$ – скорость выпадения взвеси, mm/c ;

$F_{в.з.}$ – площадь вихревой зоны отстойника, радиус которой принимают на 1 м больше радиуса успокоительного цилиндра, м.

По вычисленному значению площади отстойника определяют диаметр его. Глубина отстойника в центре определяется по формуле

$$H_{ц} = H_{п} + i \cdot (D/2), \quad (8.6)$$

где $H_{п}$ – глубина отстойника у периферии, равная 1,3-1,5 м;

i – уклон днища, 0,04;

D – диаметр отстойника, м.

8.9. Очистка воды в слое взвешенного осадка

Еще в 1930 г. С.Х.Азервер при экспериментах с зашламленными вертикальными отстойниками, когда осадок заполнял не только конусную часть сооружения, но и часть

зоны осаждения, установил, что осветление воды, проходящей через слой ранее выпавшего осадка, более эффективно и позволяет значительно увеличить скорость движения воды в отстойнике.

Первые отечественные конструкции установок по осветлению воды пропусканьем ее через взвешенный осадок, состоящий из гидролизованного коагулянта и загрязнений, извлеченных из воды, получили название осветлители со взвешенным осадком и были предложены Е.Н.Тетеркиным и Н.И.Колотовым.

Практика эксплуатации показывает, что эффективность осветления и обесцвечивания воды в осветлителях со взвешенным осадком в 1,5-2,0 раза выше, чем в обычных отстойниках. Скорости восходящего потока воды в осветлителях принимают в пределах 0,5-1,2 мм/с в зависимости от содержания взвешенных веществ в очищаемой воде и периода года. Меньшие значения скоростей принимаются при низкой мутности воды и для зимнего периода года.

Основными факторами, определяющими интенсивность формирования взвешенного слоя и концентрацию твердой фазы в нем, являются качество исходной воды, гидравлические условия восходящего потока, а также структура осадка взвешенного слоя.

При концентрации взвешенных веществ в исходной воде до 1000 мг/л и цветности до 150 градусов осветлители обеспечивают прозрачность воды не менее 100 см по кресту и цветность не более 30 градусов по платинокобальтовой шкале.

Осветлители проектируются круглой или прямоугольной в плане формы. Диаметр круглых осветлителей не должен превышать 12-14 м. Площадь прямоугольного осветлителя не должна превышать 120-150 м². Осветлители, как правило, работают без камер хлопьеобразования.

Для нормальной, надежной работы осветлителей обязательными условиями являются организация отвода избыточного осадка, равномерного распределения воды по площади осветлителя и отведения осветленной воды.

Осветлители со взвешенным осадком могут быть с естественным отбором избыточного осадка, когда этот избыток поступает в шламоуплотнитель вследствие разности плотностей жидкости в зоне взвешенного слоя и в шламоуплотнителе, а также с принудительным отсосом, при котором избыток лама отсасывается из шламоуплотнителя.

Проектным институтом «Водоканалпроект» разработана конструкция осветлителя, представленная на рис. 8.7. Осветлитель состоит из двух рабочих отделений, между которыми размещается шламоуплотнитель с принудительным отводом избыточного шлама из взвешенного слоя.

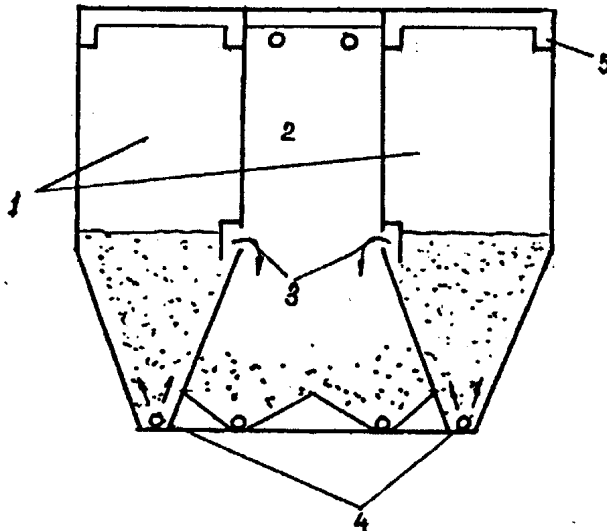


Рис. 8.7. Схема осветлителя конструкции «Водоканалпроект»:
 1 – рабочие камеры, 2 – шламоуплотнитель, 3 – шламоотводящие окна, 4 – водоподводящие трубы, 5 – водоотводящие лотки

При очистке высокоцветных природных вод возможно использование двухступенчатой очистки на осветлителях. Сущность этого способа обесцвечивания воды состоит в том, что исходная вода с высокой цветностью поступает в осветлитель, содержащий взвешенный слой из ранее сформировавшегося осадка. Пройдя через этот слой, вода частично обесцвечивается. Для окончательного обесцвечивания до норматива вода направляется на осветлитель второй ступени, сюда же дозируется свежий коагулянт. Избыточный осадок из осветлителя второй ступени частично отводится во взвешенный слой осветлителя первой ступени.

Использование принципа рециркуляции избыточного осадка в настоящее время получило воплощение в модернизированной конструкции осветлителя, который получил название осветлитель-рециркулятор. Осветление воды при этом происходит в одну ступень. Избыточный осадок подается вместе с очищаемой водой во взвешенный слой этого же осветлителя. Таким образом повышается концентрация твердой фазы в единице объема взвешенного осадка.

При рециркуляции части осадка вновь во взвешенный слой заметно увеличивается концентрация твердой фазы в единице объема взвешенного осадка. Если при обычном режиме работы концентрация твердой фазы составляет 400-600 мг/л, то при рециркуляции части осадка концентрация взвешенного слоя увеличивается до 4500-5000 мг/л. Это обстоятельство позволяет увеличить скорости восходящего потока осветляемой воды при одновременном улучшении эффекта осветления. Концентрация взвеси в осветленной воде составляет не более 2 - 3 мг/л.

8.10. Доочистка воды фильтрованием. Основные типы фильтров и их характеристики

Доочистка воды фильтрованием обычно является финишной ступенью при двух и многоступенчатой реагентной технологической схеме очистки.

Выше был кратко описан принцип медленного безреагентного фильтрования, когда работает слой осадка.

При реагентном способе очистки воды используется принцип скорого фильтрования с задержанием взвеси всей толщей фильтрующей загрузки.

Согласно современным представлениям очистка воды фильтрованием является физико-химическим процессом, основанном на адгезии скоагулированных загрязнений, находящихся в воде, к зернам фильтрующего материала. Сила адгезионного взаимодействия зависит как от физико-химических свойств частиц загрязнений, включающих гидролизированный коагулянт, взвешенные и коллоидные частицы очищаемой воды, так и от аналогичных свойств зерен фильтрующего материала.

В настоящее время существует много различных теорий, описывающих сущность фильтрационного процесса очистки воды. Однако наиболее обоснованно объясняет этот процесс теория фильтрования, разработанная Д.М.Минцем, согласно которой осветление фильтруемой воды является результатом двух противоположно действующих процессов: примыкания и отрыва ранее прилипших загрязнений. При движении воды, содержащей хлопьевидные загрязнения, через зернистую загрузку фильтровального сооружения загрязнения задерживаются в толще загрузки и вода осветляется. При этом взвесь накапливается в виде гелеобразной массы, образуя коллоидную структуру и заполняя внутризерновое пористое пространство. Гидравлическое сопротивление движению воды возрастает.

Извлечение загрязняющих примесей из воды и их закрепление на зернах фильтрующей загрузки происходит под действием сил адгезии и сил электростатического взаимодействия.

Осадок, накапливающийся в загрузке, имеет непрочную структуру. При воздействии гидродинамических сил потока фильтруемой воды эта структура разрушается и некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от поверхности зерен фильтрующего материала в виде мелких хлопьев и переносится в последующие, считая по ходу движения воды, слои загрузки, где вновь под действием сил адгезии и электростатического взаимодействия задерживаются на поверхности зерен, образуя в свободном объеме пор вторичную коллоидную структуру. Следует отметить, что при повторном извлечении из воды ранее оторвавшихся частиц загрязнений сила их взаимодействия с поверхностью зерен значительно меньше, чем при первичном прилипанию их к зернам фильтрующей загрузки.

Таким образом процесс осветления воды в зернистой загрузке следует рассматривать как суммарный результат процесса прилипания загрязнений и процесса отрыва их, переноса в нижерасположенные по ходу движения воды слои загрузки и повторного закрепления на поверхности зерен фильтрующего материала.

Осветление воды в каждом элементарном слое загрузки происходит до тех пор, пока интенсивность прилипания частиц превышает интенсивность их отрыва в этом слое. Кинетика прилипания и отрыва частиц определяет ход процесса осветления воды по толщине слоя фильтрующей загрузки во времени. После продолжительной работы фильтра насыщение слоев загрузки осадком становится предельным и они перестают осветлять воду.

По мере насыщения осадком первых по ходу воды слоев загрузки возрастает роль в осветлении воды последующих слоев, а общая толщина загрузки, необходимая для требуемого уровня осветления воды,

увеличивается. Затем наступает такой момент, когда вся толщина загрузки недостаточна для обеспечения необходимой степени осветления воды и концентрация взвеси на выходе из загрузки начинает быстро возрастать. К этому моменту защитные от взвеси функции фильтрующей загрузки исчерпаны. Требуется регенерация (промывка) фильтрующей загрузки. Д.М.Минцем предложена формула для расчета продолжительности защитного действия фильтрующей загрузки, час. Она имеет вид

$$t = \frac{1}{k} \frac{b}{a} \left(x - \frac{X_o}{b} \right), \quad (8.7)$$

где x - толщина слоя загрузки, м;
 b - параметр, характеризующий интенсивность прилипания, определяется экспериментально, m^{-1} ;
 a/b - параметр, характеризующий скорость проникновения загрязнений в глубь загрузки, м/ч;
 k , X_0 - константы, зависящие от C/C_0 (принимаются из специальной таблицы), где C_0 - концентрация взвеси в исходной воде,
 C - концентрация взвеси в фильтрате, мг/л.

Осадок, образующийся в зернистой загрузке при фильтровании воды, изменяет сечение и форму межзернового порового пространства, т.е. геометрическую форму пористой среды.

Известно, что геометрическая структура пористой среды оказывает существенное влияние на ее гидравлическое сопротивление. При накоплении осадка гидравлическое сопротивление зернистого слоя увеличивается и потери напора растут. По мере фильтрования наступает момент, когда потери напора в фильтрующей загрузке достигают предельно возможных. Как правило, предельно возможные потери напора составляют:

для нисходящего фильтрования (сверху вниз) - 2,5 м;

для восходящего фильтрования (снизу вверх) - 2,0 м.

Д.М.Минцем предложена формула для определения продолжительности фильтроцикла до момента достижения предельно возможной потери напора. Она имеет вид

$$t = \frac{H_{np} - H_o}{h/t} \quad h/t = \varphi i_o F(A) \frac{a}{b} \quad (8.8)$$

где H_{np} - предельно возможные потери напора в фильтрующей загрузке, м;
 H_o - начальные потери напора в чистой загрузке, м;

$\varphi =$ - коэффициент, учитывающий неоднородность зерен фильтрующей загрузки;
 $(d_{эКВ}/d_{20})^2$
 $i_o = H_o/x$ - гидравлический уклон в чистой загрузке;
 $F(A)$ - функция, зависящая от предельной насыщенности загрузки загрязнениями, определяется по формуле:

$$F(A) = \frac{(h/t)b}{\varphi a i_o}, \quad (8.9)$$

где h/t - темп прироста потери напора в загрузке, м/ч.

Параметры фильтрации b , a/b , а также значения H_o , i_o , h/t определяются экспериментально на основании данных технологического моделирования процесса очистки воды фильтрованием, выполненного согласно методике, разработанной Д.М.Минцем.

При всем многообразии фильтров их можно классифицировать на несколько типов.

По скорости фильтрации фильтры бывают медленные ($V = 0,1 \dots 0,5$ м/ч), полускорые ($0,5 \dots 3,0$ м/ч), скорые ($V = 3,0 \dots 20$ м/ч), сверхскоростные ($V > 20$ м/ч).

По направлению движения воды фильтры могут быть однопоточные (нисходящее, восходящее, горизонтальное и радиальное фильтрование) и двухпоточные.

В зависимости от создаваемого напора перед фильтрованием и после него фильтры бывают напорные и безнапорные.

По виду загрузочного материала фильтры могут быть с тяжелыми фильтрующими материалами (плотность от 2 г/см³ и выше), с материалами средней плотности (от $1,4$ до $2,0$ г/см³) и с плавающими материалами, объемная плотность которых меньше единицы.

По количеству используемых в одном корпусе фильтра материалов они могут быть однослойными и многослойными.

Каждому из указанных типов фильтровальных сооружений присущи свои технологические возможности, имея в виду область применения, качество и количество очищенной за фильтроцикл воды на единицу площади фильтрации, надежность и долговечность процесса эксплуатации.

При любом конструктивном и технологическом исполнении фильтровального сооружения основная роль отводится фильтрующей загрузке, виду используемого фильтрующего материала, так как именно в слое фильтрующей загрузки происходит основное кондиционирование природной воды до питьевого качества.

С момента появления скорых фильтров в общем комплексе сооружений очистки воды в качестве фильтрующей загрузки этих фильтров использовались и используются в настоящее время природные зернистые материалы и в первую очередь пески - речные и карьерные. Длительное время песок считался основной фильтрующей загрузкой в связи с широким его распространением и доступностью.

Применение фильтрующих материалов из дробленых горных пород стало реальностью в связи с совершенствованием представлений о физико-химической сущности процесса очистки воды фильтрованием.

Одним из первых дробленых природных материалов, примененным для очистки воды, является дробленый антрацит. Как фильтрующий материал он начал использоваться еще в начале нашего столетия. Наиболее крупные месторождения антрацита сосредоточены в Донбассе и Кузбассе.

На Дальнем Востоке и на восточном участке БАМ для очистки питьевых вод достаточно широко применяется гранодиорит. Он представляет магматическую горную породу. По минералогическому составу гранодиорит близок к граниту, но отличается от него повышенным содержанием темноцветных минералов (роговая обманка, биотит и др.).

Крупные месторождения гранодиорита имеются на Урале и на Дальнем Востоке. Как правило, гранодиорит является отсевом щебеночного производства. В общем количества отсева содержится более 25% годной для загрузки фильтров фракции. Гранодиоритовый песок нужной для загрузки фильтров фракции получают путем гидравлической или механической сортировки отсева.

Для обезжелезивания воды нашел применение природный минерал - магнетит (железная руда). Это один из самых распространенных минералов. Его месторождения имеются в Карелии (г. Костомукша), на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке.

Среди новых фильтрующих материалов из горных пород одно из ведущих мест занимают горелые породы, представляющие собой перегоревшие пустые породы, получаемые при добыче каменного угля и содержащие обожженую глинисто-песчаную смесь.

Фильтрующие материалы из керамзитовой крошки получают путем дробления керамзитового гравия с последующим рассевом продуктов дробления через калиброванные сита.

Весьма перспективным для водоочистки может быть использование в качестве фильтрующих материалов гранулированных полимеров. Существенным преимуществом гранулированных полимеров является почти идеальная однородность гранулометрического состава, что особенно важно при создании многослойных загрузок скорых фильтров, работающих по принципу контактного осветления воды. В качестве фильтрующих могут быть использованы такие полимерные материалы, как капрон, органическое стекло, полиэтилен, винипласт и др.

В практике очистки питьевой воды находят применение в качестве фильтрующего материала металлургические шлаки. Химический и минералогический состав этих шлаков может быть различным и определяется в основном видом выплавляемого металла и технологическими особенностями процесса. При быстром охлаждении шлакового расплава водой или паром он превращается в гранулированный шлак стекловидной структуры. Гранулометрический состав этих шлаков от 0 до 5 мм, плотность материала зерен 3,0-3,2 г/см³.

Система распределения воды по площади фильтровального сооружения, особенно при его промывке, также является одним из важнейших его элементов. В настоящее время в подавляющем большинстве случаев применяются распределительные системы большого сопротивления. Равномерность распределения промывной воды по площади в таких системах достигается посредством дырчатых труб, расположенных на некотором расстоянии (0,10-0,15 м) от дна корпуса фильтра по всей площади равномерно. Наиболее распространены системы из стальных труб. Общий вид трубчатой распределительной системы представлен на рис. 8.8. Ответвления укладываются на расстоянии 0,25-0,35 м друг от друга. Отверстия в ответвлениях располагаются в нижней части трубы в шахматном порядке под углом 45° к вертикали. Диаметр отверстий 10-12 мм. Общая площадь отверстий должна составлять 0,2-0,3% от площади фильтра.

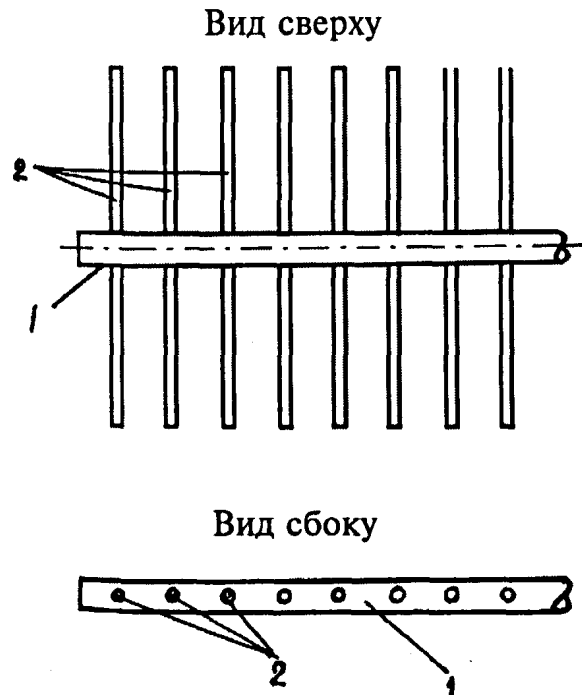


Рис. 8.8. Общий вид трубчатой распределительной системы:
1 – центральная труба, 2 – перфорированные ответвления

Разработано и используется в практике много новых конструкций водораспределительных устройств. Наибольшее распространение получили колпачковые, щелевые, пористые железобетонные, трубчатые со шторками. Достоинством новых конструкций распределительных систем является то, что они могут устраиваться без поддерживающих гравийных слоев, снижающих надежность и экономичность работы фильтровальных сооружений.

Открытые безнапорные скорые фильтры (рис. 8.9) получили наибольшее распространение в практике водоочистки. Напор, необходимый для обеспечения процесса фильтрации, создается разностью уровней воды в фильтре и уровнем воды в резервуаре очищенной воды. Принцип работы открытого скорого фильтра следующий. Вода из сооружений первой ступени очистки по трубопроводу поступает в карман 2, из которого посредством желоба 1 подается на фильтрующую загрузку 3, расположенную на поддерживающих гравийных слоях. Профильтровавшись через зернистую загрузку и поддерживающие гравийные слои, очищенная уже вода через распределительную трубчатую систему 4 отводится в резервуар чистой воды. Высота слоя воды над поверхностью фильтрующей загрузки должна быть около 2-2,5 м, а толщина слоя загрузки должна составлять 1,2-1,6 м.

После того как фильтрующая загрузка исчерпала себя по задерживающей способности (начался повышенный проскок загрязнений с профильтрованной водой) или потери напора в фильтрующей загрузке достигли предельно возможных (2,0-2,5), фильтр должен быть остановлен на промывку.

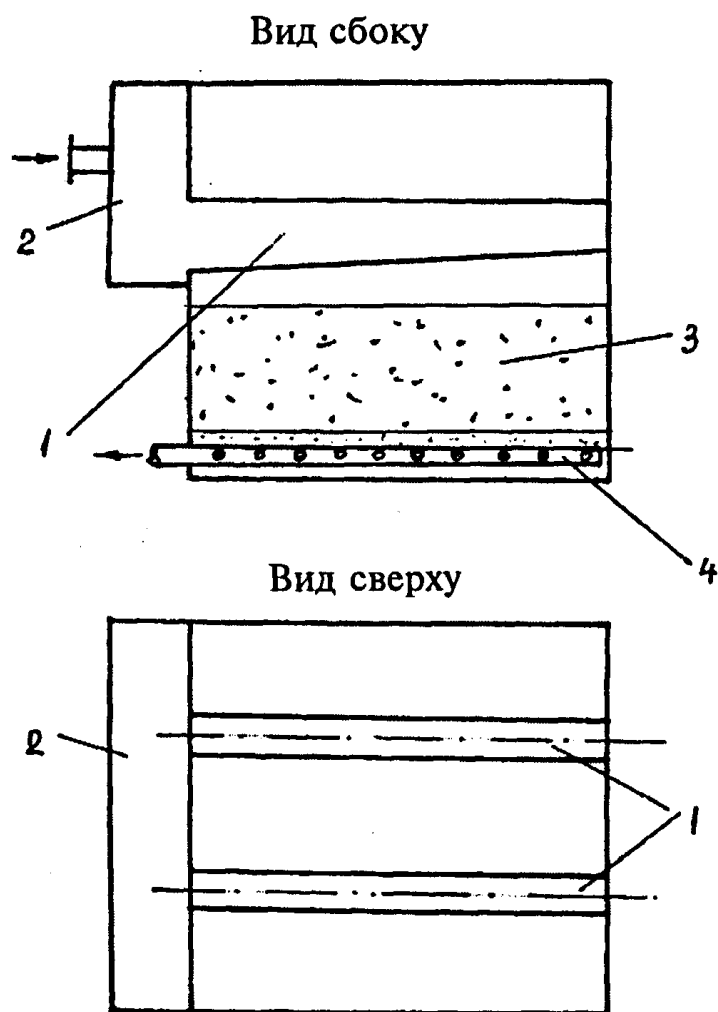


Рис. 8.9. Схема безнапорного скорого фильтра:
 1 – водоприемный желоб, 2 – боковой карман, 3 – фильтрующая загрузка, 4 –
 распределительная система

Промывку фильтрующей загрузки производят обратным током воды или воздуха и воды. Перед промывкой фильтра прекращают подачу воды на него, а воду продолжают фильтровать, пока уровень воды в фильтре не понизится до кромки водоотводящих желобов. Затем закрывают задвижку на трубопроводе, отводящем фильтрат, открывают задвижку на трубопроводе, отводящем грязную промывочную воду, и включают промывной насос. Промывная вода поступает в трубчатую дренажную систему, равномерно распределяется по площади фильтра, поднимается вверх через зернистую загрузку с такой интенсивностью ($л/с \text{ м}^2$), которая обеспечивает переход плотного фильтрующего слоя во взвешенное («псевдооживленное») состояние. При этом загрузка как бы расширяется. Зерна фильтрующего материала начинают хаотически двигаться, соударяться друг с другом, в результате прилипшие к ним загрязнения оттираются, измельчаются и вместе с потоком промывочной воды поступают в водоотводящий желоб, затем в карман фильтра по трубопроводу отводятся в емкость грязной промывной воды.

Продолжительность промывки фильтра обычно составляет 7-8 минут. Интенсивность подачи промывочной воды принимается в зависимости от вида используемого фильтрующего материала. Для тяжелых фильтрующих материалов (металлургические шлаки, песок, гранодиорит) - 14-16 л/с м², для более легких (керамзит, горелые породы, вулканические шлаки, синтетические гранулированные) - 11-13 л/с м².

В практике железнодорожного водоснабжения очень часто применяются скорые фильтры напорного типа (рис. 8.10). Диаметр напорных фильтров, выпускаемых нашей промышленностью, составляет 1-3 м. Увеличение диаметра сверх 3 м вызывает значительные трудности при их транспортировке и монтаже. Напорный фильтр представляет собой металлический корпус цилиндрической формы с приваренными верхним и нижним сферическими днищами. Внутри корпуса фильтра располагается трубчатая распределительная (дренажная) система, копачковая либо щелевая, фильтрующий слой высотой 1,2-1,8 м и воронка, расположенная по центру фильтра для распределения очищаемой и сбора промывной воды. Фильтр снабжен манометрами для измерения давления воды до и после фильтрования, вантузом для выпуска попадающего с водой воздуха и воздуха, остающегося в фильтре после опорожнения его.

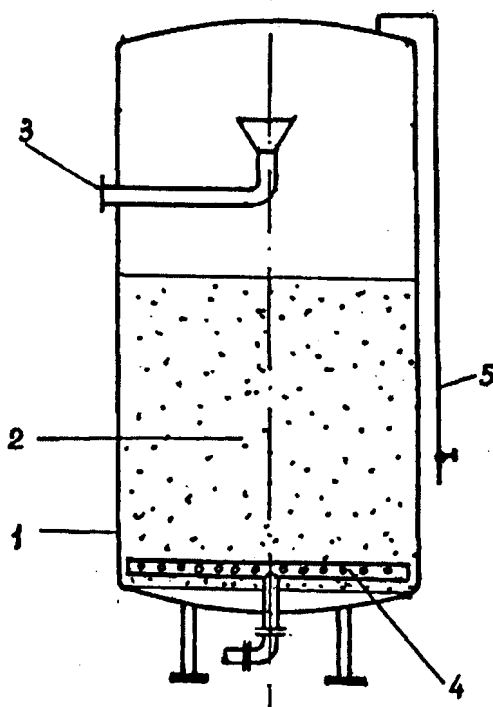


Рис. 8.10. Схема напорного фильтра:

1 – корпус фильтра, 2 – фильтрующая загрузка, 3 – труба для подачи воды на очистку, 4 – распределительная система, 5 – воздухоотводящая трубка

Принцип работы напорного фильтра и промывка его аналогичны с безнапорным скорым фильтром.

8.11. Метод контактного осветления воды.

Контактные осветлители и контактные фильтры

Наиболее распространенный в отечественной практике осветления и обесцвечивания воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения метод предусматривает коагулирование воды, отстаивание ее и последующее фильтрование через зернистую загрузку имеет не только преимущества, но и ряд принципиальных недостатков.

Основной недостаток - большой объем и высокая стоимость очистных сооружений.

Другой недостаток - нерациональное использование существующих объемов сооружений. Особенно это ощущается при очистке маломутных цветных вод, когда неудовлетворительно, очень вяло протекает процесс коагулирования и хлопьеобразования. Образующиеся хлопья мелкие, имеют небольшую плотность и очень плохо осаждаются в отстойниках.

При низкой щелочности высокоцветных вод применение коагулянта и процесс коагуляции требует дополнительного подщелачивания воды, что значительно усложняет эксплуатацию очистных сооружений и повышает стоимость очистки воды.

Выше давалось определение коагуляции как отделение дисперсной фазы суспензии от дисперсной среды, т.е. воды в общем объеме суспензии. Однако хорошо известны явления, когда коагуляция протекает на твердой поверхности зерен фильтрующего материала (адсорбента).

Явление прилипания частиц агрегативно-неустойчивой суспензии при фильтрации к зернам фильтрующего материала и к ранее прилипшим частицам, приводящее к образованию и накоплению геля вокруг зерен зернистого слоя, есть ничто иное, как коагуляция суспензии на поверхности зерен.

Такая коагуляция по существу явления может быть названа контактной коагуляцией.

Принципиальное отличие коагуляции и осветления воды на поверхности зерен фильтрующего слоя от обычной коагуляции и осветления в объеме суспензии состоит в том, что агрегация частиц загрязнений и прилипание образовавшихся мельчайших хлопьев к поверхности зерен фильтрующего материала и к ранее прилипшим частицам являются неразрывными элементами единого процесса осветления воды.

Процесс коагуляции в зернистой загрузке протекает более стабильно. Он менее зависит от переменных физико-химических условий коагуляции, чем в обычных условиях.

Процесс коагуляции в зернистом слое фильтрующей загрузки протекает при «дефицитных» (меньших) дозах, при которых он не идет в условиях свободного объема суспензии.

Предварительное укрупнение частиц загрязнений не является обязательным условием при контактной коагуляции. Для осуществления процесса очистки воды достаточно образования мельчайших частичек гидролизованного коагулянта и загрязнений, присутствующих в воде (взвеси коллоидных гумусовых веществ).

Поэтому при использовании метода контактной коагуляции необходимо и достаточно введение коагулянта в воду и его перемешивание непосредственно перед ее поступлением в слой зернистой фильтрующей загрузки.

Осветление и обесцвечивание природной воды, обработанной коагулянтом при движении ее через слой фильтрующей загрузки, было впервые практически использовано в нашей стране как самостоятельный метод очистки воды, принципиально отличный от отстаивания и последующего фильтрования на скорых фильтрах с песчаной загрузкой.

Сам механизм контактной коагуляции позволяет весь процесс очистки воды проводить в одном сооружении.

Метод очистки воды, основанный на использовании явления контактной коагуляции, называется методом контактного осветления, а сооружения, предназначенные для этой цели - контактными осветлителями (К.О.).

Применение контактного метода осветления воды от взвешенных и коллоидных примесей наиболее эффективно только при условии использования принципа фильтрования в направлении убывающей крупности зерен загрузки.

Конструктивно это возможно осуществить в сооружениях, использующих восходящую фильтрацию очищаемой воды в направлении снизу - вверх. Принципиальная схема контактного осветлителя представлена на рис. 8.11.

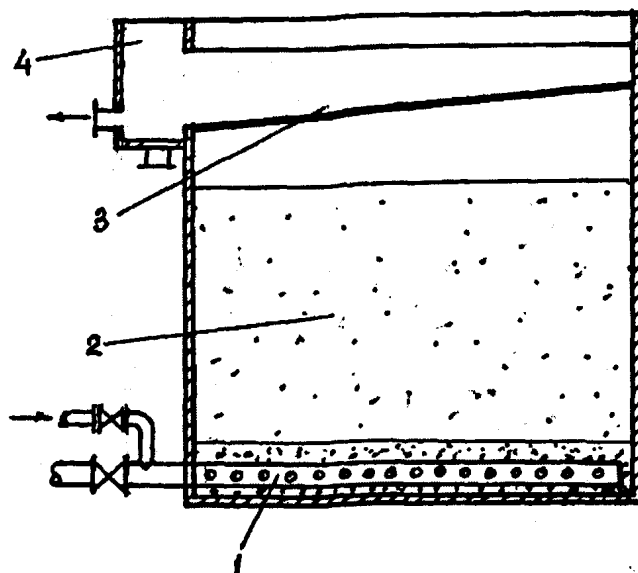


Рис. 8.11. Схема контактного осветлителя (КО-1):

1 – распределительная система, 2 – фильтрующая загрузка, 3 – желоб, 4 – боковой карман

КО-1 представляет собой железобетонный (либо металлический) резервуар, заполненный фильтрующей загрузкой с поддерживающими гравийными слоями или безгравийный и с трубчатой распределительной системой. Толщина слоя фильтрующей загрузки 2 м, крупность зерен 0,7-2,0 мм.

Воду, подлежащую очистке, предварительно смешанную с коагулянтами, подают в трубчатую распределительную систему, из которой она поступает в фильтрующую загрузку и движется в направлении снизу вверх. Осветленная вода поступает сначала в водоотводящий желоб, затем в боковой карман и далее по трубопроводам отводится в резервуар очищенной воды. Расчетная скорость фильтрования составляет 4-5 м/ч. Промывки КО-1 как и скорых фильтров производится обратным током воды через распределительную трубчатую систему. Интенсивность подачи промывочной воды - 14-16 л/с м², продолжительность промывки 7-8 минут.

Контактные осветлители с поддерживающими гравийными слоями имеют существенный недостаток: в процессе эксплуатации происходит смещение гравийных слоев, что приводит к образованию непромываемых участков по площади контактного осветлителя, причем суммарная площадь их необратимо растет. При этом уменьшается фактическая площадь фильтрования в сооружении, увеличивается скорость фильтрования, начинаются локальные выбросы (в виде белого «облачка») загрязнений, состоящих в основном из гидроксидов алюминия, попадающих в конечном итоге в резервуары чистой воды, а затем и потребителям этой воды.

Это обстоятельство вызвало необходимость совершенствования трубчатой распределительной системы для того, чтобы исключить из сооружения гравийные поддерживающие слои, роль которых прежде всего и состоит в предохранении распределительной системы от забивания фильтрующим материалом. Отличие безгравийной распределительной системы от гравийной состоит в том, что к дырчатым ответвлениям привариваются боковые шторки, между которыми привариваются поперечные перегородки, на расстоянии друг от друга, равном двойному шагу между водопропускными отверстиями в трубе.

Повысить эффективность и надежность метода контактного осветления воды можно также использованием контактных фильтров с многослойной фильтрующей загрузкой, составленной из двух или нескольких различных материалов, имеющих различную плотность зерен, с таким расчетом, чтобы в результате гидравлической сортировки после промывок фильтрующей загрузки ее сои из разных материалов не перемешивались и располагались в направлении убывающей крупности, считая по ходу фильтрования воды (сверху - вниз). Более крупные, но более легкие зерна фильтрующего материала должны располагаться выше, нежели более мелкие, но более тяжелые. Чтобы предотвратить перемешивание двух соседних слоев из разных фильтрующих материалов, необходимо выполнение условия

$$\left(\frac{d_{в,маx}}{d_{н,мин}}\right)^{2,3} \leq \frac{1}{k}, \quad k = \left(\frac{A_н}{A_в}\right)^{1,3} \cdot \left(\frac{\alpha_н}{\alpha_в}\right)^{2,3} \cdot \left(\frac{\rho_в - 1}{\rho_н - 1}\right)^{2,3}, \quad (8.10)$$

- где $d_{в,маx}$ - максимальная крупность зерен вышерасположенного соседнего слоя, мм;
 $d_{н,мин}$ - минимальная крупность зерен нижерасположенного соседнего слоя, мм;
 $A_н, A_в$ - гидродинамические константы фильтрующих материалов, определяемые экспериментально;
 $\alpha_н, \alpha_в$ - коэффициенты формы зерен материалов;
 $\rho_н, \rho_в$ - плотность зерен фильтрующих материалов.

Значения A, α, ρ для некоторых фильтрующих материалов представлены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Вид фильтрующего материала	A	α	$\rho, \text{г/см}^3$
1. Песок	0,65	1,4	2,65
2. Керамзит недробленый	0,72	1,5	1,90
3. Антрацит дробленый	0,78	1,6	1,50
4. Вулканические шлаки	0,80	2,4	1,70
5. Гранодиорит	0,70	1,6	2,70
6. Синтетические гранулированные		1,2	1,2-1,6

Скорость фильтрования очищаемой воды на контактных фильтрах в 1,8-2,2 раза выше, чем на контактных осветлителях типа К.О.-1, общая толщина фильтрующей

загрузки составляет обычно 1,6-1,8 м. Смещения гравийных слоев практически не наблюдаются.

Возможны такие композиции двух- и трехслойных фильтрующих загрузок с разными материалами, как керамзит - песок, вулканический шлак - песок, антрацит - песок, капрон - керамзит, капрон - керамзит - песок, капрон - вулканический шлак - гранодиорит и др.

8.12. Обезжелезивание и деманганация подземных вод

Подземные воды многих регионов нашей страны часто характеризуются повышенным содержанием железа и марганца. Особенно много железосодержащих вод в Сибири, на Урале, в северо-западных районах России.

Присутствие железа в воде после некоторого пребывания ее на воздухе придает ей буроватую окраску.

Эта вода имеет железистый привкус. Значительное содержание железа в воде вообще делает ее непригодной для хозяйственно-питьевых целей. Перед использованием ее необходимо подвергать очистке от железа.

В практике очистки воды применялись и применяются в настоящее время несколько способов обезжелезивания ее. Выбор того или иного способа обезжелезивания диктуется формой железосодержащих соединений и их концентрацией. В подземных водах преобладающей является бикарбонатная форма двухвалентного железа, которая устойчива только при наличии значительного количества углекислоты и отсутствии растворенного кислорода. Железо в подземных водах может находиться также в виде сульфида, карбоната и сульфата двухвалентного железа, а также комплексных соединений с гумусовыми веществами, что придает желтоватый оттенок воде.

Все многообразие известных методов обезжелезивания можно разделить на два основных вида:

реагентные и безреагентные. Реагентные способы очистки воды от железа в настоящее время применяются крайне редко. К ним относятся следующие: упрощенная аэрация - окисление - фильтрование, аэрозия - известкование - фильтрование, электрокоагуляция, ионный обмен.

Наиболее часто используются безреагентные методы обезжелезивания. К ним относятся: упрощенная аэрация и фильтрование, аэрация и «сухое» фильтрование.

Метод упрощенной аэрации и фильтрования чаще всего используется в безнапорном варианте (рис. 8.12). Применение данного способа обезжелезивания основано на способности воды, содержащей двухвалентное (закисное) железо и растворенный кислород при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен в виде каталитической пленки, состоящей из оксидов трехвалентного железа.

Эта пленка образуется в течение 3-5 суток фильтрования. Данный период называется периодом «зарядки» загрузки. После завершения «зарядки» сформировавшаяся каталитическая пленка интенсифицирует процесс окисления железа в присутствии кислорода и выделения его из воды, который образует в слое фильтрующей загрузки гелеобразную коллоидную структуру, состоящую в основном из гидроксида железа. По мере накопления осадка в загрузке и увеличения проскока железа в фильтрате фильтр промывается обратным током воды. Интенсивность подачи промывочной воды 15-16 л/с·м², продолжительность промывки 6-7 минут. Грязная промывочная вода собирается в

емкость для отстаивания. Осветленная вода используется для промывки фильтров, а осадок обезвоживается и может быть утилизирован для изготовления железного сурика или идет на захоронение. Метод обезжелезивания воды простейшей аэрацией и фильтрованием применим при $pH \geq 6,8$, содержание сероводорода до 0,5 мг/л, щелочности более 1,2 мг-экв/л, окисляемости воды до 7 мг/л и концентрации железа в воде до 10 мг/л.

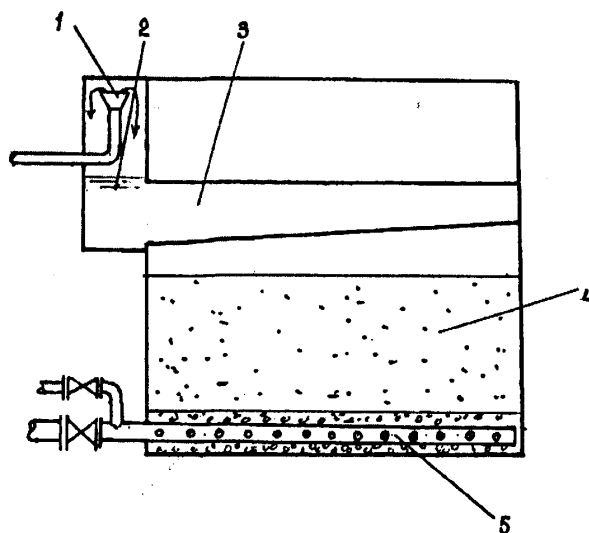


Рис. 8.12. Схема фильтра с упрощенной аэрацией:

1 – аэрирующее устройство, 2 – боковой карман, 3 – желоб, 4 – фильтрующая загрузка, 5 – распределительная система

Метод безреагентного обезжелезивания воды фильтрованием через незатопленную загрузку («сухое» фильтрование) заключается в фильтровании подземной воды с большим избытком воздуха через зернистые материалы без образования слоя воды над загрузкой. При таком способе фильтрования вода стекает в загрузке в виде пленки по поверхности зерен, а объем межзернового порового пространства заполнен воздухом. В этом случае фактическая скорость движения воды через зернистый слой в десятки раз превышает расчетную. При этом значительно ускоряется поступление железа из воды к поверхности зерен и образование каталитической пленки из оксидов железа, существенно изменяются характер и форма выделения железа из воды. Оно выделяется в основном в виде дегидратированных оксидов железа на поверхности зерен загрузки и в межзерновом поровом пространстве. Осадок имеет очень плотную камневидную структуру, грязеемкость загрузки увеличивается в десятки раз. Соответственно во много раз увеличивается продолжительность фильтроцикла. Она достигает нескольких месяцев. Как правило, загрузку после насыщения ее прочно закрепленными на зернах соединениями железа не промывают. Ее заменяют на свежую.

Обезжелезивание воды фильтрованием через незатопленную загрузку производят по безнапорной схеме и по напорной. Наиболее часто применяется напорный вариант обезжелезивания воды с использованием фильтров напорного типа.

В качестве фильтрующего материала можно использовать инертные фильтрующие материалы (песок, керамзит, горелые породы, гранодиорит) и активный - магнетитовые кварциты. Использование активного фильтрующего материала позволяет расширить границы применимости метода «сухого» фильтрования. Если при обезжелезивании воды

фильтрованием через инертную фильтрующую загрузку максимальная концентрация железа в исходной воде не должна превышать 5,5 - 6,0 мг/л, то при фильтровании железосодержащей воды через загрузку из активного фильтрующего материала концентрация железа в исходной воде может составлять 14 -16 мг/л.

Обезжелезивание воды методом «сухого» фильтрования имеет наилучшую экологическую безопасность.

Большинство методов, используемых для деманганизации воды, основаны на окислении присутствующего в воде двухвалентного марганца до трех- и четырехвалентного марганца, образующих гидроксиды. Наиболее полное удаление марганца из воды при $pH \geq 8,0$. Применяемые для деманганизации воды методы можно разделить на реагентные и безреагентные.

К числу реагентных можно отнести окислительные с использованием хлора, озона, перманганата калия, кислорода, а также щелочных реагентов.

К числу безреагентных методов удаления марганца из воды следует отнести глубокую аэрацию с последующим фильтрованием на скорых фильтрах (безнапорных и напорных), сорбцию на адсорбентах, особенно щелочных.

Деманганизация воды перманганатом калия основана на его способности окислять двухвалентный марганец с образованием малорастворимого оксида марганца. Доза перманганата калия должна составлять 2 мг на 1 мг марганца. После окисления для удаления образовавшегося тонкодисперсного оксида марганца в воду вводят коагулянт для выделения его в осадок. Осветление можно производить фильтрованием на обычных скорых фильтрах.

8.13. Обеззараживание природных вод

В технологии водоподготовки для питьевого водоснабжения используется несколько способов обеззараживания воды, которые можно разделить на три группы: термический, окислительный, физический.

Наиболее широко применяются способы обеззараживания с использованием окислителей, таких как хлор, озон, гипохлорит натрия.

Хлорирование больших количеств воды в России впервые было применено в 1910 г. в Петербурге.

Обеззараживающее действие хлора объясняется взаимодействием хлорноватистой кислоты и гипохлорит-ионов с веществами, входящими в состав клеток бактерий в результате чего бактерии погибают.

Для обеззараживания воды хлорированием используют хлорную известь, хлор и его производные. Для наиболее полного обеззараживания воды хлорированием требуется хорошее перемешивание хлор-агента и не менее чем 30-минутный контакт его с обрабатываемой водой.

Количество хлора, поглощаемое органическими и неорганическими примесями воды, характеризует хлоропоглощаемость воды. Помимо бактерий к таким примесям относятся гумусовые вещества, продукты распада белковых соединений, нитриты, аммиак, сероводород и др. Требуемая доза хлора является показателем степени загрязненности воды.

При определении необходимой для обеззараживания воды дозы хлора исходят из общей хлоропоглощаемости и некоторого избытка, обеспечивающего бактерицидный эффект в течение определенного промежутка времени.

Хлоропоглощаемость воды определяется экспериментально, для конкретного водоисточника и периода года.

Для сохранения бактерицидных свойств на протяжении длительного времени концентрация остаточного хлора в воде после 30-минутного контакта должна быть не менее 0,3 мг/л.

На водоочистных сооружениях хлорсодержащий реагент вводится дважды. Первичное хлорирование осуществляется вместе с введением коагулянта в обрабатываемую воду, а вторичное хлорирование (для сохранения бактерицидных свойств) проводится перед поступлением очищенной воды в резервуары.

На водоочистных станциях небольшой производительности (до 3000 м³ / сутки) обеззараживание воды проводится хлорной известью или жидким хлором. На средних и крупных сооружениях водоочистки в основном используют жидкий хлор.

Производители хлора поставляют хлор потребителям в баллонах двух типов: Е-24 вместимостью 25-30 кг хлора и Е-54 вместимостью 100 кг. На крупных водопроводных станциях хлор хранится в бочках вместимостью от 700 до 3000 кг.

Хлорное хозяйство располагают в отдельно размещаемых хлораторных, состоящих из расходного склада хлора, испарительной и хлордозаторной. Расходный склад хлора можно размещать в отдельных зданиях или вплотную к хлораторной. Хлордозаторные отделяют от других помещений глухой стеной без проемов, с двумя выходами наружу с тамбурами.

Для дозирования в воду хлора применяют вакуумные газодозаторы системы ЛОНИИ-100.

Дозирование хлора в обрабатываемую воду осуществляется следующим образом. Из баллонов, установленных на специальные весы (для контроля за расходом хлора) жидкий хлор передается в промежуточный баллон, где происходит его переход в газ. Далее уже газообразный хлор проходит через фильтр для очистки и через понижающий давление редуктор. Затем хлор, поступая в смеситель, смешивается с водопроводной водой, образуя хлорную воду, и дозируется в обрабатываемую воду.

На сооружениях водоподготовки с суточным расходом хлорсодержащего реагента до 50 кг и при недостатке электроэнергии весьма предпочтительно использование гипохлорита натрия для обеззараживания воды. Гипохлорит натрия получается электрохимическим способом, путем электролиза поваренной соли.

Электролизная установка непроточного типа в своем составе содержит бак для растворения соли, электролизер с вытяжной вентиляцией, бак-накопитель гипохлорита натрия, выпрямитель тока и блок автоматики. Она работает следующим образом. В растворный бак загружается поваренная соль, заливается вода и все содержимое перемешивается. Концентрация полученного раствора должна быть около 300 г/л. Насосом этот раствор перекачивается в электролизер, где разбавляется водой до концентрации 100-120 г/л и подвергается электродиализу. Готовый раствор гипохлорита натрия дозируется в обрабатываемую воду.

Электролизеры устанавливаются в отдельном помещении. Допускается совместное размещение электролизера и бака-накопителя в одном помещении.

Озон относится к наиболее сильным окислителям. Как окислитель он сильнее хлора. Если хлор вирусы (в частности вирусы полиомиелита) практически не разрушает, то озон их уничтожает полностью. Преимуществом озонирования является и то, что помимо обеззараживания воды достигается дезодорация ее.

Озон, используемый для озонирования воды, получают из атмосферного воздуха в аппаратах, называемых озонаторами. Озонаторы бывают двух типов: пластинчатые и трубчатые.

Пластинчатые генераторы представляют собой совокупность диэлектриков и плоских металлических электродов, помещенных в закрытую емкость, снабженную системой охлаждения. Электроды чередуются в определенной последовательности: электрод высокого напряжения, диэлектрик, электрод низкого напряжения и т.д.

Трубчатые генераторы состоят из концентрических электродов и трубчатых диэлектриков, установленных в герметичной емкости, оборудованной системой водяного охлаждения. Конструкции трубчатых озонаторов отличаются друг от друга расположением электродов (вертикальное, горизонтальное), а также положением диэлектрика по отношению к системе подачи охлаждающей воды.

В настоящее время наибольшее распространение в практике водоподготовки получили трубчатые озонаторы с электродами в горизонтальном исполнении.

Стабильность работы озонаторов определяется степенью подготовки воздуха, которая включает очистку его от пыли и сушку.

Сушка воздуха осуществляется при помощи пористых поглотителей, в качестве которых используют алюмогель и силикагель.

Технологическая последовательность озонирования воды представляется следующим образом. Озоновоздушная смесь с концентрацией 10-15 мг/л поступает в смесительную колонну, где смешивается с водой по принципу противотока. Продолжительность пребывания воды в колонне 3-3,5 минуты. Далее озонированная вода поступает в вертикальный смеситель, а оттуда на очистные сооружения отстаивания (или осветления) и фильтрования.

Доза озона зависит от назначения озонирования воды. Если озон вводят только для обеззараживания (после фильтрования), то дозу озона принимают 1-3 мг/л, если озон предназначен для частичного обесцвечивания и обеззараживания воды, то он вводится до сооружений очистки и доза его составляет 4 -5 мг/л. Продолжительность контакта озона с водой для обеззараживания 5-10 минут.

8.14. Подготовка воды для промпредприятий

Вода, используемая на технологические нужды промпредприятий, несколько отличается по своим качествам от воды питьевой. Как правило, вода, идущая на производственные нужды, не должна содержать газов, таких как углекислота, кислород, сероводород, аммиак; должна быть мягкой, с низким содержанием солей. Поэтому перед использованием воды на технологические нужды в зависимости от требований технологического процесса она подвергается соответствующему кондиционированию.

Наиболее распространенная технологическая операция - умягчение воды. Под умягчением воды понимают процесс удаления из нее катионов жесткости, т.е. кальция и магния.

Если для питьевой воды предельно допустимая жесткость составляет 7 мг-экв/л и, как правило, вода для питьевых целей не умягчается, то при подготовке технологической воды требуется очень глубокое умягчение. Для воды, идущей на получение пара в паровых котлах, допустимая жесткость воды - не более 0,005 мг-экв/л.

Умягчение воды осуществляется следующими методами: термическим, реагентным, ионного обмена, диализа, мембранным.

Термический метод умягчения применяется при использовании вод с карбонатной жесткостью для питания котлов низкого давления, а также в теплообменных аппаратах.

При нагревании воды бикарбонаты кальция и магния распадаются с образованием карбонатов этих элементов, выпадающих в осадок:

Так как карбонаты кальция и магния хотя и незначительно, но растворяются в воде, полностью удалить карбонатную жесткость термическим способом не возможно.

Умягчение воды реагентным способом основано на обработке ее реагентами, образующими с Ca и Mg малорастворимые соединения CaCO_3 , MgCO_3 , Mg(OH)_2 , $\text{Ca(PO}_4)_2$, $\text{Mg(PO}_4)_2$ с последующим их отделением в отстойниках, осветлителях и на фильтрах. В качестве реагентов используют известь, соду, гидроксиды.

Схема водоумягчительной установки, работающей по реагентному способу, представлена на рис. 8.13.

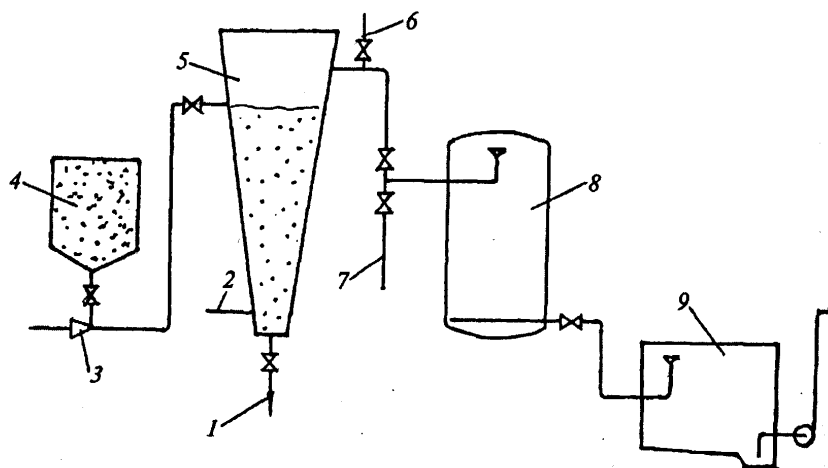


Рис. 8.13. Схема реагентного метода умягчения:

1 – выпуск отработанной контактной массы, 2 – подача воды на умягчение, 3 – эжектор, 4 – бункер с контактной массой, 5 – реактор, 6 – подача реагентов, 7 – сброс промывной воды, 8 – скорый фильтр, 9 – резервуар умягченной воды

В качестве контактной массы можно использовать песок, керамзит или мраморную крошку крупностью зерен 0,2-0,3 мм.

В вихревом реакторе поток воды закручивается и поднимается вверх. В восходящем вихревом движении частички контактной массы взвешиваются. На поверхности частичек кристаллизуется CaCO_3 , MgCO_3 . Песчинки растут и превращаются в шарики диаметром до 1,5-2,0 мм. Крупные шарики опускаются вниз и периодически выпускаются через патрубок 7.

Вихревые реакторы не задерживают Mg(OH)_2 . Поэтому для извлечения Mg(OH)_2 после реакторов устанавливают фильтры.

Сущность умягчения воды ионным обменом заключается в способности некоторых ионообменных материалов, называемых ионитами, поглощать из воды положительные или отрицательные ионы в обмен на эквивалентное количество ионов ионита.

Процесс водообработки методом ионного обмена, в результате которого происходит обмен катионов, называется катионированием.

Каждый катионит обладает определенной обменной емкостью. Обменную емкость катионита измеряют в грамм-эквивалентах задержанных катионов на 1 м³ катионита. При этом имеется в виду рабочая обменная емкость, т.е. то количество катионов кальция и

магния, которое задерживается 1 м³ катионита до момента нормативного «проскока» в фильтрат катионов жесткости.

Катионы по составу разделяют на минеральные и органические.

Минеральные катионы естественного происхождения характеризуются малой обменной емкостью.

Органические катионы искусственного происхождения содержат в своем составе функциональные группы и обладают значительной обменной емкостью.

Если подвижные ионы функциональных групп имеют положительные заряды, ионит обладает катионообменными свойствами.

Натрий-катионовый метод применяется для умягчения воды с содержанием взвеси не более 8 мг/л и цветностью не более 30 градусов. Жесткость воды снижается при одноступенчатом Na-катионировании до 0,05 мг-экв/л, при двухступенчатом - до 0,01 мг-экв/л.

Процесс умягчения воды на катионит-фильтрах складывается из следующих последовательных операций: фильтрование воды через слой катионита до момента допустимой жесткости в фильтрате (скорость фильтрования от 10 до 25 м/ч); взрыхление слоя катионита восходящим потоком умягченной воды ($q = 4 \text{ л·с/м}^2$) спуск воды во избежание разбавления регенерирующего раствора, регенерация катионита посредством фильтрования соответствующего раствора ($V_{\text{ф}} = 3...5 \text{ м/ч}$), отмывка катионита неумягченной водой ($V_{\text{ф}} = 8...10 \text{ м/ч}$). Общая продолжительность регенерации около 2 часов, в том числе взрыхление 10-15 минут, фильтрование регенерационного раствора 15-30 минут, отмывка 30-60 минут.

Выбор метода катионирования диктуется требованиями, предъявляемыми к умягченной воде. Наиболее простой является схема одноступенчатой Na-катионитовой установки, представленной на рис. 8.14.

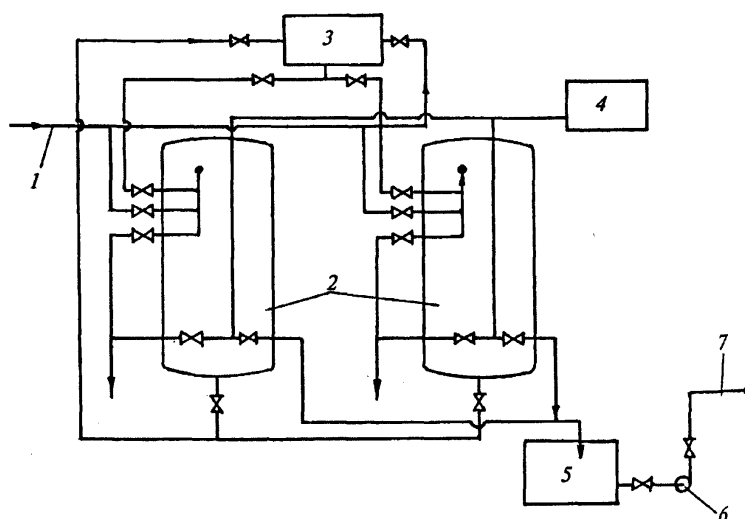


Рис. 8.14. Схема Na-катионитового умягчения:

1, 6 – подача исходной и отвод умягченной воды, 2 – натрий-катионитовый фильтр, 3 – бак с раствором поваренной соли, 4 – бак с водой для взрыхления ионита, 5 – бак умягченной воды

Схема одноступенчатого Na-катионирования имеет недостатки: невозможность глубокого умягчения (до 0,01-0,02 мг-экв/л); большой расход соли на регенерацию; неполное использование емкости поглощения катионита.

Более совершенна двухступенчатая схема Na-катионирования. В этом случае в фильтрах первой ступени вода подвергается умягчению до остаточной жесткости 0,1-0,2 мг-экв/л при скорости фильтрования 15-25 м/ч. Затем умягченная вода подается на Na-катионитовые фильтры второй ступени, где жесткость воды снижается до 0,01 мг-экв/л при $V_{\text{ф}} = 40$ м/ч. Na-катионитовые фильтры первой ступени работают за пределами ПДК жесткости, т.е. катионит используется более полно, достигается большая емкость поглощения.

Для умягчения воды катионированием применяются фильтры напорного и открытого типа. Для предотвращения коррозии внутреннюю поверхность корпуса и все детали катионитовых фильтров защищаются специальными покрытиями.

В состав водоумягчительных установок кроме катионитовых фильтров входят устройства для регенерации и отмывки фильтров. Для регенерации используется поваренная соль.

При необходимости кондиционирования воды по солесодержанию в практике водоподготовки используют методы опреснения и обессоливания, которые подразделяются на две основные группы: с изменением агрегатного состояния воды и без изменения агрегатного состояния ее. К первой группе относят дистилляцию и замораживание. Во вторую группу входят ионный обмен, электродиализ, экстракция, обратный осмос.

При обессоливании воды на промпредприятиях наиболее часто используются дистилляция, ионный обмен и обратный осмос. Выбор метода обессоливания обуславливается качеством исходной воды, требованиями, предъявляемыми к качеству очищенной воды, производительностью установки.

Промышленный опыт показывает, что при содержании солей в воде до 3 г/л следует рекомендовать ионообменный метод, более 10 г/л - дистилляцию, замораживание или обратный осмос, при концентрации солей в воде от 3 до 10 г/л предпочтителен обратный осмос.

Воду, содержащую кремниевую кислоту нельзя использовать для питания котлов высокого давления, в химико-фармацевтической промышленности, при производстве текстиля. Формы присутствия в воде кремниевой кислоты варьируются от коллоидной до дисперсной. При использовании в теплосиловых установках воды, содержащей кремнекислоту и соли жесткости, образуются сложные силикатные накипи с катионами кальция, магния, железа. Силикатная накипь обладает низким коэффициентом теплопроводности и существенно снижает теплотехнические показатели работы котлов и ионообменных аппаратов.

Обескремнивание воды достигается: осаждением известью, сорбцией гидроксидами алюминия, железа, оксидом или гидроксидом магния, фильтрованием через магнезиальный сорбент, ионным обменом.

Обескремнивание воды известью основано на небольшой растворимости силиката кальция при наличии в исходной воде до 10-12 мг/л SiO_3^{2-} , остаточное содержание ее в обработанной воде составляет 6-8 мг/л. При избытке извести и подогреве воды глубина обескремнивания возрастает.

Обескремнивание воды солями железа основано на способности хлопьев $\text{Fe}(\text{OH})_3$, образующегося при введении в воду его солей, сорбировать молекулярно-дисперсную и коллоидную кремниевую кислоту.

Установка, используемая для обескремнивания воды солями железа, состоит из смесителя, дозаторов реагента и известкового молока, осветлителя, фильтра и насоса для рециркуляции осадка. Благодаря рециркуляции значительно снижается расход коагулянта.

Тот же механизм при обескремнивании сульфатом алюминия.

Магнезиальный метод обескремнивания воды основан на способности соединений магния (оксида магния, обожженного доломита, каустического магнезита) сорбировать из водных растворов коллоидную и молекулярно дисперсную кремниевую кислоту, причем остаточное содержание SiO_2 в очищенной воде не превышает 1-1,5 мг/л.

Обожженный доломит или каустический магнезит дозируют в воду в виде суспензии или порошка. Время контакта реагента с водой 60-90 минут.

При фильтрационном методе обескремнивания воды фильтры загружают магнезиальными сорбентами (полуобожженным доломитом, каустическим магнезитом). Крупность зерен 1,0-1,5 мм. Сущность метода заключается в образовании малорастворимого силиката магния. При высоте слоя сорбента 3,5-4,0 м, температуре 40-50⁰С, скорости фильтрования до 10 м/ч содержание кремниевой кислоты в воде снижается до 0,1-0,3 мг/л. Полная емкость поглощения 1 м³ адсорбента - до 90 кг SiO_2 .

9. Основы эксплуатации железнодорожного водоснабжения

Основной задачей эксплуатации является обеспечение качества очищенной воды СанПиН2.1.4.559-96 на основе надежной, безаварийной, управляемой работы всех звеньев технологической цепи и используемого в процессе очистки и передачи воды оборудования.

Система эксплуатации железнодорожного водоснабжения включает в себя обслуживание водозаборов, водоводов, разводящей сети и сооружений водоочистки.

Для обеспечения надежной работы системы водоснабжения необходимо постоянное наблюдение за водоисточником. Наблюдению и контролю подлежат уровень воды в водоисточнике, характер движения потоков воды, движение наносов, размыв берега, образование и состояние льда, его действие на водозаборные сооружения, наличие шуги, санитарное состояние водоисточника.

На малых реках, которые подвержены промерзанию, наблюдения ведутся не только в районе водозабора, но и на расстоянии 2-3 км вверх по течению реки.

Борьба с зарастанием озер и водохранилищ проводится путем периодической очистки или обработкой химическими реагентами (медный купорос, хлор).

Качество воды в водоисточнике контролируется в соответствии с установленной схемой взятия проб. Отбор проб, их хранение и транспортировка производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 24481-80.

Для обслуживания водозаборных сооружений насосных станций назначаются машинисты насосных станций и операторы на решетки. Количество единиц персонала определяется производительностью сооружений.

В период эксплуатации осуществляется планово-предупредительный осмотр (ППО) и планово-предупредительный ремонт (ППР) водозаборных сооружений и устройств.

При эксплуатации сифонных водозаборов необходимо обращать внимание на следующее: герметизацию трубопроводов и арматуры сифонных линий, автоматизацию удаления воздуха из этих линий.

Наблюдения и осмотры сооружений и оборудования производятся визуально, инструментально и с помощью установленной контрольно-измерительной аппаратуры.

Борьба с обрастаниями решеток водозаборов льдом осуществляется механическим способом и обогревом решеток. Механическая очистка решеток ото льда осуществляется скребками, баграми, путем обратной промывки самотечных линий. Обогрев решеток осуществляется паром, горячей водой и электрическим током. Парообогрев или обогрев горячей водой осуществляется путем подвода пара или воды по трубопроводу и распределения теплоносителя перед решеткой.

При приемке в постоянную эксплуатацию водозаборов из подземных водоисточников приемочной комиссией проводятся следующие работы: замер полной глубины колодца, определение статического и динамического уровней воды, а также удельного расхода воды или производительности сооружений.

По окончании проверки и выполнения регулировочных работ производится пробный пуск скважины в эксплуатационном режиме.

В период эксплуатации скважины осуществляется планово-предупредительный осмотр и ремонт.

При периодической эксплуатации скважины для сохранения требуемого качества воды в ней необходимо откачивать воду через 10-15 дней. Откачку ведут до полного осветления воды.

Неполадки в работе скважин устанавливаются по степени изменения производительности, статического и динамического уровней, удельного расхода и качества воды.

Срок нормативной эксплуатации скважин зависит от способа и качества производства буровых работ, соответствия конструкции скважины и типа фильтра гидрогеологическим условиям, соблюдения правильного режима работы водоподъемного оборудования.

К основным причинам нарушения работы скважин и шахтных колодцев относятся: занос фильтра породой, коррозия фильтров и труб, зарастание фильтров и труб продуктами коррозии.

Очистка стенок обсадных труб и фильтров от отложений солей и продуктов коррозии может производиться пауком с тупыми зубьями или металлической щеткой.

Эффективным методом очистки фильтров и повышения производительности скважин и колодцев является кислотная обработка фильтров. При промывке фильтров используется технический раствор соляной кислоты крепостью от 18 до 35%. В кислоту добавляется ингибитор для предотвращения растворения материала труб. Для улучшения эффекта отмытки в соляную кислоту добавляют плавиковую кислоту крепостью 5-8%.

Перспективными методами восстановления производительности скважин являются импульсные методы с использованием энергии взрыва и электрогидроудара.

При эксплуатации всех водозаборных сооружений для захвата подземных вод необходимо обращать внимание на содержание зон санитарной охраны и предусматривать меры, предотвращающие попадание загрязнений как в водозаборные сооружения, так и в водоисточники.

При эксплуатации подземных резервуаров для хранения хозяйственно-питьевой и технической воды производят систематический контроль за качеством воды, ежедневное наблюдение за уровнем воды в резервуарах, не реже одного раза в три месяца осмотр санитарного состояния лазов в резервуар, вентиляционных труб, сливных и переливных устройств, люков и задвижек.

Все лазы и люки камер переключения должны быть закрыты на замок и запломбированы. Допуск и порядок входа в резервуар устанавливается местной инструкцией, согласованной с органами Госсаннадзора, территория, где располагаются резервуары чистой воды, должна быть хорошо освещена в ночное время.

Резервуары следует очищать от осадков один раз в 1-2 года. Перед началом очистки или ремонта вода из резервуаров сливается, задвижки закрываются и опломбировываются. После очистки или ремонта резервуара его хлорируют при суточном контакте хлорной воды с поверхностями резервуара.

При эксплуатации водонапорных башен необходимо соблюдать следующие правила: территорию вблизи башни в радиусе не менее 50 м содержать в чистоте. Эта территория должна быть ограждена и благоустроена, все лазы в водонапорную башню должны находиться в закрытом и запломбированном состоянии. Металлические баки в башне необходимо окрашивать не реже 1 раза в три года. При постоянной эксплуатации емкости баков необходимо чистить не реже 1 раза в год.

Очищенные, отремонтированные или повторно окрашенные баки вводятся в эксплуатацию только после их обеззараживания, которое проводится раствором хлорной извести или жидким хлором.

В работу бак запускается после двух удовлетворительных бактериологических анализов.

Резервуары чистой воды и баки водонапорных башен должны быть оснащены указателями уровней воды.

Количество эксплуатационного персонала для обслуживания очистных сооружений принимается по данным штатного расписания в зависимости от производительности сооружений.

На водопроводной станции должна вестись следующая отчетность: 1) общий журнал работы очистной станции с ежедневной записью общего количества обработанной воды, воды, израсходованной на собственные нужды, количества израсходованных реагентов и их доз, сооружений и оборудования, находящихся в работе, чистке, ремонте, проведенных ППО и ППР; 2) журнал анализов с ежедневной записью результатов.

Состав и дозы реагентов, последовательность и места их введения в обрабатываемую воду устанавливаются технологом станции на основании физико-химических, санитарно-бактериологических и технологических анализов исходной воды и воды, прошедшей обработку на отдельных сооружениях.

Проверка дозирующих устройств производится, как правило, ежеквартально, но не реже двух раз в год и заключается в осмотре арматуры, проверке отсутствия засорений, состояния соединений.

Склады реагентов рассчитываются на хранение 30-дневного запаса, считая по периоду максимального потребления их. Склады реагентов проектируются на сухое или мокрое хранение в виде концентрированных растворов.

Сухое хранение производится в закрытых, хорошо вентилируемых помещениях. Склады для хранения коагулянта, флокулянта и извести располагаются вблизи помещений для приготовления их растворов и суспензий.

К содержанию складов предъявляются следующие требования: дверные проемы, предназначенные для приема и выдачи реагента, должны плотно закрываться по окончании транспортировки, помещения складов должны быть всегда сухими.

Устройство расходных складов хлора должно удовлетворять требованиям «Санитарных правил проектирования, оборудования и содержания ядовитых веществ», утвержденных Главсанэпиднадзором РФ.

Расходные склады хлора для баллонов и бочек надлежит размещать в отдельных закрытых огнестойких, хорошо вентилируемых помещениях на расстоянии не менее 300 м от жилых и общественных зданий.

Перевозка хлора должна осуществляться с соблюдением мер предосторожности. Нельзя допускать ударов и падения баллонов и бочек, следует оберегать их от нагрева солнцем. Хлор со склада к месту потребления транспортируется в баллонах или в бочках.

В процессе эксплуатации камер хлопьеобразования необходимо обеспечивать равномерное перемешивание, а также постоянное наблюдение за скоростью движения воды в камерах хлопьеобразования. Во время эксплуатации камер хлопьеобразования необходимо следить за тем, чтобы образующиеся хлопья не разрушались и не выпадали в осадок. Оптимальный режим скоростей движения воды устанавливается в процессе эксплуатации. Камеры хлопьеобразования не реже 1 раза в год очищаются и отмываются 5%-ным раствором железного купороса. Затем производится дезинфекция их хлорной водой крепостью около 25%. Полная очистка отстойника от накопившегося осадка производится не реже 1 раза в год. Этот процесс осуществляется в следующем порядке: прекращается подача воды в отстойник, открываются задвижки на трубе для выпуска осадка, и осадок вместе с оставшейся в отстойнике водой выпускается. После очистки резервуары дезинфицируются хлорной водой с дозой активного хлора 25 мг/л.

Осмотр фильтров, очистка, замер и восполнение количества песка, а также ремонтные работы производятся в соответствии с установленными правилами ППО и ППР.

Для обеззараживания воды применяется хлор в газообразном состоянии и в виде соединений (хлорная известь, гипохлорит и др.). Хлорирование питьевой воды при суточном расходе до 50 кг, как правило, разрешается производить только из баллонов. При расходе хлора более 50 кг/сутки могут использоваться как баллоны, так и бочки-контейнеры заводского изготовления вместимостью 1000 л.

Перед входом в хлораторную или на расходный склад дежурный персонал должен включить вентиляцию и убедиться в отсутствии газа с помощью газоанализатора.

Если обнаружена утечка газа, то немедленно приступают к ее ликвидации. Все работы по устранению утечки хлора или дегазации выполняются только в противогазе при работающей вентиляции.

Наибольшая часть эксплуатационных затрат систем водоснабжения приходится на эксплуатацию водопроводных сетей. Нормативы численности рабочих для обслуживания водопроводных сетей устанавливаются в зависимости от протяженности водоводов и сетей и представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1. Нормативы численности рабочих по обслуживанию водопроводной сети

Протяженность водопроводной сети, км, до	Численность рабочих, чел	Протяженность водопроводной сети, км, до	Численность рабочих, чел
12	3,0	70	14,5
15	3,6	80	15,7
20	4,9	90	16,8
25	6,1	100	18,0
30	7,3	110	19,2
35	8,5	120	20,3
40	9,7	130	21,5
45	10,9	140	22,6
50	12,2	150	23,8

60	13,3	160	24,8
----	------	-----	------

При протяженности сети водопровода менее 10 км численность рабочих по требованию техники безопасности устанавливается не менее 3 человек.

В состав работ при эксплуатации сети входят: профилактический осмотр сети, осмотр и ремонт пожарных гидрантов и арматуры сети, измерение давлений, соединение и разъединение фланцев, подчеканивание раструбов чугунных труб, постановка седелок, утепление сетевой арматуры и пожарных гидрантов, отогревание замерзших участков сети и арматуры, разборка утеплений, ремонт кирпичных колодцев со сменой чугунного люка, очистка колодцев от грязи, ремонт и проверка водомеров.

Планово-предупредительные осмотры (ППО) и планово-предупредительные ремонты (ППР) проводятся с целью предотвращения повреждений, вызываемых естественным износом. Перечень работ по ППО и ППР и периодичность их проведения представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2. ППО и ППР по содержанию сети.

Вид работ	Состав работ	Периодичность проведения работ
Обход сети	Обход по трассе с проверкой состояния крышек люков колодцев, выявление провалов мостовой у колодцев и на трассе водопроводных линий, течей на сети и прочих неисправностей	1 раз в 2 месяца
Осмотр сетевой арматуры и оборудования	Осмотр и проверка задвижек, пожарных гидрантов, колодцев, воздушников, противоударных клапанов и других устройств на водопроводных линиях	1 раз в год
Осмотр переходов под жел. дор. путями	Осмотр устройств, расположенных в переходах	1 раз в год
Техническое обследование домовых вводов	Определение технического состояния водопроводного ввода (задвижек, колодца, труб подводки к водомеру, кранов у водомера, наличие утечки из внутренней сети)	1 раз в 2 года
Осмотр и проверка уличных водоразборов	Осмотр и регулировка водоразборов.	1 раз в месяц
Мероприятия по предохранению сетевых устройств от замерзания	Отепление и отепления с сетевой арматуры, проверка подготовленности к зиме внутридомовых водопроводов и узлов водомеров	ежегодно во II и IV кварталах

Прочистка водопроводных труб может быть произведена механическим, химическим и гидropневматическим способами.

Наличие отложений и необходимость прочистки трубопроводов устанавливается осмотром их внутренней поверхности через корпуса частично разобранных задвижек, а также во время ремонтов сети с заменой труб.

Для механической прочистки применяются очистители и разрыхлители. Очистители могут быть с нераздвижными и раздвижными металлическими скребками. При незначительных и мягких отложениях в трубах используются щеточные очистители, представляющие собой цилиндры, поверхность которых покрыта щетиной, изготовленной из упругой стальной проволоки. Для протаскивания очистителей через трубы прочищаемых участков применяют многожильные стальные эластичные тросы сечением 3 - 5 мм, длиной на 10 -15 м больше длины прочищаемого участка.

Прочищенные участки водопроводных сетей должны быть промыты и продезинфицированы. Продолжительность промывки определяется количеством и качеством отложений, напором воды в сети и т.п. Промывка заканчивается тогда, когда выходящая вода не будет содержать частиц отложений. Обеззараживание прочищенного участка осуществляется введением в него хлора.

Аварийный ремонт производится в случаях обнаружения повреждений, в результате которых нарушается режим работы водопроводной сети и системы водоснабжения в целом (переломы труб, трещины, нарушения герметичности стыковых соединений и другие повреждения). Причинами появления аварийного состояния водоводов и сетей являются: возникновение гидравлических ударов при внезапном гашении электроэнергии или по другим причинам, вибрация стыков, например, при движении транспорта, приводящая к нарушению стыковых соединений, электрохимическая и почвенная коррозия, блуждающие токи, некачественное выполнение монтажных работ, постороннее воздействие на трубопроводы.

Арматура (пожарные гидранты, задвижки, вантузы), устанавливаемая в смотровых колодцах, должна ежегодно отепляться перед наступлением морозов не только на участках трубопроводов, уложенных в зоне промерзания грунта, но и там, где недостаточна циркуляция воды. Для отепления используется солома, древесная стружка, минеральная вата, войлок, пакля и другие теплоизоляционные материалы. Теплоизоляция укладывается на поддерживающие доски в горловинах смотровых колодцев, которые должны быть расположены на 0,4 - 0,5 м ниже крышки колодца. Утепляющий материал в колодец должен укладываться только в сухом состоянии. Толщина слоя утепляющего материала принимается в зависимости от теплопроводности материала и местных климатических условий.

Отогревание замороженных участков водопроводной сети следует производить с помощью горячей воды, пара и электрического тока. Горячей водой, как правило, отогревают трубопроводы небольших диаметров и арматуру, располагаемую в смотровых колодцах или неотопливаемых помещениях. При этом отогреваемые участки обертывают ветошью и поливают горячей водой. Отогревание замерзших участков паром более эффективно, чем горячей водой. Для использования пара в этих целях применяются передвижные паровые котлы с транспортировкой пара к местам разогрева с помощью прорезиненных шлангов диаметром 15 - 20 мм, длиной 50-60 м. Отогрев арматуры в смотровых колодцах осуществляется путем подачи пара в колодец, который на это время закрывается.

Для отогревания трубопроводов пар с помощью шланга подается в замерзший трубопровод через отверстие, образованное после снятия фасонной части, или через специально проделанное отверстие. По мере прогрева шланг продвигается вперед по трубопроводу на всем прогреваемом участке.

При использовании для разогрева замерзших участков трубопровода электроэнергии сила тока должна быть (А): для вводов в здание - не менее 200, для трубопроводов $d \leq 150$ мм - не менее 300, для трубопроводов $d > 150$ мм – не менее 500.

Применяя электрообогрев, необходимо учитывать следующее: электрическим током можно отогреть только стальные трубопроводы и чугунные трубопроводы с раструбами, заделанными свинцом, при подключении отогреваемого участка трубопровода к трансформатору один конец провода подключают к замороженному участку, другой – к незамерзшему. Электрический ток расплавляет только небольшой слой льда, прилегающий к внутренней поверхности трубы, дальнейшее его плавление осуществляется водой, подаваемой в трубопровод через пожарный гидрант или другие устройства.

10. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВОДООТВЕДЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

10.1. Назначение систем водоотведения и виды сточных вод

На территориях населенных пунктов, железнодорожных станций и промышленных объектов в результате использования воды и по другим причинам образуются загрязненные сточные воды. Они попадают в систему водоотведения (канализацию).

Под системой водоотведения в настоящее время принято понимать комплекс инженерных сооружений и мероприятий для приема сточных вод, их удаления за пределы населенного пункта, железнодорожной станции или промышленного предприятия с целью подачи на специальные сооружения для очистки, обезвреживания и дальнейшего повторного использования или, как исключение, для сброса в водный объект.

Приемниками сточных вод служат санитарно-технические приборы (раковины, ванны, унитазы), сливные баки, колодцы и т.п. Транспортирование сточных вод от мест их образования осуществляется по трубам, лоткам, каналам, кюветам. Очистка и обезвреживание воды производится на очистных станциях, на которых используется сложный комплекс различных аппаратов и сооружений.

В зависимости от происхождения, вида и степени загрязнения сточные воды подразделяют на бытовые, производственные и атмосферные. Бытовые сточные воды образуются в жилых домах, на вокзалах, в гостиницах, а также в других общественных зданиях, в прачечных, банях и т.д. Это воды от раковин, унитазов, ванн и т. п. Производственные сточные воды образуются на промышленных предприятиях при различных технологических процессах. В частности, на железнодорожных станциях это воды от обмывки локомотивов, вагонов, промывки цистерн и т. д. Производственные сточные воды бывают загрязненными и незагрязненными (к последним относятся, например, воды, используемые для охлаждения различных агрегатов). Атмосферными являются дождевые воды и воды от таяния снега и льда.

10.2. Значение систем водоотведения в деле охраны водной среды от загрязнений

Только современная система водоотведения может предотвратить загрязнение водных источников. Вода наряду с воздухом являются важнейшими компонентами, необходимыми для жизнедеятельности человека, растений и животных. Поэтому в деле охраны окружающей среды защите водных объектов от загрязнения придается первостепенное значение. При этом почти 2/3 всех усилий, а следовательно и денежных средств, выделяемых на охрану окружающей среды, используется на защиту водных источников от загрязнения.

Загрязненная вода в реках, озерах, морях является причиной большинства инфекционных заболеваний у людей, гибель рыбы, существенных дополнительных затрат на водоснабжение. Ею же нередко объясняется выпуск бракованной продукции на производстве. В настоящее время водные объекты нашей страны в значительной мере загрязнены. В стране сотни городов и населенных пунктов не обеспечены высококачественной очисткой сточных вод. Многие промышленные предприятия, особенно на железнодорожном транспорте, не имеют оборотных систем водоснабжения и современных очистных сооружений, а это означает, что все их стоки, в том числе и высокотоксичные сбрасываются без соответствующей очистки в лучшем случае в городскую систему водоотведения. Например, на железнодорожном транспорте удовлетворительные очистные сооружения имеются только примерно на 20 % железнодорожных станций и поселков, а повторными (оборотными) системами водоснабжения на промышленных предприятиях охвачено только от 30 до 50 % используемой на них воды. Выход из создавшегося положения виден только в повсеместном строительстве современных систем водоотведения на железнодорожных станциях и населенных пунктах, отвод на очистные сооружения не только воды, образующейся в жилых и общественных зданиях и в железнодорожных производственных предприятиях, но и дождевых и талых вод, также загрязненных в процессе их стекания по поверхности земли. Не меньшее значение имеет перевод железнодорожных объектов на бессточные (оборотные) и маловодные процессы, существенное улучшение эксплуатации объектов водоотведения, применение наиболее совершенных технологий для очистки воды. В процессе очистки воды образуются осадки, содержащие загрязнения в концентрированном виде. Поэтому не меньшее значение, чем очистка воды имеет рациональное обезвреживание и утилизация осадков сточных вод. Эти вопросы пока на современном уровне решаются недостаточно быстро.

10.3. Система водоотведения

В зависимости от рельефа местности, климата, мощности водоема-приемника сточных вод, благоустройства объекта и других факторов могут быть применены раздельная (полная и неполная), общесплавная, полураздельная и комбинированная системы водоотведения.

При полной раздельной системе укладывают две сети труб (рис. 10.1, а). По одной из них 2 бытовые и загрязненные производственные сточные воды поступают на очистные сооружения 4, а по второй атмосферные воды отводятся кратчайшим путем в водоём. При полной раздельной системе атмосферные воды также могут поступать на свои отдельные очистные сооружения или в регулирующие резервуары и далее тоже на очистку (рис. 10.1, б).

Неполная раздельная система отличается от полной только тем, что здесь атмосферные воды поступают в водоем поверхностным стоком, т. е. по открытым кюветам и лоткам. Допустимость выпуска атмосферных вод в водные объекты без очистки решается в каждом конкретном случае отдельно с учетом заключения санитарных органов. С территорий железнодорожных станций сбрасывать атмосферные воды без очистки, как правило, недопустимо. Категорически не разрешается выпуск дождевых вод в непроточные и рыбоводные пруды, в местах расположения пляжей и в пределах населенных пунктов при скоростях течения воды в водотоках менее 5 см/с и расходах воды в них до 1 м³/с.

При общесплавной системе (рис. 10.1, в) все сточные воды отводятся на очистные сооружения по одной сети труб 8. Для уменьшения размеров основных коллекторов на

них устраивают ливнеспуски 9, через которые во время интенсивных дождей часть воды сбрасывается без очистки в водоем по специальным трубопроводам.

Камера ливнеспуска с боковым водосливом изображена на рис. 10.2. Через водослив из трубопровода 3 в трубопровод 4 вместе с бытовыми и производственными направляются дождевые воды при дождях небольшой интенсивности, а также первые наиболее загрязненные порции дождевого стока при сильных дождях. При интенсивных дождях часть смеси дождевых, бытовых и производственных вод переливается через водослив 2, установленный в камере ливнеспуска, и направляется в водоем по ливнеотводу 1.

Кроме обычных ливнеспусков с боковым водосливом получили распространение ливнеспуски с торцевым водосливом.

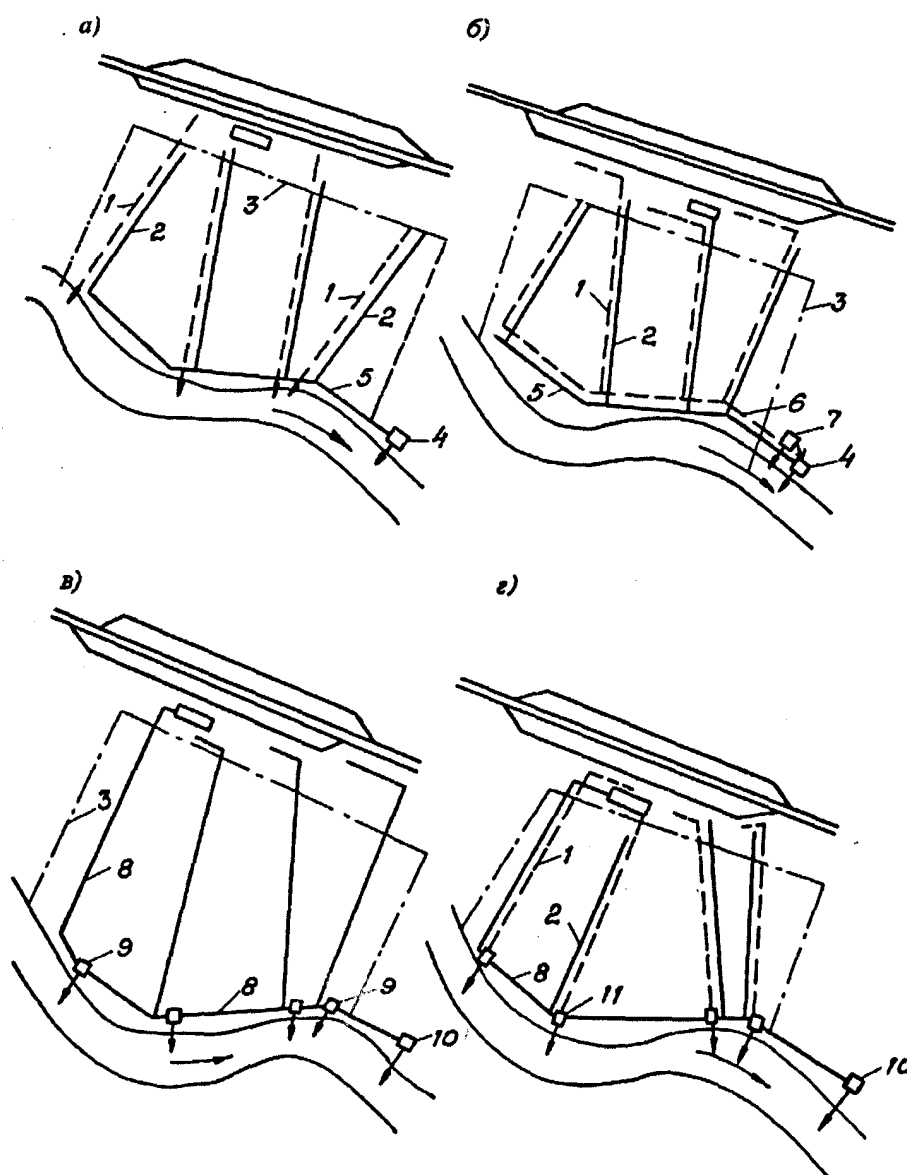


Рис. 10.1. Системы водоотведения железнодорожной станции и поселка:

раздельная (полная и неполная) со сбросом атмосферных вод без очистки в водный объект (а); раздельная (полная) со сбросом атмосферных вод в дождевой коллектор (б); общесплавная (в); полураздельная (г)

1 - трубопроводы или лотки для сбора и отведения атмосферных вод; 2 - трубопроводы для сбора и отведения бытовых и производственных вод; 3 – граница населенного пункта; 4 - очистные сооружения; 5 - перехватывающие коллекторы для отведения бытовых и производственных вод; 6 - то же для атмосферных вод; 7 – очистные сооружения для атмосферных вод; 8 - общесплавные трубопроводы; 9 - камеры ливнеспусков; 10 - очистные сооружения для очистки смеси производственно-бытовых и атмосферных вод; 11 - разделительные камеры

Полураздельная система (рис.10.1, г), как и полная раздельная, предусматривает устройство двух сетей. Одна из сетей 2 служит для отведения бытовых и производственных сточных вод, а вторая 1 для отведения атмосферных вод. В точках пересечения коллекторов 1 с главным коллектором 8 устраивают разделительные камеры 11. Через эти камеры (рис. 10.3) первые наиболее загрязненные порции дождевого стока при сильных дождях, а также вся вода при небольших дождях попадает в главный коллектор 2 и вместе с производственно-бытовыми водами отводится на очистку. Поток дождевой воды при интенсивных дождях сбрасывается в водоем по трубопроводу 4, поскольку дальность отлета струи при увеличении расхода возрастает. В отличие от общесплавной системы бытовые и производственные воды здесь в водоем не попадают.

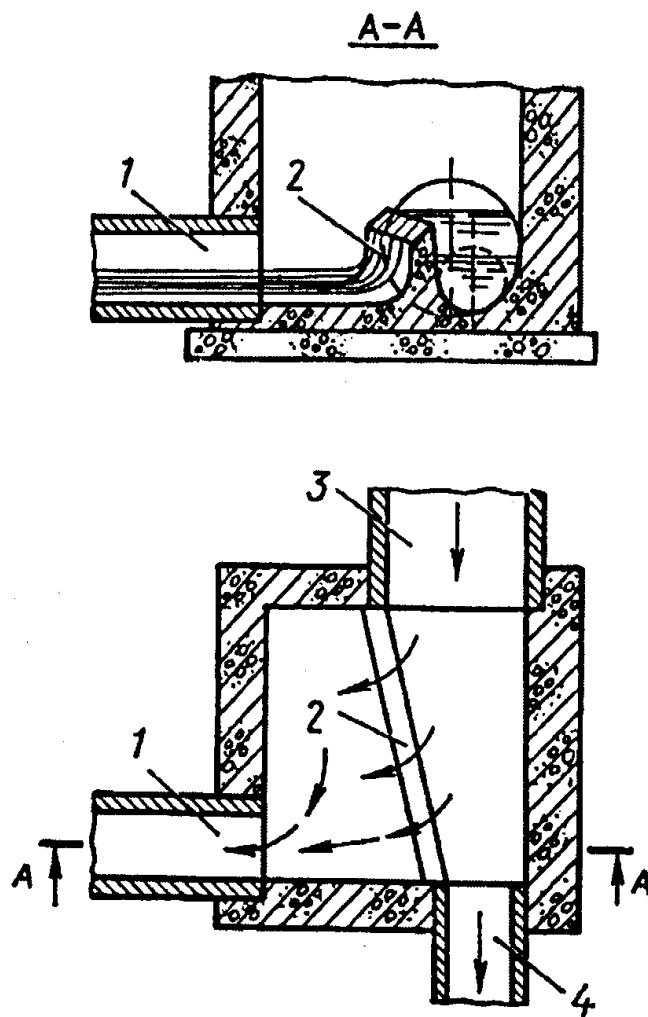


Рис. 10.2. Камера ливнеспуска:

1 – сбросный трубопровод; 2 - боковой водослив; 3 – коллектор, по которому вода притекает к ливнеспуску; 4 - коллектор после ливнеспуска

При комбинированной системе в разных районах города, в зависимости от степени благоустройства, рельефа, наличия промышленных предприятий и т.д., устраивают различные системы водоотведения.

Выбор той или иной системы следует производить по технико-экономическим и санитарно-гигиеническим показателям. Этому выбору придают большое значение, поскольку от вида системы зависит чистота водоема и стоимость водоотведения. С санитарно-гигиенической точки зрения самой лучшей является полураздельная система, поскольку при ней не только бытовые, но и самые загрязненные первые порции дождевых вод попадают на очистку. Учитывая повышенные требования к сохранению чистоты воды в водоемах, полураздельной системе в большинстве случаев следует отдавать предпочтение перед другими системами. Полная раздельная и общесплавная системы в санитарно-гигиеническом отношении примерно равноценны, поскольку при первой из них дождевые воды часто вообще не очищаются, а при второй часть смеси бытовых, производственных и дождевых вод иногда попадает без очистки в водоем.

Неполную раздельную систему следует рассматривать только как первую очередь полной раздельной.

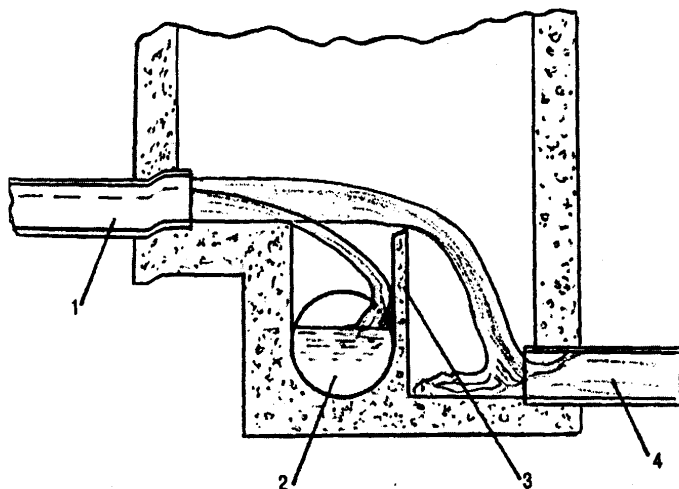


Рис. 10.3. Разделительная камера:

1 - дождевая сеть; 2 - общесплавной коллектор; 3 - разделительная перегородка; 4 – ливнеотвод

С экономической точки зрения самой дорогой раньше считалась полураздельная система, а самой дешевой неполная раздельная. Однако произведенные в последние годы экономические подсчеты показали, что разница в стоимости полураздельной и полной раздельной систем сравнительно невелика, в частности для самих сетей эта разница составляет около 6 %. Более существенно возрастает стоимость насосных станций и очистных сооружений при переходе к полураздельной системе. В тех случаях, когда требуется очистка дождевого стока, полураздельная система обычно получается самой экономичной. Общесплавная система по капитальным затратам дороже полной раздельной в основном за счет стоимости устройства ливнепусков и увеличения размеров очистных сооружений, но зато дешевле по эксплуатационным расходам, поскольку трубы больших диаметров засоряются реже. По санитарно-гигиеническим условиям применение такой системы не всегда допустимо.

В большинстве случаев вопрос о выборе системы должен решаться экономическим сравнением вариантов для конкретных условий.

10.4. Схемы коллекторов водоотведения

В зависимости от принятой системы и рельефа местности применяются различные схемы коллекторов водоотведения: перпендикулярная, пересеченная, параллельная, зонная и радиальная.

При перпендикулярной схеме коллекторы трассируются по направлению к водоему (рис. 10.4, а), эту схему применяют для отведения атмосферных вод при раздельной системе водоотведения.

Пересеченная схема (рис. 10.4, б) отличается от перпендикулярной наличием перехватывающего главного коллектора. Применяется при необходимости транспортирования сточных вод на очистные сооружения.

Параллельная, или веерная, схема (рис. 10.4, в) применяются в тех же случаях, что и пересеченная, но при очень крутом рельефе, когда расположение уличных коллекторов перпендикулярно горизонталям местности приводит к образованию в трубах недопустимо больших скоростей.

Зонную или поясную схему (рис. 10.4, г) выбирают, когда объект водоотведения расположен на двух или более характерных террасах с резко отличающимися средними отметками.

Радиальную схему (рис. 10.4, д) используют в больших городах при возможности устройства нескольких очистных станций, на транспорте применяется редко. Она особенно рекомендуется для сейсмических районов.

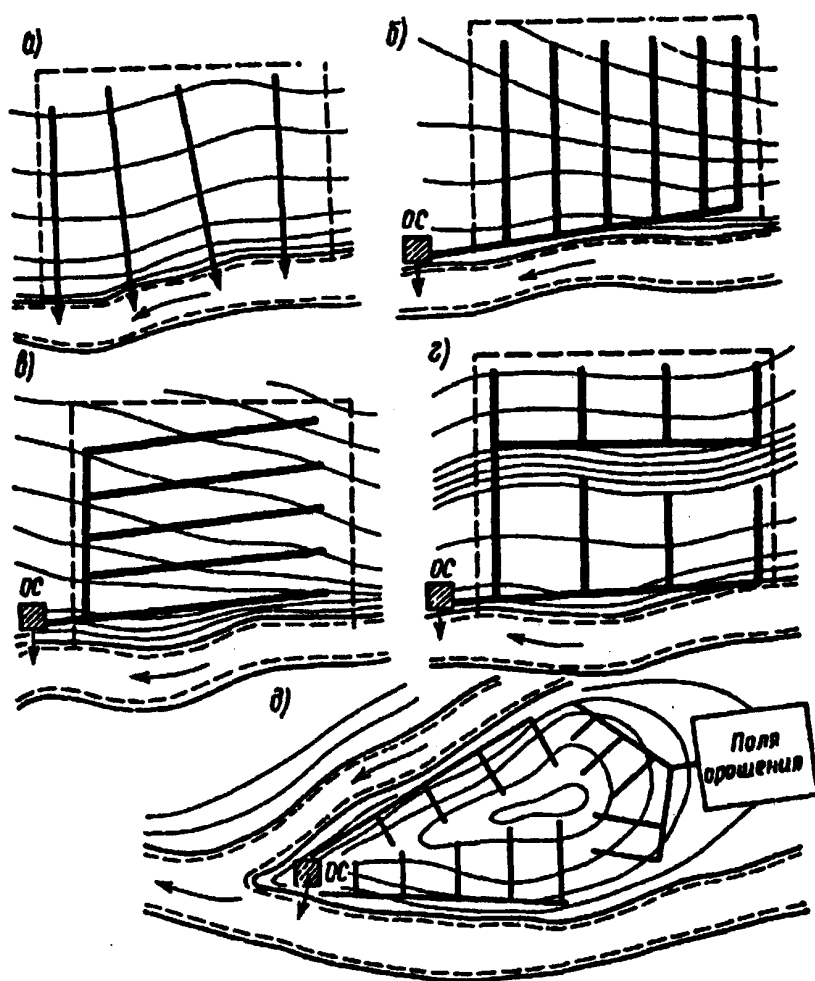


Рис. 10.4. Схемы коллекторов водоотведения:
а - перпендикулярная; б – пересеченная; в – параллельная; г – зонная; д – радиальная.

В последние годы получает распространение идея районных схем водоотведения. В этих схемах для ряда близко расположенных городов, поселков, железнодорожных станций и промышленных предприятий, намечается предусмотреть один комплекс крупных очистных сооружений, сточные воды к которому подводятся по ряду коллекторов. Это позволяет даже для небольших населенных пунктов и предприятий обеспечить наиболее совершенную систему очистки сточных вод, организовать

эффективный контроль за степенью очистки и получить определенные экономические преимущества. Для подачи воды на очистные сооружения при применении районных схем водоотведения обычно предполагается использовать насосные станции.

10.5. Основные элементы систем водоотведения

В состав систем водоотведения входят приемники сточных вод, внутридомовые или внутрицеховые трубопроводы, внутриквартальные, внутристанционные или внутризаводские сети, уличные сети, колодцы, насосные станции, переходы через реки и дороги и очистные сооружения.

По внутридомовой и внутриквартальной сети (рис. 10.5, а) сточные воды из приемников (раковин, ванн, унитазов) 1 через отводные трубопроводы попадают в стояк 2, откуда по внутриквартальной сети 3 достигают уличного колодца 5. Внутри квартала имеется еще ряд колодцев 4, предназначенных для присоединения выпусков из других домов и для контроля за работой сети.

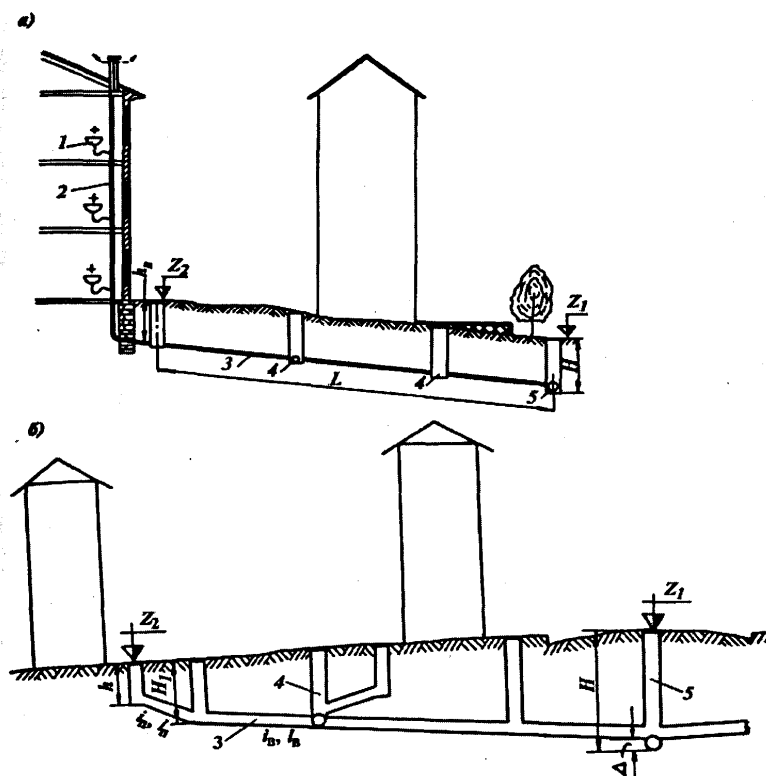


Рис. 10.5. Внутриквартальные сети водоотведения: бытовая (а) и дождевая (б) 1 - приемники сточных вод; 2 - стояк; 3 - внутриквартальные сети; 4 - промежуточные колодцы или дождеприемники на дождевой сети; 5 - уличный колодец

Для приема дождевых и талых вод внутри квартала и на улице устраивают специальные колодцы с решетчатой крышкой, называемые дождеприемниками. Дождеприемники располагают только на улицах в тех случаях, когда дождевая

внутриквартальная сеть отсутствует, или размещают как на улицах, так и внутри квартала (рис. 10.5, б). Для приема и отведения дождевых вод с крыш крупных цехов применяют систему внутренних водостоков - установленные на крышах воронки, отводные стояки и внутрицеховые дождевые коллекторы.

На рис. 10.6 для примера показана схема производственно-бытовой системы водоотведения населенного пункта и железнодорожной станции. Здесь рельефом местности образованы три ясно различимых бассейна канализования; один из них В - на левом берегу реки и два А и Б - на правом, разделенные водоразделом О-О. Внутри каждого бассейна возможно самотечное движение сточных вод без существенных заглублений труб. Сточные воды в бассейне А собираются в самой низкой точке в резервуар районной насосной станции 9 и перекачиваются насосами по трубопроводу 8 через водораздел в главный коллектор 7. (Другим решением может быть прокладка через водораздел коллектора на большой глубине без устройства районной насосной станции). Уличная сеть водоотведения представляет систему разветвленных подземных трубопроводов, которые разделяются по назначению на уличные магистрали 3, уличные коллекторы 4, коллекторы 10 бассейнов водоотведения и главный коллектор 7, отводящий все сточные воды на очистные сооружения 1. При пересечениях рек и глубоких оврагов использованы дюкеры 5, а при пересечениях дорог - специальные переходы. При значительных заглублениях труб для подъема воды и уменьшения глубины заложения трубопроводов сооружают районные станции перекачки 6, а для подачи воды под напором от отдельных объектов: депо, промпредприятий и т.д. - местные насосные станции 11. Здесь же можно располагать местные очистные сооружения 12. В конце главного коллектора, как правило, устраивают главную насосную станцию 2, насосы которой подают воду на очистные сооружения 1.

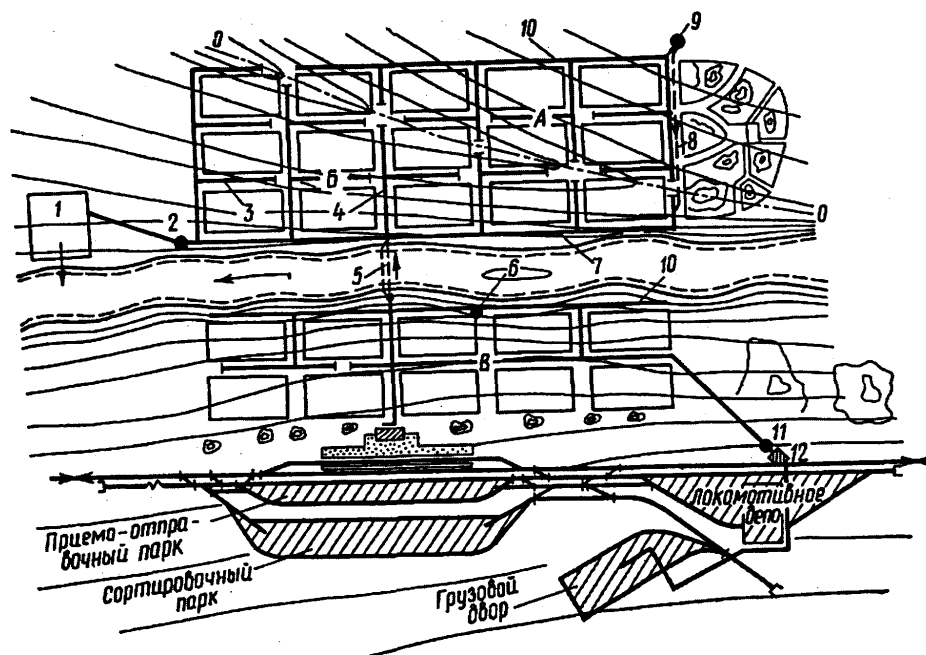


Рис. 10.6. План населенного пункта и железнодорожной станции с нанесением производственно-бытовых сетей водоотведения:

1 - очистная станция; 2 - главная насосная станция; 3 – уличные магистрали; 4 – уличные коллекторы; 5 – дюкер (переход через реку); 6 и 9 - районные станции перекачки; 7 - главный коллектор; 8 - напорный трубопровод; 10 – коллекторы бассейнов канализования; 11 – местные насосные станции; 12 - местные очистные сооружения

Сточные воды промышленных и железнодорожных предприятий частично могут поступать в общую сеть города или поселка и вместе с бытовыми водами отводятся на очистные сооружения. Перед выпуском в сеть водоотведения сточные воды должны удовлетворять следующим требованиям: содержание взвешенных и всплывающих загрязнений в воде должно быть не более 500 мг/дм^3 , вода не должна иметь примесей, способных отлагаться на стенках труб или вызывать разрушение труб, в воде не должно быть горючих или иных взрывоопасных смесей, а также веществ, препятствующих процессам биологической очистки воды или последующему сбросу воды в водоемы, температура воды не должна превышать 40°C . В тех случаях, когда производственные сточные воды не удовлетворяют этим требованиям, их подвергают предварительной очистке на местных очистных сооружениях. При этом большая часть сточных вод железнодорожных и иных предприятий после очистки должна использоваться на данном объекте или на другом промпредприятии многократно.

10.6. Водоотведение на железнодорожном транспорте

На объектах железнодорожного транспорта бытовые сточные воды образуются в пассажирских зданиях, жилых домах, производственных и общественных зданиях.

Промышленные сточные воды возникают в процессе производственных циклов в помещениях локомотивных и вагонных депо, на ремонтных заводах, на пунктах подготовки пассажирских и грузовых вагонов, на промывочно-пропарочных станциях, дезинфекционно-промывочных станциях и пунктах, на шпалопропиточных заводах и

иных предприятиях. Эти сточные воды после местной очистки, как правило, должны вновь использоваться в процессе производства, но во всех случаях их приходится частично обновлять и поэтому до 30 - 50 % от объема подобных сточных вод пока поступает в системы водоотведения.

Для железнодорожных станций кроме того весьма актуальным является отведение дождевых и грунтовых вод. Способы понижения уровня грунтовых вод рассматриваются в специальной литературе. На станционных территориях образуются не только атмосферные стоки от выпадающих дождей и таяния снега, но также и сравнительно чистые воды от не вовремя закрытых водоразборных кранов и колонн, от переливов при заправке вагонов, тушения пожаров на станционных путях и т.п. Во всех случаях появляющаяся на станционном полотне вода должна быть быстро удалена при помощи специальных водоотводных устройств (лотков, кюветов, трубопроводов, канав и т.п.). В противном случае при скапливании воды на станционных путях возможны просадки верхнего строения пути, размывы земляного полотна, повреждение стрелочных переводов, особенно при замерзании воды, нарушения действия автоматики и другие неприятности.

Поскольку образующиеся на станционных путях атмосферные и иные сточные воды, обычно загрязняются здесь нефтепродуктами, частицами грунта или другими остатками грузов, то они перед сбросом в водные протоки или овраги должны подвергаться специальной очистке.

Поверхностные сточные воды в первую очередь должны отводиться от мест укладки стрелочных переводов (горловин станционных парков), пассажирских платформ, грузовых площадок, товарных дворов, складов, подъездов к пассажирскому зданию и с других подобных территорий. На рис. 10.7 представлена схема водоотводных сооружений, расположенных в горловине сортировочного парка.

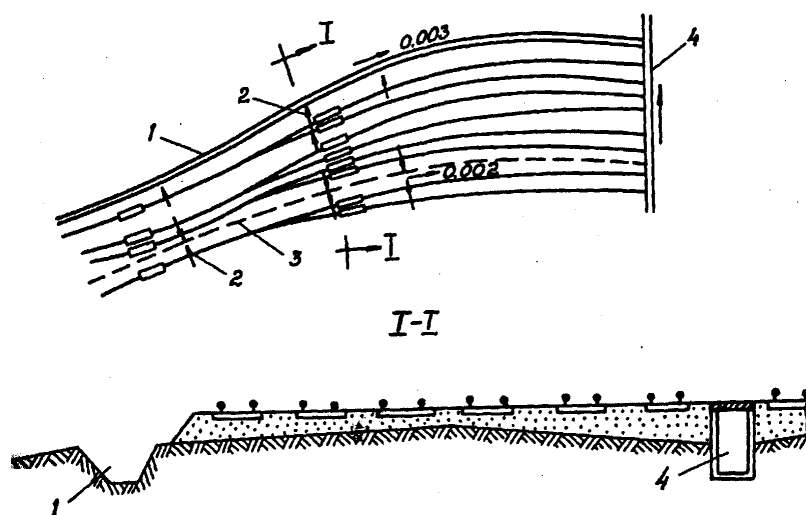


Рис. 10.7. Схема отведения поверхностных вод от горловины сортировочного парка: 1 — водоотводная канава; 2 - междушпальные лотки; 3 - междупутные лотки; 4 - поперечные подземные лотки (или трубы)

Поверхностные воды, образующиеся вне станционных территорий, на площадях, имеющих отметки земли выше, чем станционные пути и уклон в сторону последних (рис.

10.8) должны быть полностью перехвачены кюветами - 4 и нагорными канавами 3 и отведены в ближайшие водотоки или в низины. В необходимых случаях устраивают водопропускные трубы.

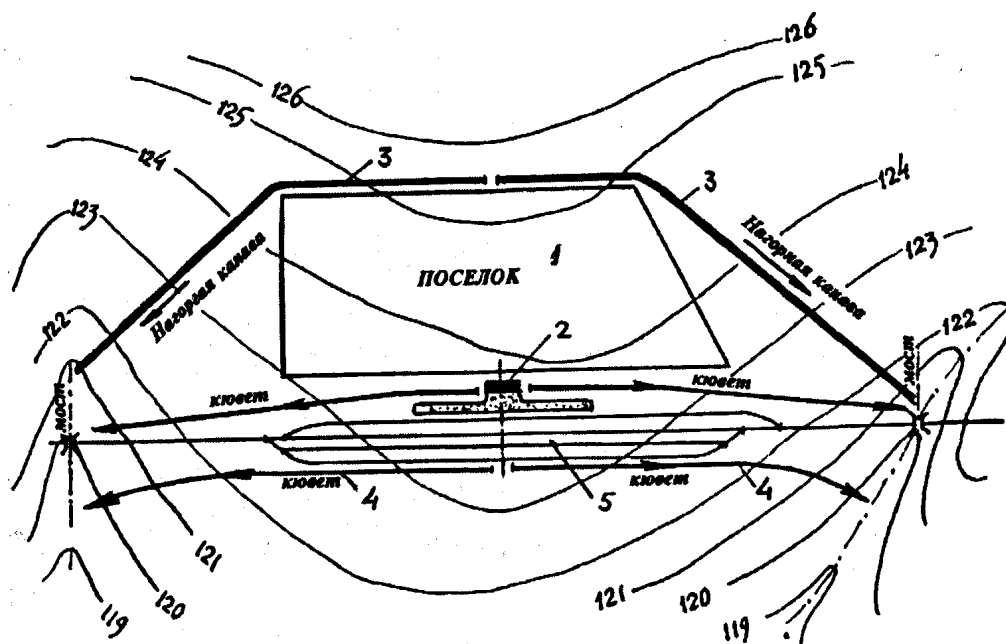


Рис. 10.8. Защита железнодорожной станции от поверхностных вод:
 1 - поселок; 2 - пассажирское здание; 3 - нагорные канавы; 4 - кюветы; 5 - станционные пути

11. УСТРОЙСТВО СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

11.1 Трубы для водоотведения, водоотводные лотки и кюветы

Производственно-бытовые воды отводятся от места их образования по трубам, а атмосферные - по трубам, открытым лоткам и кюветам.

Материал труб должен обладать водонепроницаемостью, долговечностью и достаточной прочностью и в то же время быть не дорогим и стойким против коррозии. Таким требованиям для безнапорных сетей в наибольшей степени обладают неметаллические трубы: керамические, бетонные, железобетонные и асбестоцементные. Для напорных сетей водоотведения кроме железобетонных и асбестоцементных труб применяются также пластмассовые и чугунные трубы, а в исключительных случаях, например, под железнодорожными путями и при пересечении рек, используются стальные трубы.

Керамические трубы изготавливаются из пластичной огнеупорной глины с примесью кварцевого песка и шамота и покрываются снаружи и внутри стенок соляной глазурью. Глазурь придает трубам водонепроницаемость и гладкость, предохраняет их от воздействия кислот и щелочей. Трубы выпускаются раструбными с внутренним диаметром от 150 до 600 мм и длиной от 1200 до 800 мм. Стыки раструбных керамических труб (рис. 11.1, а и б) обычно уплотняют битуминизированной пеньковой прядью 2, которую заделывают в стык примерно на 1/2 глубины раструба. Остальную часть раструба заполняют материалом, образующим замок, - асфальтовой или иной

мастикой 1 (полужесткий стык) или асбестоцементной смесью 3 (жесткий стык). Жесткие стыки часто разрушаются при осадках грунта, а также при вибрации, вызываемой городским транспортом. Поэтому сплошная заделка стыков асбестоцементной смесью допускается лишь при укладке труб на бетонном или ином весьма прочном основании. Чаще всего стыки между трубами, собираемыми в звенья у бровки траншеи (2 - 4 трубы), заделываются мастикой, а стыки, соединяемые в траншее, - асбестоцементной смесью. При наличии в сточных водах растворителей битума или при достаточно плотном основании все стыки заделывают асбестоцементом.

Асфальтовая мастика состоит примерно из 70 % асфальта и на 30 % гудрона или битума. При повышенной температуре сточных вод (до 40 °С) в нее добавляют известковую муку, золу, песок. Разрешается применять также мастику, изготовленную на полимерных смолах.

Асбестоцементная смесь готовится из 30 % (по весу) асбестоцементного волокна и 70 % цемента марки 300 и более. Добавка воды к смеси составляет около 10 %.

Недостатком указанных стыков является необходимость больших затрат труда при соединении труб. Поэтому в последнее время керамические, а также бетонные и железобетонные трубы (рис. 11. 1, в), стали часто соединять при помощи конических колец 4 из поливинилхлоридной смолы (пластизола), такие кольца при изготовлении труб на заводе наносят на их концы и на внутреннюю поверхность раструбов, а при сборке эти кольца заклиниваются при вдвигании трубы внутрь раструба.

Бетонные и железобетонные трубы изготовляют напорными и безнапорными. Напорные трубы такие же, как и применяемые в водоснабжении. Безнапорные бетонные трубы выпускают диаметрами от 250 до 600 мм, длиной 1500 мм, а безнапорные железобетонные - диаметрами от 300 до 2500 мм, длиной от 1500 до 2500 мм. Бетонные трубы изготовляют раструбными, а железобетонные - раструбными и фальцевыми. Соединение раструбных труб со ступенчатой формой раструба такое же, как показано на рис. 11.1, б и в, а с конической формой раструба - на резиновых кольцах 5 (рис.11.1, г). Фальцевые трубы больших диаметров (более 1750 мм) соединяют с помощью резиновых колец (рис. 11. 1, д). Бетонные и железобетонные трубы, предназначенные для транспортирования агрессивных производственных вод или укладываемых в грунты, насыщенные агрессивными подземными водами, изготовляются из специальных видов цемента с соответствующими добавками или имеют защитные покрытия, выполненные, например, на основе полимерных смол ЭД-6, Ф-10 и др.

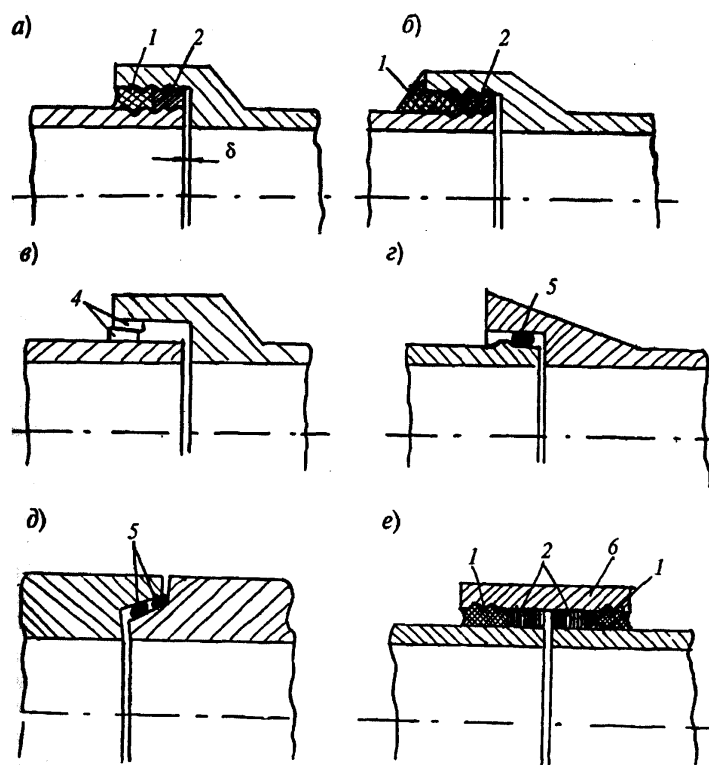


Рис. 11.1. Соединения труб систем водоотведения:

а - раструбные соединения керамических труб прядью и асфальтовой мастикой; б – то же прядью и асбестоцементной смесью; в – то же на кольцах из пластизола; г - раструбных бетонных труб на резиновых кольцах; д - то же фальцевых железобетонных труб; е – асбестоцементных труб с помощью муфт

Асбестоцементные трубы, как и железобетонные, выпускаются безнапорными и напорными. Безнапорные трубы изготавливаются из массы, состоящей из 20 - 25 % (по весу) асбестового волокна и 80 - 75 % силикатоцемента. Они легки, водонепроницаемы, имеют гладкую поверхность, мало подвержены воздействию химических реагентов. Главным преимуществом их является меньшая стоимость по сравнению с керамическими и железобетонными трубами. К недостаткам этих труб относится хрупкость и износ под воздействием песка, содержащегося в сточных водах. Поэтому использование асбестоцементных труб для транспортирования сточных вод, имеющих много минеральных загрязнений, не рекомендуется.

Стыковые соединения безнапорных труб осуществляются при помощи асбестоцементных муфт 6 (рис. 11.1, е) с уплотнением битуминизированной прядью 2 и заделкой асфальтовой мастикой или асбестоцементной смесью - 1. Для напорных систем водоотведения применяются те же трубы, что и в системах водоснабжения.

Для водоотведения агрессивных производственных сточных вод часто применяются пластмассовые трубы, в основном винилпластовые (поливинилхлоридовые) и полиэтиленовые.

Укладка труб из любых материалов в обычных условиях осуществляется на выровненное естественное не нарушенное дно траншеи. Для сохранения целости труб

рекомендуется перед их укладкой вырыть на дне траншеи специальную выемку в соответствии с очертанием наружной поверхности трубы таким образом, чтобы труба соприкасалась с грунтом не менее чем на 1/4 диаметра. При этом трубы выдерживают наружное давление грунта на 30 - 40 % больше, чем уложенные без устройства выемки. Если трубы укладываются на горизонтальное дно траншеи, то пазухи между ними и стенками траншеи заполняются утрамбованным песком.

В скальных грунтах под трубами устраивается песчаная подушка толщиной 0,1 - 0,2 м. В водонасыщенных грунтах из мелкого песка с примесью глины, а также в илистых, торфяных и других слабых грунтах трубы укладывают на искусственные основания: бетонные, железобетонные, щебеночные с дренажем и т.д. Тип искусственного основания зависит от состояния и вида грунта, метода производства работ и глубины засыпки и в каждом случае указывается в проекте.

Атмосферные стоки отводятся как по подземным трубопроводам, так и по открытым и закрытым лоткам, кюветам и канавам. На территориях железнодорожных станций в пределах расположения железнодорожных путей обычно устраивают железобетонные (иногда деревянные) водоотводные лотки. Применяются продольные междупутные лотки, поперечные лотки и междушпальные лотки. Продольные междупутные лотки имеют трапециевидное сечение (рис. 11.2, а) и глубину от 0,75 до 2 м. Основной частью лотка является железобетонная рама - 1, сверху лоток перекрывается деревянными щитами 2 со щелями, а с боков железобетонными стеновыми плитами - 3 или досками. При этом стенки лотка имеют дренажные щели. Продольный уклон таких лотков не менее 0,002.

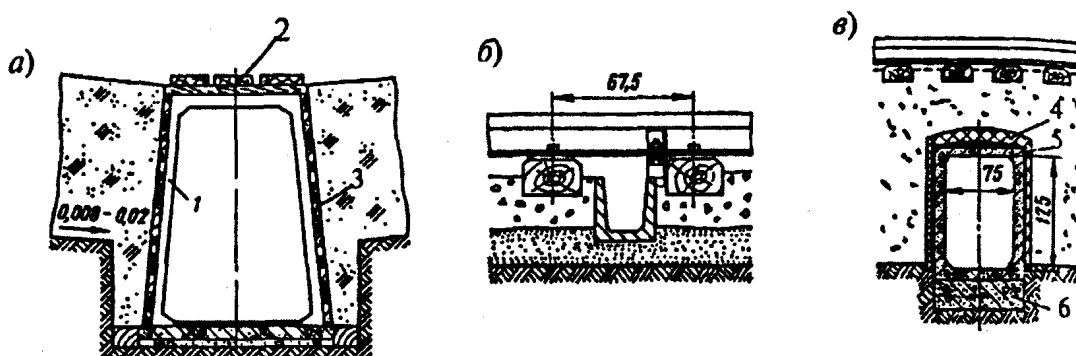


Рис. 11.2. Водоотводные лотки на железнодорожных станциях:

а – продольные междупутные; б – междушпальные; в – поперечные железобетонные лотки

Поперечные междушпальные лотки (рис. 11.2, б) применяются для отвода воды из района расположения стрелок, от пассажирских платформ и т. п. Они имеют ширину отверстия 0,25 и 0,3 м и глубину от 0,2 до 0,85 м. При большой глубине верх лотка закрывается, а стенки могут быть перфорированными. Лотки не рассчитаны на нагрузку от подвижного состава, поэтому на них не должны опираться шпалы или рельсы.

При необходимости укладки поперечных лотков под путями применяют сборные железобетонные лотки замкнутого сечения 5 с отверстием 0,75 x 1,25 м (рис. 11.2, в) или железобетонные трубы. Подобные лотки сверху покрываются слоем бетона - 4, а в основании них укладывается блочный железобетонный фундамент - 6.

На рис. 11.3 показан водоотвод от высоких платформ.

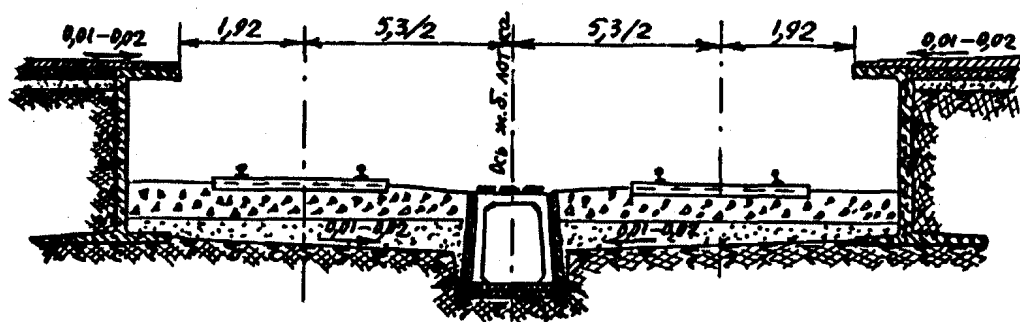


Рис. 11.3. Водоотведение от высоких платформ

11.2 Колодцы на сетях водоотведения

Для наблюдения за работой сетей водоотведения, а также для их прочистки и промывки устраивают смотровые колодцы. Их предусматривают при проектировании в местах присоединения притоков (узловые колодцы), в точках изменения направления линии (поворотные колодцы), а также на прямолинейных участках через определенные расстояния или в местах изменения уклонов и диаметров труб (линейные колодцы). Для сокращения числа колодцев желательно колодцы разного назначения совмещать.

Для сопряжения трубопроводов, уложенных на разных отметках, применяют также специальные перепадные колодцы, а для приема атмосферных вод с поверхности земли используют колодцы-дождеприемники.

Колодцы, как правило, делают из сборных бетонных и железобетонных элементов круглыми или прямоугольными в плане. Круглые колодцы собирают из колец, плит перекрытия, днища и других элементов. На рис. 11.4 дана схема узлового колодца из железобетонных колец. Нижняя часть колодца высотой H_p называется рабочей камерой, она сложена из колец большего диаметра - 7 (не менее 1 м и в зависимости от диаметра подходящих и отходящих труб). Высоту этой камеры для удобства работы в ней желательно назначать не менее 1,8 м. Внизу рабочей камеры располагаются открытые лотки - 8, глубина которых равна наибольшему диаметру трубопровода. Рабочая камера сверху перекрывается плитой - 6, над которой устраивается горловина из колец 5 диаметром 0,7 м. Высота горловины H_r у всех колодцев разная, так как она зависит от глубины колодца. Если колодец заглублен незначительно, то горловина не предусматривается, а рабочая камера должна быть высотой не менее 0,9 м. В верхней части горловины расположен люк с крышкой - 1, регулировочные камни - 3, при помощи которых верх люка устанавливается точно на уровне поверхности земли (или дороги). Для герметизации колодца от попадания дождевых и талых вод устраивается вторая крышка 2, опирающаяся на специальное кольцо - 4. Для спуска в колодец на его стенках предусматриваются скобы. Основанием колодца служит плита 9 и песчаная подушка - 10.

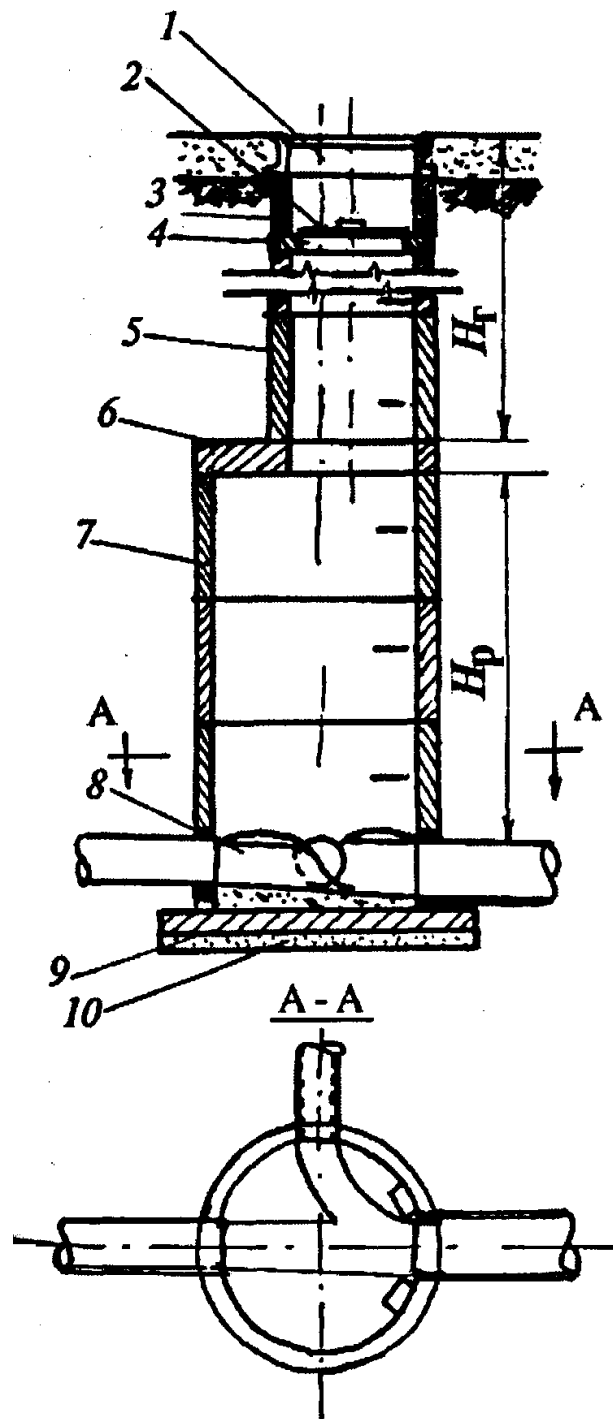


Рис. 11.4. Узловой колодец на сети водоотведения

Перепадные колодцы предусматриваются в местах пересечения подземных коммуникаций, когда необходимо понизить заложение труб водоотведения, на крутых косогорах для уменьшения уклона укладки труб с целью снижения скорости течения жидкости, а также во всех случаях, при сопряжении трубопроводов, уложенных на разных отметках. На рис. 11.5 представлена схема перепадного колодца из сборных железобетонных элементов. Колодец состоит из горловины - 1 и рабочей камеры 6.

Подводящий 2 и отводящий 5 коллекторы сопрягаются при помощи стояка 3, выполненного в виде железобетонного канала или путем установки внутри колодца металлической трубы. Внизу стояка устраивается водобойный приямок 4.

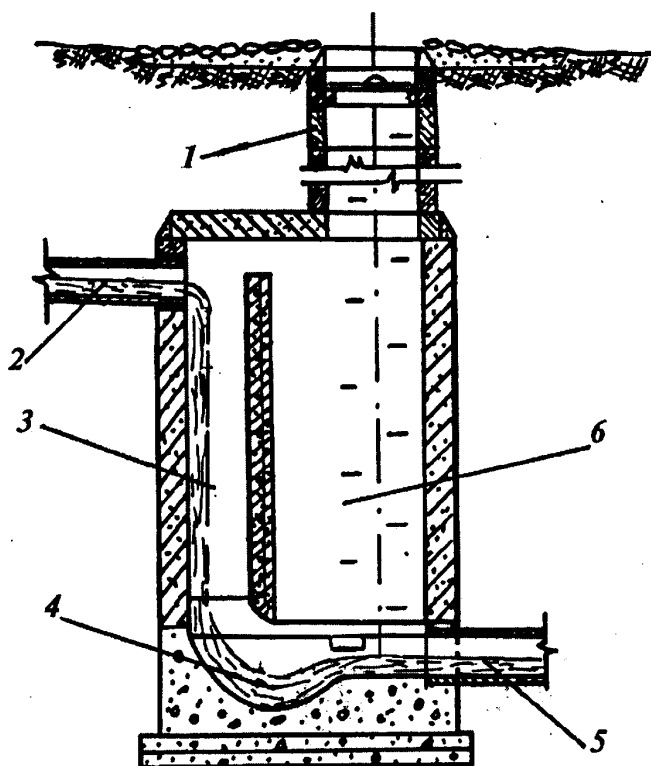


Рис. 11.5. Перепадной колодец

Для труб больших диаметров и, в частности, на дождевой сети перепады в колодцах имеют вид водосливов практического профиля. Применяются также перепадные колодцы водобойного типа с решетками.

Дождеприемники предназначены для сбора атмосферных и поливочных сточных вод с поверхности дорог, тротуаров, проездов, перронов, площадок и других территорий. Дождеприемники (рис. 11.6) собираются из железобетонных колец 5 диаметром 700 мм. Вода с поверхности 1 попадает в колодец через прозоры решетки 2, установленной на опорной плите 4, вблизи бордюрного камня. На днище дождеприемника 8 набивается бетон 7 с уклоном в сторону отводящей трубы 9. Для спуска в колодец предусматриваются скобы 6. Глубина дождеприемника Н зависит от глубины промерзания земли в данной местности. По типовым проектам глубина Н для дорожных покрытий составляют от 1130 до 2020 мм.

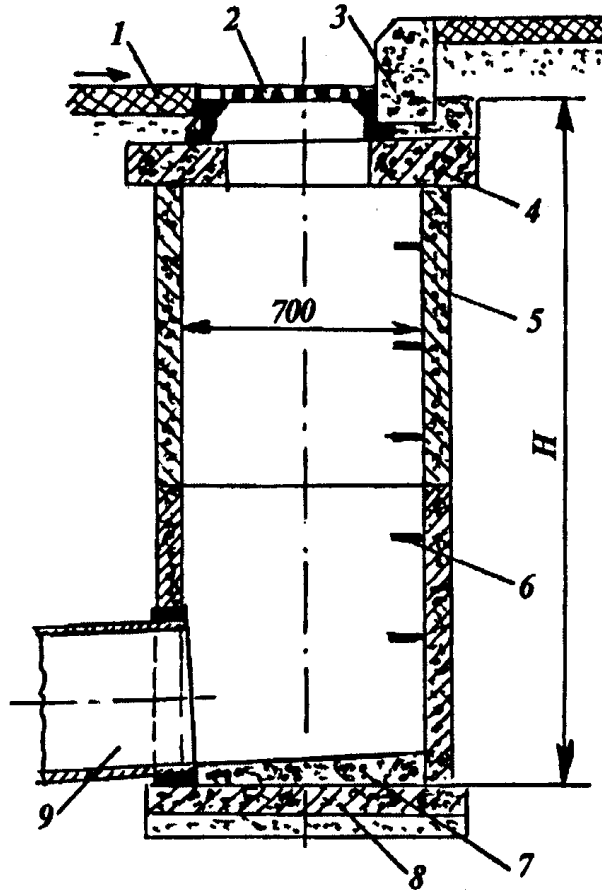


Рис. 11.6. Дождеприемник

11.3. Дюкеры. Переходы под железными и автомобильными дорогами

При пересечении рек, оврагов и глубоких суходолов в системах водоотведения применяют дюкеры (рис. 11.7). Это подземные (подводные) трубопроводы 3, по которым вода течет полным сечением под напором, образованным разностью отметок во входной 1 и выходной 4 камерах.

Рабочие части камер дюкера при диаметрах труб до 300 мм собирают из железобетонных колец диаметром 2 м, а горловины - из колец диаметром 0,7 м. Высота рабочей части камеры дюкера 1,8 м. Входная камера состоит из двух отделений (колодцев) - мокрого и сухого. В мокром отделении размещены открытые лотки, для перекрытия которых служат шиберы, а в сухом отделении - трубопроводы с задвижками. В выходной камере имеется только одно отделение - мокрое.

Трубопроводы дюкера собирают из стальных труб диаметрами не менее 150 мм. Число линий не менее двух. Иногда устраивают опломбированный аварийный выпуск 2 (см. рис. 11.7). Трубопроводы состоят из трех характерных участков: нисходящего, среднего (слегка наклоненного) и восходящего. Угол наклона восходящего участка к горизонту α должен быть не более 20° , при таком наклоне облегчается удаление загрязнений. Заглубление труб под водой в землю должно быть не менее 0,5 м над верхом трубы, а в пределах фарватера на судоходных реках - не менее 1 м. Перед укладкой трубы покрывают усиленной антикоррозионной изоляцией и защищают от механических

повреждений футеровкой из деревянных реек, закрепленных металлическими хомутиками. Расстояние между стенками труб в плане должно быть не менее 0,7 - 1,5 м.

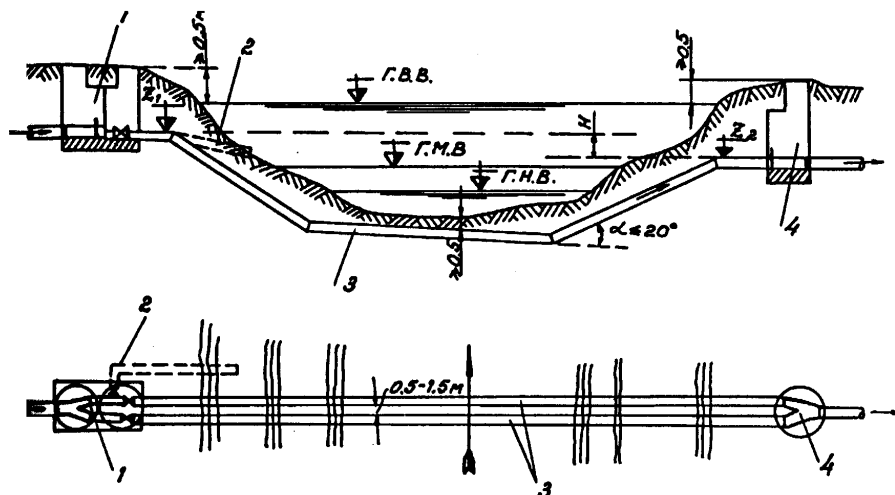


Рис. 11.7. Схема дюкера при пересечении реки

Расчет дюкера состоит в определении по известным из гидравлики формулам потерь напора по длине и потерь на местные сопротивления при пропуске по одной нитке дюкера расчетного расхода. Сумму потерь напора принимают равной необходимому напору $H = z_1 - z_2$ в дюкере (см. рис. 11.7). На эту величину понижается отметка поверхности воды в выходной камере по отношению к аналогичной отметке во входной камере. При этом скорость течения воды в дюкере должна быть не менее 1 м/с и не менее скорости в подводящем коллекторе.

Переходы под железными и автомобильными дорогами должны обеспечивать безопасность движения поездов в период строительства и во время их эксплуатации. При аварии с трубопроводом земляное полотно должно быть предохранено от размыва водой, а сам трубопровод должен выдерживать нагрузки от транспорта. Исходя из этих требований трубы под дорогами обычно укладывают в стальных футлярах (кожухах) или в проходных и непроходных тоннелях. Под станционными путями железных дорог и под путями промышленного железнодорожного транспорта разрешается укладка переходов без футляров: для безнапорных линий - из чугунных, а для напорных линий - из стальных труб.

При устройстве переходов обычно применяют закрытые бестраншейные способы сооружения кожухов путем продавливания, прокола или горизонтального бурения, а также при помощи тоннельной (щитовой) проходки. Открытым способом сооружать переходы с отрывкой траншеи допускается только на железнодорожных станциях при небольшой интенсивности движения поездов, а также в случае пересечения шоссе дорог II и III категорий при возможности устройства объездов.

Продавливание труб через грунт осуществляют при помощи гидравлических домкратов. Одновременно с продвижением трубы грунт внутри нее разрабатывают вручную лопатами или пневматическим инструментом и вывозят на тележках. Диаметр кожуха для возможности производства работ таким способом зависит от длины продавливаемого участка и указывается в типовом проекте. Скорость продавливания до 4

м в смену. При проколе, применяемом при малых диаметрах, грунт из трубы первоначально не удаляют.

Прокладку кожухов методом горизонтального бурения осуществляют специальными буровыми установками. Принцип их действия заключается в механическом горизонтальном бурении грунта режущей головкой с одновременной подачей кожуха вперед при помощи лебедки и удалением грунта из забоя шнековым транспортером. Скорость проходки от 8 до 15 м/ч. В качестве рабочих труб внутри кожуха укладывают для безнапорной канализации чугунные трубы (при диаметре до 500 мм) или напорные асбестоцементные и железобетонные трубы; для напорной канализации в качестве рабочих применяют стальные трубы.

При щитовой проходке обделку тоннеля (кожух) собирают из бетонных блоков. Грунт в месте расположения тоннеля разрабатывают при помощи проходческого щита, который перемещается под действием системы домкратов. Этот способ экономически целесообразен при заложении труб 6 м и более.

В качестве примера на рис. 11.8 приведен проект перехода трубопроводом 2 под железнодорожной насыпью на перегоне. Расстояние от подошвы рельса до верха кожуха 1 зависит от способа производства работ и вида грунтов и при закрытых способах производства работ путем продавливания, прокола, горизонтального бурения или щитовой проходки должно быть не менее 1,5 м. При сооружении переходов открытым способом это расстояние должно быть не менее 1 м. По обе стороны от перехода сооружают смотровые колодцы 3. С верховой стороны в специальном колодце предусматривают отключающие устройства и аварийный выпуск.

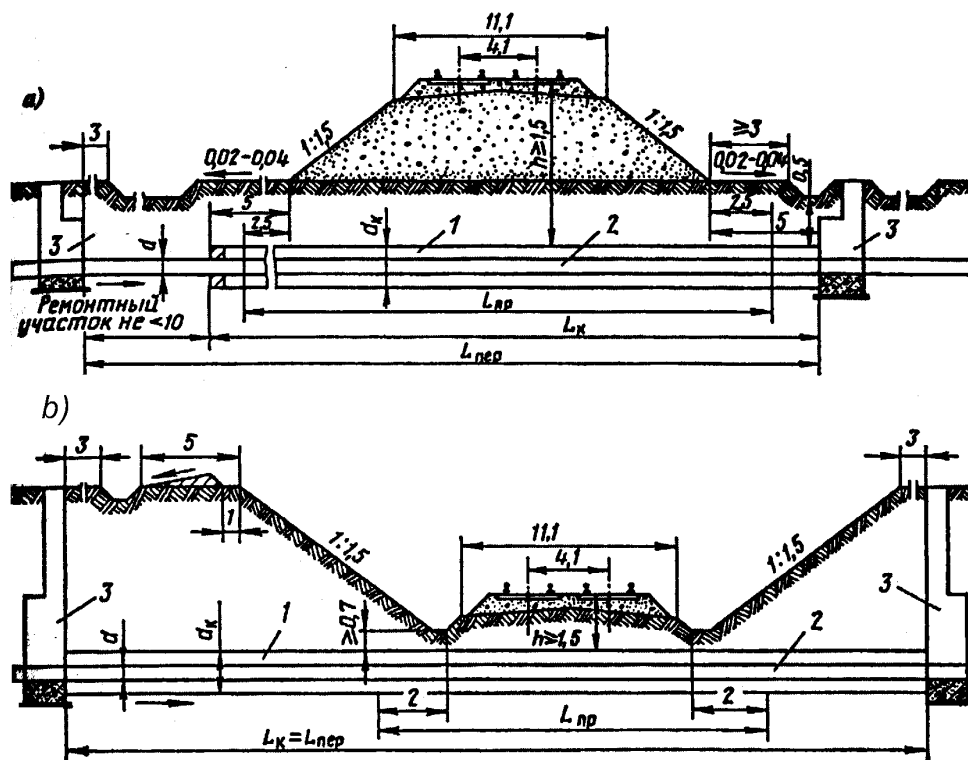


Рис. 11.8. Переходы трубопроводами водоотведения под железнодорожными путями на перегоне:

1 - стальной кожух; 2 - трубопровод водоотведения; 3 - колодцы

Общая длина перехода $L_{\text{пер}}$ складывается из длины кожуха $L_{\text{к}}$ и длины ремонтного участка, принимаемой равной не менее 10 м. На ремонтном участке рабочие трубы при необходимости могут быть заменены без разрушения колодца. Концы кожуха обычно выводят не менее чем на 5 м за подошву насыпи или на расстояние не менее 3 м за бровку откоса выемки. Конец кожуха с низовой стороны выводят в колодец для наблюдения за работой кожуха при прорыве трубопровода. Конец кожуха с верховой стороны забивают тощим бетоном (см. рис. 11.8) или также вводят в смотровой колодец.

Переходы под автомобильными дорогами принципиально не отличаются.

Типовой переход под станционными путями при длине проходки более 50 м с кожухом, представляющий собой тоннель, стенки которого собраны из бетонных блоков. Тоннель сооружают способом щитовой проходки. Расстояние до верха тоннеля должно быть не менее 2 м. При меньшей длине проходки на станции кожух выполняется из стальной трубы, что всегда применяется на деповской территории, поскольку здесь имеется возможность уменьшить длину проходки установкой промежуточного колодца.

11. 4 Устройства для отведения воды в железнодорожных тоннелях и в метрополитенах

На косогоре над перегонным тоннелем предусматривается сеть нагорных канав (с уклоном не менее 0,03 - 0,04), перехватывающих и отводящих атмосферные осадки за пределы расположения тоннеля. Внутри тоннеля вода образуется вследствие конденсации газов при разности температур в тоннеле и вне его, а также из-за просачивания подземной воды в дефектных местах обделки и от остатков воды образующейся при мытье тоннеля.

Для сбора и удаления воды, попадающей в тоннель, в его конструкции предусматривается устройство водоотводных лотков. В однопутных тоннелях лоток размещают вдоль одной из стен, а в двухпутных по оси междупутья. В тоннелях, расположенных в местностях с суровым климатом и, особенно, в коротких тоннелях, когда есть опасность замерзания воды в лотках, они утепляются. На рис. 11.9, а представлен утепленный лоток 1 размерами 30x30 см, расположенный в однопутном тоннеле. Вода стекает по бетонному слою 3, уложенному с поперечным уклоном 0,02 под балластным слоем, и через боковые отверстия 2 попадают в лоток. Над лотком находится слой отсортированного шлака, защищенного сверху крышками. Вместо шлака рекомендуется также применять пенопласт. Для очистки и осмотра лотков по его длине через каждые 25 м устраивают смотровые колодцы сечением 60x100 см с отстойной частью глубиной 15 см.

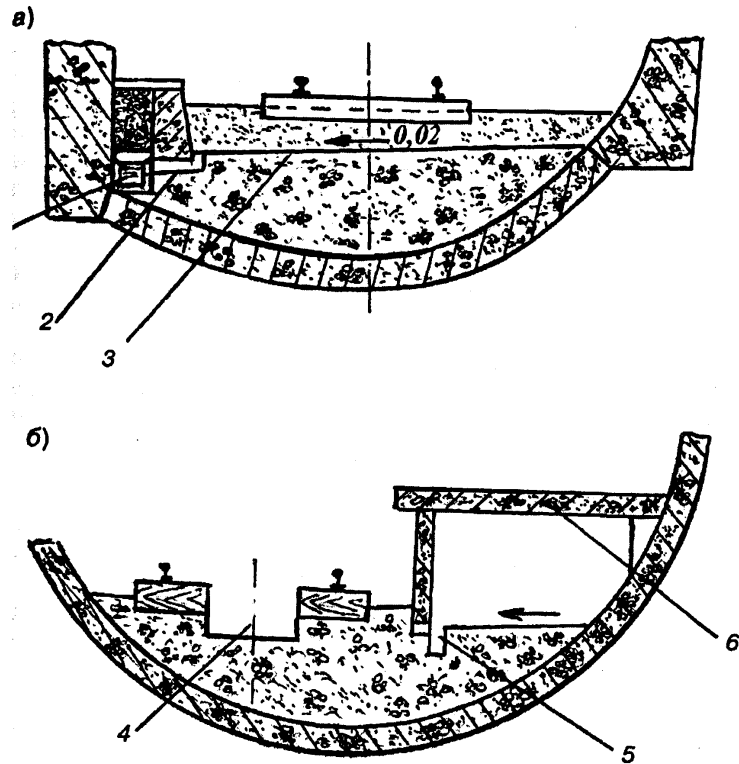


Рис. 11.9. Отведение воды на перегоне в тоннеле железной дороги (а) и в метрополитене (б);

1 – утепленный лоток; 2 - боковые отверстия; 3 - сток воды по слою бетона; 4 - водоотводной канал; 5 - водоотводной лоток под платформой на станции; 6 – платформа

В перегонных тоннелях метрополитенов по оси пути устраивают открытый водоотводный канал 4 шириной 0,9 м и глубиной 0,5 м (рис. 11.9, б), поверхности бетона между шпал придают поперечный уклон 0,02 -0,025, а продольный уклон канала должен быть не менее 0,003. На станциях метрополитена водоотводные лотки 5 располагают также под платформами 6. Сюда же поступает вода от приемных трапов на платформе. Эти трапы расположены через 15 - 20 м.

Кроме этого на станциях метрополитенов предусматриваются санузлы для обслуживающего персонала. Сточная жидкость из санузлов, расположенных глубоко под землей, перекачивается насосами в городскую систему водоотведения по напорным трубопроводам диаметром 100 мм, размещенным в свою очередь в скважинах диаметром 300 мм.

11.5 Особенности устройства сетей водоотведения в условиях сурового климата и вечной мерзлоты

Процессы промерзания и оттаивания вечномерзлых грунтов сопровождаются резким изменением их физико-механических свойств. При этом происходят пучение и просадки грунтов, образование трещин и наледей, термокарстовых провалов, оползней и другие явления.

Пучение грунтов происходит вследствие увеличения объема частиц воды, находящихся в грунте при его замерзании. При оттаивании пучинистых грунтов наблюдаются просадки, которые нередко вызывают разрушение сооружений и трубопроводов.

В зависимости от состава грунты по степени просадочности разделяют на четыре категории ¹⁾. К I категории относят непросадочные грунты, ко II категории - малопросадочные, у которых осадка при оттаивании составляет менее 10 % мощности оттаявшего слоя, к III- категории - грунты льдонасыщенные, дающие значительные осадки, и к IV категории - грунты, содержащие крупные включения подземного льда, при таянии которого образуются провалы и проседания участков земли (термокарсты).

¹⁾ *Ястребов А.Л. Инженерные коммуникации на вечномерзлых грунтах. Л., Стройиздат, 1972. – 175 с.*

При замерзании насыщенных водой грунтов возможно образование морозобойных трещин шириной до 15 - 20 см, которые могут стать причиной разрыва трубопровода.

Способы прокладки трубопроводов в районах вечной мерзлоты и сурового климата отличаются от способов, принятых в обычных условиях. В отличие от других сооружений трубопроводы водоотведения, также как и водоснабжения, необходимо предохранить от промерзания и в то же время исключить тепловое и гидравлическое влияние этих трубопроводов на основания фундаментов ближайших зданий и сооружений.

В районах распространения вечномерзлых грунтов сети водоотведения обычно проектируют по неполной раздельной системе. При этом укладывают одну общую сеть труб для сбора и отведения бытовых и производственных стоков. Дождевые воды, учитывая высокую стоимость строительства и эксплуатации канализации в условиях вечной мерзлоты, обычно отводят в водоемы или овраги при помощи канав и кюветов. При трассировании трубопроводов следует стремиться к максимальному сокращению их протяженности и по возможности избегать участков, на которых мерзлотно-грунтовые условия неоднократно меняются.

Для самотечных сетей разрешается применять полиэтиленовые и чугунные трубы с резиновыми уплотнительными манжетами. для напорных сетей - стальные и пластмассовые трубы, а при укладке напорных линий в проходных каналах - чугунные трубы.

Способы прокладки наружных сетей водоотведения, зависят от характера застройки, мерзлотно-грунтовых условий и рельефа местности. Применяют подземную прокладку в траншеях или каналах и наземную с обваловкой труб валиками. Наибольшее распространение в системах водоотведения имеет подземная, особенно бесканальная прокладка трубопроводов, создающая условия для беспрепятственного самотечного движения сточных вод. При этом в населенных пунктах предпочтение отдают совместной укладке труб в зоне теплового влияния теплотрассы. Бесканальная прокладка рекомендуется в основном в грунтах I и II категорий (по степени просадочности), в грунтах III и IV категорий ее применяют только при диаметрах труб до 300 мм.

Схема подземной бесканальной прокладки чугунных труб водоотведения представлена на рис. 11.10, а. Укладка труб 2 производится в слое глинобетона 3, под ним в траншею предварительно засыпается замененный непросадочный грунт 4 на глубину промерзания земли. Сверху насыпается местный грунт - 1.

Наиболее удобны каналы для совместной прокладки разных инженерных коммуникаций. Однако следует иметь, что сети водоотведения в одном проходном канале с хозяйственно-питьевым водопроводом допускается только после согласования в каждом отдельном случае с санитарными органами. Совместная прокладка водопровода и

канализации в непроходных каналах вообще не разрешается. В этом случае каналы должны быть отдельными или иметь глухую перегородку.

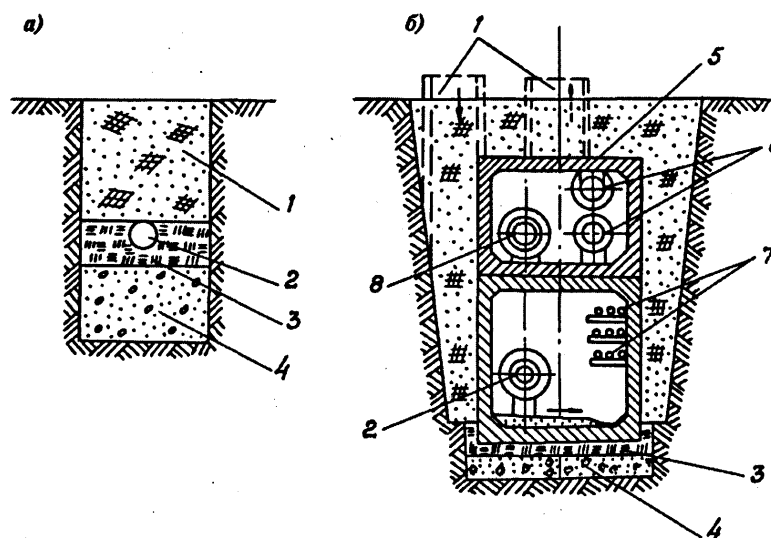


Рис. 11.10. Подземная бесканальная прокладка труб водоотведения (а) в местностях с вечномёрзлыми грунтами:

1 - засыпной местный грунт; 2 - трубопровод; 3 - слой глинобетона; 4 - замененный непросадочный грунт

Схема проходного канала для укладки труб разного назначения (б):

1 - вентиляционные каналы; 2 - трубы водоотведения; 3 - глинобетон; 4 - замененный непросадочный грунт; 5 - короб канала; 6 - теплосеть; 7 - электрические и телефонные кабели; 8 - водопровод. осадка; 9 - бункер для воды (фугата)

На рис. 11.10, б представлена схема двухъярусного проходного канала 5 в верхнем ярусе которого, кроме труб теплосети 6, расположен водопровод 8, а в нижнем ярусе электрические и телефонные кабели 7 и трубы водоотведения 2. Под каналом укладывается слой глинобетона 3 и при необходимости замененный грунт 4.

Наземный и надземный способы укладки труб сетей водоотведения применяются в основном для напорных систем за пределами населенных мест. Они принципиально не отличаются от способов, применяемых для прокладки водопроводов.

Для предохранения воды в трубах от замерзания целесообразно начальные участки сети присоединять к объектам с постоянным устойчивым водоотведением - к промышленным предприятиям, ТЭЦ, баням, прачечным, крупным массивам жилых домов и т. д. При отсутствии такой возможности участки с малыми и неравномерными расходами следует предохранять от замерзания путем укладки труб в зоне теплового влияния теплосетей или путем применения тепловой изоляции, электрообогрева и т. д.

За рубежом в условиях вечной мерзлоты иногда используют циркуляционную схему водоотведения вместо тупиковой. При этой схеме в часы минимальных расходов часть воды из сборного резервуара, расположенного в конце сети перед очистными сооружениями, частично перекачивается в начало самотечного коллектора.

При проектировании водоотводных сетей в условиях вечной мерзлоты следует стремиться к уменьшению числа колодцев. Колодцы устраивают из монолитного железобетона или из сборных железобетонных элементов с плотным замоноличиванием

стыков между ними. При наличии под основанием колодцев грунтов III и IV категорий (по степени просадочности) производят замену этих грунтов непросадочными. Во избежание скопления воды в колодцах при засорениях труб, что может повлечь за собой дополнительное оттаивание грунтов и провал колодцев, лотки внутри колодцев не устраивают. Вместо них в колодце укладывают стальные трубы с ревизией, т.е. с ответвлением, закрытым сверху съёмной крышкой.

12. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

12.1 Расположение сетей водоотведения в плане и профиле

Проектирование сетей водоотведения начинается с трассирования. Под трассированием сети в период ее проектирования понимают нанесение осей трубопроводов на план населенного пункта, железнодорожной станции или промышленного предприятия. В основу проектирования сетей водоотведения положен по возможности принцип самотечного водоотведения сточной воды с данного объекта с наименьшими заглублениями трубопроводов или дна канав и кюветов.

При необходимости очистки воды сначала выбирают площадку для расположения очистных сооружений и место выпуска сточных вод в водный объект или точку присоединения сети водоотведения к городской канализации.

Если воду предполагается отводить от населенного пункта, то его разделяют на бассейны водоотведения, как показано на рис. 10.6. Эти бассейны ограничены водоразделами, тальвегами, берегами водоемов и водотоков, т.е. фактически совпадают с границами поверхностного стока.

Трассирование начинается с нанесения на генплан главного коллектора - 7, который располагается в самых низких точках местности, обычно вдоль берега водоема или водотока. Далее на план наносятся коллекторы бассейнов водоотведения - 10, уличные коллекторы - 4 и уличные магистрали - 3. При трассировании для уменьшения глубины заложения труб, все коллекторы стремятся размещать, по возможности, перпендикулярно к горизонталям или под углом наиболее близким к прямому. В ряде случаев приходится предусматривать устройство насосных станций перекачки. Такие станции обычно располагаются в местах большого заглубления коллекторов - 6, перед подачей на очистные сооружения - 2 (главная насосная станция) или при переброске сточных вод из одного коллектора водоотведения в другой - районные станции перекачки - 9. После насосных станций вода часто подается дальше по напорным трубопроводам - 8 (рис. 10.6).

Трассирование сетей следует сопровождать сравнением вариантов с целью выбора наиболее экономичных направлений расположения трубопроводов или способов дальнейшего транспортирования воды (под напором насосов или самотеком).

Уличную сеть водоотведения в населенном пункте принято наносить на план тремя способами: по объемлющим квартал линиям (на рис. 10.6, справа по течению реки), по пониженной грани квартала (на рис. 10.6, слева по течению реки) и через кварталным способом. В первом случае уличные коллекторы и магистрали предусматривается уложить по всем улицам и поэтому выпуски из внутриквартальных сетей располагаются со всех сторон квартала, а образующиеся в домах сточные воды и атмосферные осадки с прилегающих площадей направляются по кратчайшему расстоянию в ближайший подземный трубопровод. Схема применяется при сравнительно плоском рельефе местности со средним уклоном поверхности земли не более 0,007...0,01.

При трассировании сетей по пониженной грани квартала уличные магистрали

расположены в основном только с одной (низовой стороны) квартала, куда и направляется вода из выпусков всех зданий и атмосферные стоки, текущие внутри квартала по трубам или лоткам. При через кварталном трассировании уличных магистралей чаще всего вообще не предусматривается, они заменяются трубопроводами, проложенными внутри кварталов и присоединенными к уличным коллекторам. Этот способ трассирования имеет экономические преимущества, но применяется в основном на стадии технического проекта, когда застройка внутри кварталов вполне определена.

В поперечном сечении сети производственно-бытового водоотведения укладываются, как правило, вне проезжей части дорог, в зеленых или технических зонах параллельно линиям застройки. Сети для отведения дождевых вод могут быть уложены и под проезжей частью.

При ширине улиц более 30 м и большом числе выпусков допускается укладка трубопроводов водоотведения с двух сторон улиц. Расстояния в плане (в свету) от трубопроводов производственно-бытовой канализации до обреза фундаментов зданий и сооружений для безнапорных линий должно быть 3 м, а для напорных трубопроводов 5 м. Минимальные расстояния от оси железнодорожного пути до труб водоотведения составляют 4 м и не менее глубины траншеи, а от бордюрного камня автомобильных дорог до стенки трубы примерно 1,5 м.

Выше указывалось, что на сетях водоотведения в местах присоединения притоков, в точках поворотов, изменения диаметров труб или их уклонов устанавливаются колодцы. Между колодцами трубы прокладываются строго прямолинейно и с определенным расчетным уклоном. Присоединения боковых линий в колодцах разрешается делать под уклоном не более 90° по отношению к основной магистрали. При наличии в колодцах вертикальных перепадов присоединения могут быть выполнены и под углом больше 90° . Расстояние между колодцами, в которых предусмотрено присоединение боковых линий называется длиной расчетного участка. Сопряжение труб на границах этих участков выполняется, как правило, по шельгам, т.е. по верхним образующим трубопровода (рис. 12.1 б, в).

В случае, если в колодце при сопряжении по шельгам возможно образование подпора воды, то сопряжение производится по расчетному уровню воды в трубах (рис. 12.1, а).

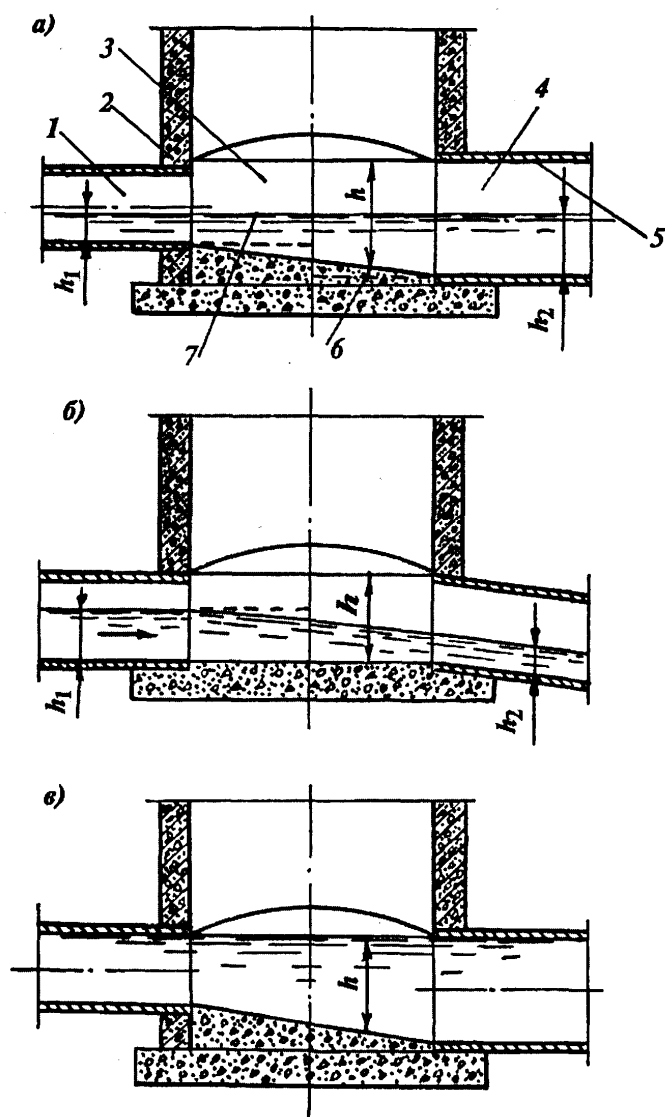


Рис. 12.1. Сопряжение труб в колодцах на границах расчетных участков (а) – по уровню воды; (б) и (в) – по шельгам:
 1 - подводящий трубопровод; 2 - стенка колодца; 3 - лоток в колодце; 4 - отводящий трубопровод; 5 - шельга трубы; 6 – дно лотка; 7 – уровень воды в лотке

Важное значение при проектировании сети водоотведения имеет рациональный выбор уклона труб. Если в начале расчетного участка труба заложена на минимально-допустимую величину (рис. 12.2, а), то желательно, если это допустимо по скорости течения воды, предусматривать на данном участке укладку трубопровода с уклоном i , равным уклону поверхности земли i_3 . При превышении этого уклона труба будет излишне заглублена, а укладка труб с меньшим уклоном приведет к недопустимой малой глубине заложения $H < H_{\text{мин}}$. Если же в начале участка заложение трубы $H > H_{\text{мин}}$ (рис. 12.2, б, в), то уклон трубы на данном участке должен быть минимально допустимым $i = i_{\text{мин}}$, поскольку это дает возможность уменьшить глубину заложения трубы на участке и сократить объем земляных работ. Аналогичная картина наблюдается при “обратном”

уклоне, т.е. когда отметки поверхности земли по длине участка возрастают (рис. 12.2, г).

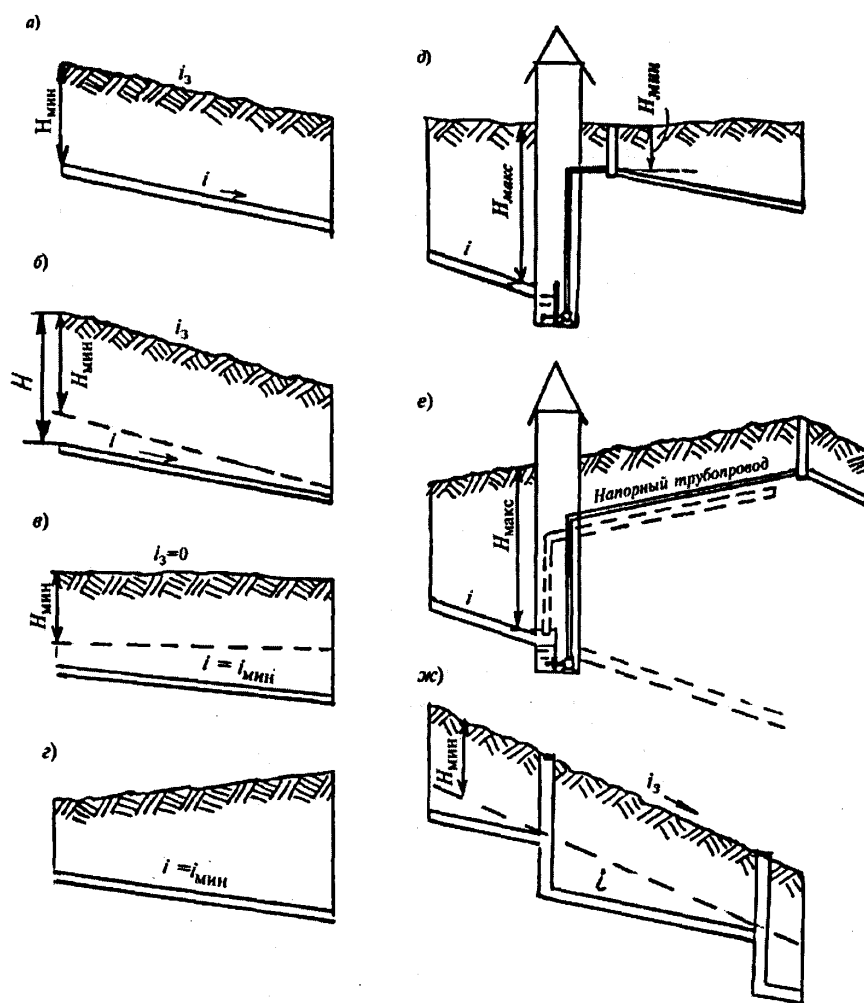


Рис. 12.2. Рекомендации по выбору уклона укладки труб

Если при проектировании профиля сети водоотведения заглубление труб в землю достигнет максимально-допустимой величины $H_{\text{макс}}$, то здесь не исключены различные варианты решений, которые выбираются на основе технико-экономического сравнения вариантов. При этом возможна, например, установка насосной станции для подъема воды снова на глубину $H_{\text{мин}}$ (рис. 12.2, д) или перекачка воды в самую высокую точку профиля трубопровода (рис. 12.2, е), при этом самотечный трубопровод, собирающий воду с близлежащих объектов, может быть направлен в сторону насосной станции. Альтернативным вариантом является также прокладка канализационной сети на больших глубинах при строительстве трубопровода тоннельным способом.

В тех случаях, когда скорости течения в самотечных трубах получаются больше максимально-допустимых приходится укладывать сети водоотведения с перепадами, т. е. специально уменьшать уклоны прокладки труб (рис. 12.2, ж).

При проектировании сетей водоотведения необходимо соблюдать определенные нормативные требования.

Наименьший диаметр труб уличной бытовой сети водоотведения принимается равным 200 мм, а внутриквартальной и производственной сети 150 мм. Для дождевой и

общесплавной уличной сети минимальный диаметр труб - 250 мм, а внутриквартальной - 200 мм.

Наименьшие размеры водоотводных канав и кюветов - ширина по дну 0,3 м, а глубина 0,4 м.

При проектировании предполагается, что трубы производственно-бытовой сети водоотведения будут работать неполным сечением. Это позволяет иметь некоторый запас пропускной способности труб при протекании пиковых расходов и обеспечивает естественную вентиляцию сети. Максимальное относительное наполнение труб h / d , где h - глубина воды в трубе, d - диаметр трубы, равно 0,6 при $d = 150...250$ мм и $h / d = 0,7$ при $d = 300...400$ мм для труб диаметром более 450 мм, максимальное наполнение допускается до 0,75. Полное наполнение труб, т.е. $h / d = 1$, рекомендуется для труб дождевой и общесплавной сети водоотведения при пропуске по ним расчетных расходов.

Расчетное наполнение каналов любой формы поперечного сечения не должно быть более 0,7 высоты, а глубина канав и каналов на территории населенных пунктов не должна превышать 1 м.

Скорости течения воды в трубах и каналах должны быть не менее “незаиливающихся” или как их еще называют самоочищающихся, т.е. не менее таких, при которых не происходит выпадение на дно потока взвешенных веществ.

При расчетных наполнениях труб минимальные “незаиливающиеся” скорости для бытовых и дождевых сетей водоотведения равняются для труб диаметрами $d = 150...250$ мм - 0,7 м/с, для труб $d = 300...400$ мм они составляют 0,8 м/с, для труб $d = 450...500$ мм равны 0,9 м/с, для труб $d = 600...800$ мм - 1 м/с и для труб $d = 900...1200$ мм минимальные скорости должны быть равны или более 1,15 м/с.

Для производственных сточных вод минимальные допустимые скорости течения воды в трубах принимаются по данным эксплуатации сетей на аналогичных предприятиях или по отраслевым нормативам. Опыт эксплуатации сетей водоотведения железнодорожных станций и предприятий железнодорожного транспорта показывает, что для них минимальные незаиливающиеся скорости допустимо принимать такими же как и для бытовой сети водоотведения.

Расчетная скорость течения воды в дюкерах должна назначаться не менее 1 м/с, при этом в трубопроводах, подводящих стоки к дюкеру, скорость течения должна быть не более скорости течения в дюкере, во избежание выпадения в трубах дюкера осадков.

Нормами также ограничены максимальные скорости течения воды в трубах и каналах для того, чтобы не допустить разрушения стенок этих сооружений от истирающего воздействия загрязнений, содержащихся в воде. При движении бытовых вод в металлических трубах максимальная скорость 8 м/с, а при движении дождевых вод - 10 м/с. Соответственно для неметаллических труб эти скорости составляют для бытовых вод 4 м/с и для дождевых вод - 7 м/с. При течении сточных вод в каналах и кюветах максимальные скорости в первую очередь определяются видом грунта и типом его крепления (облицовки) и составляют от 1 м/с до 4 м/с.

Поскольку в самотечных трубах скорости течения определяются уклонами укладки труб, то нормируются также минимальные уклоны труб. Они составляют для труб $d = 150$ мм $i_{\text{мин}} = 0,008$, а для труб $d = 200$ мм $i_{\text{мин}} = 0,007$. При соответствующем обосновании для отдельных участков допускается принимать для труб, $d = 150$ мм $i_{\text{мин}} = 0,007$ и для труб $d = 200$ мм $i_{\text{мин}} = 0,005$. Уклон труб присоединения от дождеприемников до колодцев на коллекторе составляет 0,02. Наименьший уклон открытых лотков, кюветов и канав в зависимости от их облицовки составляет от 0,003 до 0,005.

Глубина заложения труб водоотведения определяется рельефом местности, глубиной выпусков из зданий, климатическими условиями и некоторыми другими факторами.

Минимальная глубина заложения труб может быть несколько меньше глубины промерзания грунта в данном районе, поскольку бытовые сточные воды обычно имеют температуру не ниже 7...8 °С, а стенки неметаллических труб мало теплопроводны.

По СНиП 2.04.03-85 минимальная глубина заложения лотка труб водоотведения может быть принята на основе опыта эксплуатации таких труб в данном районе, а при отсутствии такого опыта на 0,3 м выше для труб d до 500 мм, чем глубина проникновения в грунт нулевой температуры (глубина промерзания грунта). Для труб $d > 500$ мм разрешается закладка лотка труб на 0,5 м выше глубины промерзания грунта. Во всех случаях расстояние от поверхности земли до верха трубы должно быть не менее 0,7 м с целью предохранения труб от разрушения под действием проезжающего транспорта.

При устройстве коллекторов путем щитовой проходки заглубление верха трубы под поверхностью земли должно быть не менее 3 м. Максимальная глубина заложения труб при укладке их в открытые траншеи в слабых грунтах с высоким уровнем грунтовых вод допускается до 5...6 м, а в суглинках и глинах при отсутствии грунтовых вод допустимая глубина достигает 7,5...8 м. При бестраншейных способах прокладки максимальная глубина определяется грунтовыми условиями, но в большинстве случаев она может быть до 20 м и более.

12.2 Нормы водоотведения. Определение расчетных расходов производственно-бытового водоотведения

Под нормой водоотведения понимают объемы воды, поступающие в сети водоотведения, приходящиеся в сутки на одного жителя или на единицу продукции. Нормы водоотведения на одного человека в жилых кварталах условно считают совпадающими с нормой водопотребления и указаны в СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения".¹⁾

¹⁾ СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения/Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985. - 136 с.

Сточные воды поступают в сеть водоотведения неравномерно в разные сутки и в отдельные часы суток. Эта неравномерность обусловлена укладом жизни людей и технологией производственных процессов на предприятиях и учитывается коэффициентами суточной неравномерности $K_{сут}$, как отношение максимальных и средних суточных расходов

$$K_{сут} = Q_{сут.макс.} / Q_{сут.ср.}$$

или аналогичным коэффициентом часовой неравномерности $K_{ч} = Q_{ч.макс.}/Q_{ч.ср.}$. Максимальные расходы, поступающие в сеть водоотведения от жилых кварталов, учитываются коэффициентами общей неравномерности

$$K_{общ} = K_{сут} K_{ч} \quad (12.1)$$

Значение общего коэффициента неравномерности зависит от среднего расхода сточных вод и принимается по СНиП 2.04.03-85.

Значение коэффициентов неравномерности поступления в сеть промстоков от железнодорожных предприятий в первую очередь зависит от технологических процессов

и назначаются в основном по аналогии с подобными действующими предприятиями.

Для расчета сетей производственно-бытового водоотведения в первую очередь определяются расчетные расходы. Обычно это максимальные, иногда средние расходы.

Среднесекундный расход бытовых сточных вод от жилых кварталов населенного пункта определяют в м³/сут по формуле

$$Q_{\text{ср.сут.}} = 10^{-3} n N_p, \quad (12.2)$$

где n - норма водоотведения, л/сут на одного жителя;
 N_p - расчетное число жителей.

Среднесекундный расход бытовых сточных вод в л/с

$$q_{\text{срс}} = \frac{nN_p}{24 \cdot 3600}. \quad (12.2)$$

Максимальный расчетный секундный расход в л/с

$$q_{\text{макс}} = K_{\text{общ}} q_{\text{срс}} \quad (12.4)$$

Для общественно-бытовых зданий в населенном пункте максимальные суточный и секундный расходы соответственно равны:

$$Q_{\text{ср.макс}} = 10^{-3} n_o N_o, \quad (12.5)$$

$$q_{\text{срс}} = \frac{n_q N_1}{3600}, \quad (12.6)$$

где n_o - норма расхода воды на единицу измерения в сутки максимального водоотведения, л;
 N_o - число единиц измерения за время работы объекта в сутки, например сухого белья в кг и т.д.;
 n_q - норма расхода воды в час максимального водоотведения, л.

Нормы расхода воды n_o и n_q принимаются по СНиП 2.04.03-85 “Внутренний водопровод и канализация зданий”¹⁾. Например, для бань при продолжительности их работы $T = 12$ ч в сутки $n_o = n_q = 180$ л/чел, для больниц $n_o = 200$ л/чел и $n_q = 12$ л/чел, для школ $n_o = 20$ л/чел и $n_q = 2,7$ л/чел и т. д.; N_1 - число единиц измерения в час наибольшего водоотведения.

¹⁾ СНиП 2.04.03-85. Внутренний водопровод и канализация зданий. -М.: Гос. комитет СССР по делам строительства, 1986.

Расходы сточных вод от общественно-бытовых зданий (бань, прачечных, больниц, клубов, школ) входят в норму водоотведения n на одного жителя и потому их определяют

отдельно только в тех случаях, когда они учитываются при расчете как сосредоточенные.

При расчете бытовых сетей обычно пользуются удельным расходом сточных вод $q_{уд}$, под которым понимают средний расход в л/с, приходящийся с 1 га жилой застройки.

$$q_{уд} = \frac{10^{-3} Q_{срсут}}{24 \cdot 3600 F}, \quad (12.7)$$

где F - площадь жилой застройки, га.

Если при расчете расходы от общественно-бытовых объектов, входящие в норму водоотведения, учитывают как сосредоточенные расходы, то формула (12.7) примет вид

$$q_{уд} = \frac{10^{-3} (Q_{срсут} - Q_{соср})}{24 \cdot 3600 F}, \quad (12.8)$$

где $Q_{соср}$ - сосредоточенные расходы от общественно-бытовых объектов.

Расход сточных вод от промышленного предприятия определяют по сменам

$$Q_{см.ср} = 10^{-3} (n_{г} N_{г} + n_{х} N_{х}) + 10^{-3} n_{д} N_{с} t_{д} + n_{пр} M, \quad (12.9)$$

- где $n_{г}$ и $n_{х}$ - нормы водоотведения бытовых вод на одного человека соответственно в горячих и холодных цехах, л/смену; $n_{г} = 45$ л/чел и $n_{х} = 25$ л/чел
- $N_{г}$ и $N_{х}$ - число работающих в смену соответственно в горячих и холодных цехах;
- $n_{д}$ - норма водоотведения душевых вод от одной душевой сетки, л/ч ($n_{д} \approx 500$ л/ч);
- $N_{с}$ - число душевых сеток на предприятии;
- $t_{д}$ - время работы душей после смены ($t_{д} = 45$ мин = 0,75ч);
- $n_{пр}$ - норма водоотведения на единицу продукции, м³;
- M - число единиц продукции, выпускаемой в смену.

Максимальный секундный (расчетный) расход бытовых сточных вод на промышленном предприятии в л/с

$$q_{прмакс} = \frac{n_{г} N'_{г} + n_{х} N'_{х}}{3600} + 0,2 N_{с} + \frac{Q_{см} K_{ч} \cdot 1000}{3600 T_{см}}, \quad (12.10)$$

- где $N'_{г}$ и $N'_{х}$ - максимальное число работающих в смену, чел;
- $Q_{см}$ - расход производственных вод в максимальную по производительности смену, л/смену;
- $K_{ч}$ - коэффициент часовой неравномерности;
- $T_{см}$ - продолжительность смены, час.

12.3 Формулы, таблицы и графики, используемые при расчете производственно-бытовой сети водоотведения

Режим течения сточных вод по трубам, как правило, турбулентный, движение воды к тому же неустановившееся. Однако при расчете сетей водоотведения повсеместно принято считать движение воды в трубах равномерным. Это значительно упрощает расчеты и не вызывает каких либо заметных погрешностей, поскольку расходы сточных вод определяются весьма приближенно и уточнение самой процедуры расчетов не имеет смысла.

С учетом равномерного течения воды гидравлический расчет труб производят по формулам:

$$Q = v \cdot \omega, \quad (12.11)$$

где Q - расход сточных вод на данном участке, $\text{м}^3/\text{с}$;
 v - скорость течения воды, $\text{м}/\text{с}$;
 ω - площадь живого сечения воды в трубе, м^2 .

При безнапорном равномерном течении воды в трубах гидравлический уклон i на рассматриваемом участке равен уклону дну трубы и уклону поверхности воды в трубе, т.е.

$$i = H / l, \quad (12.12)$$

где H - разность отметок дна трубы в начале и в конце участка или, так называемое “падение” дна трубы, м ;
 l - длина участка, м .

Местные потерн в трубопроводе, как обычно определяются по формуле

$$h_M = \zeta v^2 / 2 g, \quad (12.13)$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления.

Определение скоростей течения воды в формуле (12.11) производится по известным уравнениям гидравлики. Практически расчеты сетей водоотведения осуществляются не по формулам, а по таблицам¹⁾ или графику²⁾, представленному на рис. 12.3.

¹⁾ Федоров Н.Ф., Волков Д.Ж. Гидравлический расчет канализационных сетей. Расчетные таблицы. -4.е изд. - Л.: Стройиздат, 1968.- 240 с.

Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. -5.е изд. - М.: Стройиздат, 1987. - 156 с.

Алексеев М.И. , Кармазинов Ф.В., Курганов А.М. Гидравлический расчет сетей водоотведения.- Справочное пособие. Часть 2. С. - Петербург, 1997. - 362 с.

²⁾ Дикаревский В.С. Графики для расчета канализационных сетей/ Реф. сборник "Проектирование водоснабжения и канализации". Вып.1. М.: ЦИНИПС и А,1975, с. 6...9.

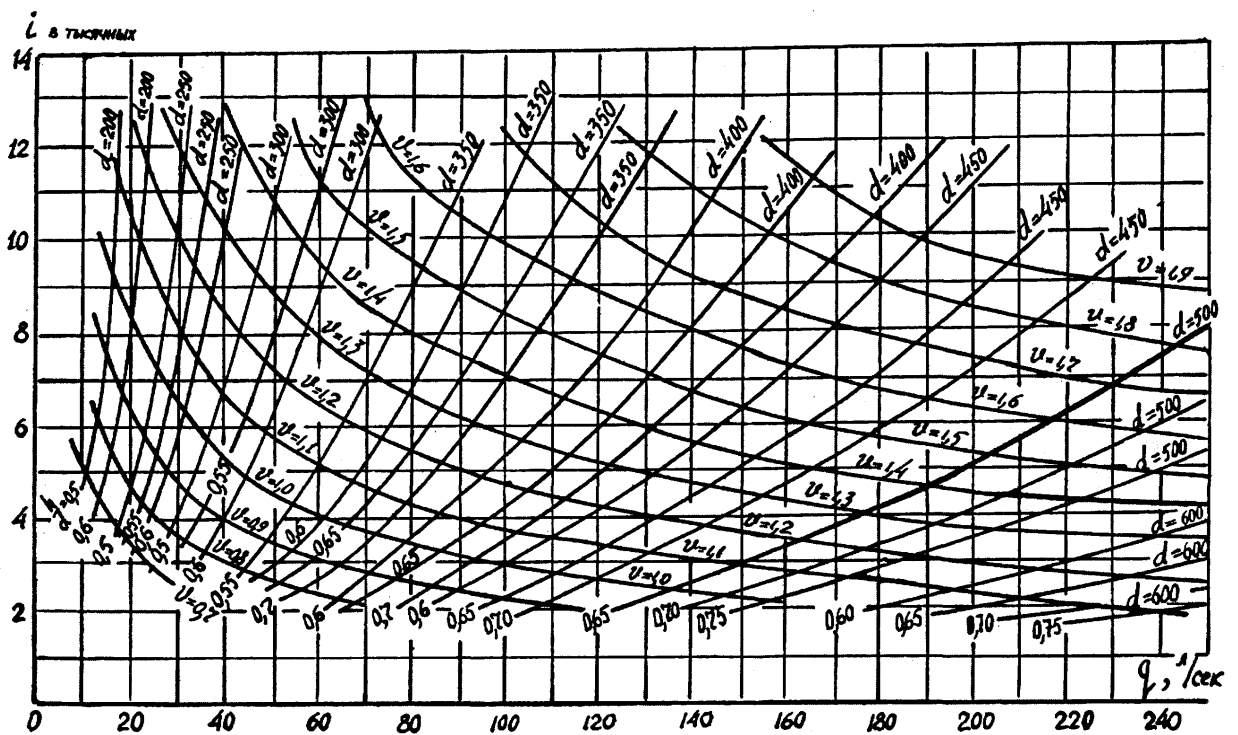


Рис. 12.3. График для расчета бытовых сетей водоотведения

12.4 Порядок гидравлического расчета производственно-бытовой водоотводящей сети

Целью гидравлического расчета сети является определение диаметров, уклонов укладки труб и глубин их заложения в землю, а также для проверки выполнения требований СНиП в отношении нормативных скоростей течения воды и степеней наполнения труб на расчетных участках.

Перед расчетом все кварталы населенного пункта разбиваются на так называемые, площади стока и вычисляются величины этих площадей. Разбивка кварталов на площади стока зависит от способа трассирования уличных сетей. При трассировании по объемлющим квартал линиям (см. левый берег поселка на рис. 12.4) из всех углов квартала проводятся биссектрисы до их пересечения друг с другом и вершины полученных треугольников соединяются. При трассировании по пониженной грани квартала они на площади стока или вообще не разбиваются, поскольку предполагается, что сточные воды из всех внутриквартальных зданий стекают в уличные магистрали, расположенные с нижележащей стороны квартала, или выделяются участки площадей стока, прилегающие к близкорасположенным уличным магистралям и коллекторам, как показано на правом берегу плана поселка на рис. 12.4. Все кварталы населенного пункта нумеруются, а площади стока обозначаются буквами. Например, на участке 1-2 вода поступает с площади стока 10, на участке 2-7 с площадями стока 11^б и 13^б, а расход с площадей стока 10 и 12 проходит по этому участку транзитом.

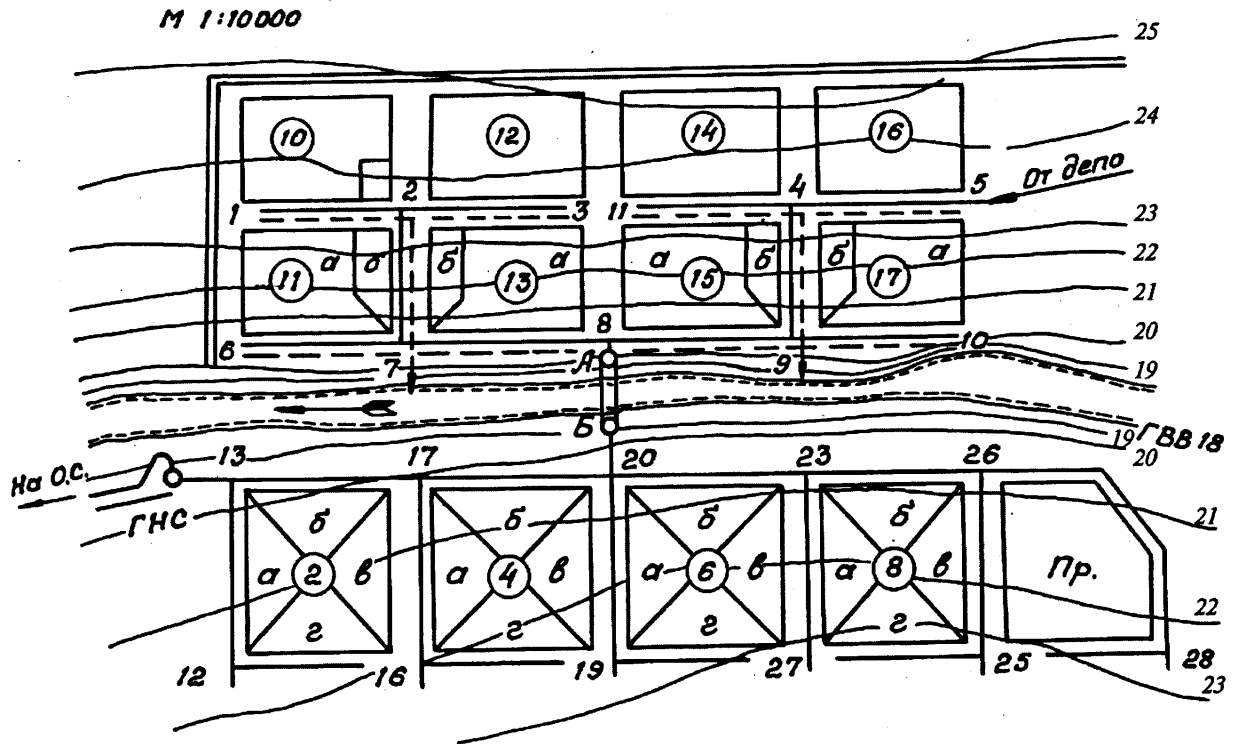


Рис. 12.4. Схема к примерам расчета бытовой и дождевой сетей

Глубина заложения труб в самой удаленной точке коллектора (начальная) вычисляется по формуле (см. рис. 10.5, а):

$$H = h_B + i l + z_1 - z_2 + \Delta, \quad (12.14)$$

- где
- h_B - наименьшая глубина заложения трубы в наиболее удаленной площади стока, м;
 - i - уклон внутриквартальной сети; для труб $d = 150$ мм $i = 0,008$;
 - l - длина внутриквартальной сети, м;
 - z_1 и z_2 - отметки поверхности земли у начала уличного коллектора и в самой удаленной точке квартала, м;
 - Δ - перепад между дном внутриквартальной и уличной сети труб, обычно определяется как разность диаметров уличной и внутриквартальной сети.

В приводимом ниже примере для точки 1 на плане населенного пункта:

$h_B = 0,85$; $l = 100$ м; $z_1 = 23,5$ м; $z_2 = 24,7$ м; $\Delta = 0,1$ м, тогда $H = 0,85 + 0,008 \times 100 + 23,5 - 24,7 + 0,1 = 0,55$ м.

Исходя из требований механической прочности труб принимаем минимально-допустимую глубину заложения лотка труб $H = 0,7 + 0,25 = 0,95$ м.

Начальные участки сети с небольшими расходами сточных вод (менее 6,5 л/с), на которых скорости течения воды в трубах получаются меньше минимально допустимых, считаются безрасчетными. На таких участках предусматривается укладка труб диаметром $d = 200$ мм с уклоном не менее 0,007 (при обосновании 0,005) и скорости течения воды на

них не определяют.

Гидравлический расчет обычно выполняют в виде таблицы (см. табл.12.1). Пример заполнения которой, применительно к правобережным сетям (рис. 12.4) следующий.¹⁾ Пользуясь данными, приведенными на плане в горизонталях заполняются графы 1, 2, 3, 9, 10, 11, 13, 19 и 20. В представленном на рис. 12.4 примере в точке 2 в коллектор принимается вода от бани с расходом 21,25 л/с. Средний собственный расход от жилых кварталов (графа 4) получают умножением удельного расхода сточных вод (12.7) или (12.8) на площадь стока, прилегающую к данному участку сети. Суммарный средний расход на участке (графа 6) получают путем сложения среднего собственного расхода с расходом от притоков (графа 5). В зависимости от суммарного среднего расхода по данным СНиП 2.04.03-85 "Канализация" подбирают общий максимальный коэффициент неравномерности притока сточных вод $K_{общ}$ и заполняют графу 7. Расчетные расходы с кварталов получают перемножением среднего суммарного расхода и коэффициента $K_{общ}$ и заносят их в графу 8. Общий расчетный расход сточных вод (графа 12) вычисляется суммированием данных граф 8 и 11. Начальная глубина заложения труб, подсчитанная по формуле (12.14) заносится в первую строку графы - 26.

¹⁾ *Проектирование и расчет сетей водоотведения. Метод. указания для курсового и дипломного проектирования./ В.С.Дикаревский, Н.Н.Павлова, Т.Б.Шумейко. - СПб.: ПГУПС, 1994. - 41 с.*

Падение дна канала (графа 15) является произведением принятого уклона дна канала (графа 14), который согласуется с уклоном земли, на длину участка (графа 13). На участке 1-2 расчетный расход составляет 23 л/с. Поскольку уклон земли на этом участке равен нулю, то трубы укладываются с минимально-допустимым уклоном 0,004, при этом диаметр труб $d = 0,25$ м, скорость течения по таблицам Н.Ф.Федорова равна 0,8 м/с, глубина потока в долях диаметра составляет 0,58, т.е. в данном случае 0,15 м. Все эти параметры выписываются из расчетных таблиц или принимаются по графику и заносятся соответственно в графы 16, 17, 18 и 25.

Таблица 12.1

Обозначение участка сети	Номера площадей стока и сосредоточенных расходов		Средний расход сточных вод от жилых кварталов, л/с			Общий коэффициент неравномерности
	Собственных	притоков	собственных	от притоков	суммарный	
1	2	3	4	5	6	7
1-2	10, баня	-	0,7	-	0,7	2,5
3-2	12	-	0,7	-	0,7	2,5
2-7	116, 136, баня	1-2 3-2	0,32	1,4	1,72	2,5
6-7	11а	-	0,54	-	0,54	2,5
7-8	13а	2-7 6-7-	0,54	2,26	2,8	2,5

Продолжение таблицы 12.1

Расчетные расходы, л/с		Общий расчетный			Длина участка, l	Уклон дна канала, i	Падение дна канала, i l, м	Диаметр канала d, м
От жилых кварталов	Сосредоточенные собственные	от притоков	суммарные	расход				
8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,75	21,25	-	21,25	23,0	120	0,004	1,48	0,25
1,75	-	-	-	1,75	120	0,007	0,84	0,2
4,3	-	21,25	21,25	25,55	120	0,018	2,16	0,25
1,35	-	-	-	1,35	120	0,007	0,84	0,2
7,0	-	21,25	21,25	28,25	190	0,004	0,76	0,30

Продолжение таблицы 12.1

Глубина потока		Отметки, м					
в долях от диаметра, h/d	в метрах, h	поверхности земли		шелыги трубы		дна трубы	
		в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
17	18	19	20	21	22	23	24
0,58	0,15	23,5	23,5	22,8	22,32	22,55	22,07
0,18	0,04	23,5	23,5	22,8	21,96	22,6	21,76
0,4	0,1	23,5	20,5	21,95	19,79	21,70	19,54
0,16	0,03	20,6	20,5	19,9	19,16	19,7	18,96
0,59	0,18	20,5	20,4	19,11	18,35	18,81	18,05

Продолжение таблицы 12.1

Скорость, м/с	Глубина заложения дна канала, м			Уклон земли, i _з
	в начале	в конце	средняя	
25	26	27	28	29
0,8	0,95	1,43	1,19	0
-	0,9	1,74	1,32	0
1,38	1,80	0,96	1,38	0,025
-	0,9	1,54	1,22	0,0005
0,8	1,69	2,35	2,02	0,0005

Отметка дна канала в начале коллектора в точке 1 (графа 23) определяется как разность отметок поверхности земли в этой точке и начального заглубления трубы Н (графа 26). Отметка дна трубы в конце участка получается, если от отметки дна трубы в начале отнять падение (графа 15). Отметки шелыги трубы в начале и в конце участка (графы 21 и 22) определяются путем суммирования этих отметок с диаметром трубы. Соответственно глубины заложения дна труб в начале и в конце участка определяются путем вычитания из отметок поверхности земли отметок дна труб на концах участка.

Участок 3-2 является безрасчетным, поскольку расход воды в нем менее 6,5 л/с, диаметр труб на этом участке принимается минимальным - 0,2 м, а уклон дна труб должен быть по возможности равен уклону земли, но не менее 0,007, что позволяет избежать излишних заглублений труб.

Сопряжение труб на границе участков в точке 2 производится по поверхности воды. Для этого сначала определяется диаметр, уклон труб и наполнение их h/d и h на этом участке 2 - 7, а затем вычисляется отметка дна труб в начале этого участка. Во избежание подпора воды при сопряжении труб отметка дна в начале участка 2 - 7 понижена на разность глубин потока в трубах на участках 2 - 7 и 3 - 2, т.е. в данном случае на величину $0,1 - 0,04 = 0,06$ м. Далее расчет сети производится аналогично вышеизложенному.

Самотечные коллекторы, трубы и каналы требуется также проверять на пропуск суммарного максимального расхода производственно-бытовых вод и дополнительного притока поверхностных вод в периоды дождей и снеготаяния, неорганизованно поступающих в сети водоотведения через неплотности люков колодцев и за счет инфильтрации грунтовых вод. Величина дополнительного притока воды определяется на основе специальных исследований или в крайнем случае вычисляется по формуле:

$$Q_{ad} = 0,15L\sqrt{m_d} \quad \text{дм}^3/\text{с}, \quad (12.15)$$

где L - общая длина трубопровода или канала до рассчитываемого сечения, км;
 m_d - максимальное суточное количество осадков ¹⁾, мм.

1) СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. - М.: Госстрой СССР, 1983.

Проверочный расчет самотечных трубопроводов на пропуск указанного выше увеличенного расхода осуществляется при условии наполнения канала или трубы до 0,95 его высоты или диаметра.

На основе данных табл. 12.1. строятся продольные профили коллекторов, пример одного из них показан на рис. 12.5.

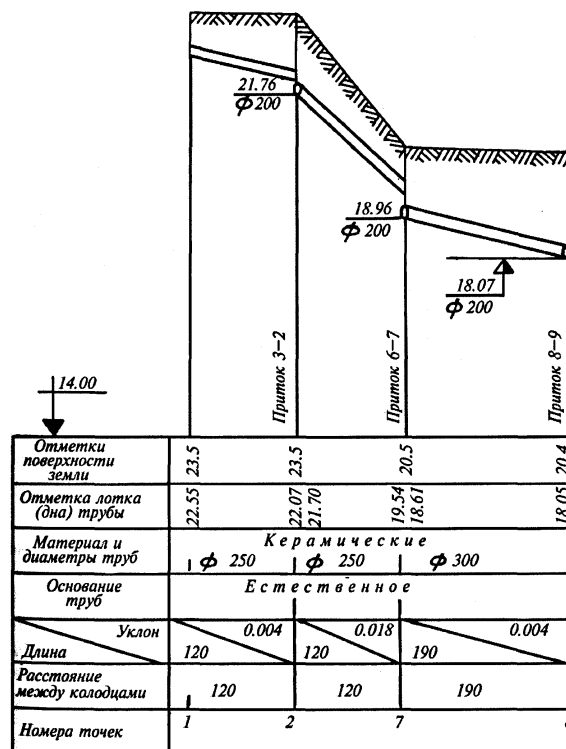


Рис. 12.5. Продольный профиль правобережного коллектора 1-8 (пример)

Расчет сети водоотведения предпочтительно выполнять на компьютерах. На кафедре “Водоснабжение и водоотведение” ПГУПС составлены программы гидравлического расчета на персональной ЭВМ IBM-PC производственно-бытовой сети водоотведения в режиме диалога “Человек - ЭВМ” (SD I) и дождевой сети (SD I). Подготовку сети к расчету на компьютере см. в приложении 2.

12.5 Гидравлический расчет дождевой сети водоотведения

Проектирование начинают, как обычно, с нанесения дождевой сети на план местности. Выше указывалось, что при полной раздельной сети водоотведения выпуски атмосферных вод могут быть в конце каждого коллектора (рис. 10.1, а) или с подачей этих вод в перехватывающий дождевой коллектор (рис. 10.1, б) с целью транспортирования их на очистные сооружения.

Разбивка кварталов на площади стока в дождевой сети водоотведения отличается тем, что в площади стока включаются и уличные проезды до осей улиц.

Основная формула для определения дождевых расходов q_r имеет вид

$$q_r = \frac{\beta \cdot z_{mid} \cdot A \cdot F \cdot K}{t_r^{1,2n-0,1}} \quad (12.16)$$

- где
- F - расчетная площадь стока, га;
 - z_{mid} - среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока;
 - t_r - расчетная продолжительность дождя, мин;
 - β - коэффициент, учитывающий заполнение свободной емкости в момент возникновения в ней напорного режима, определяется по СНиП 2.04.03-85 в зависимости от коэффициента n
 - n - климатический коэффициент, зависящий от географического расположения данного населенного пункта;
 - K - коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя на площади стока, только при $F \geq 500$ га, при $F < 500$ га $K = 1$;
 - A - параметр, определяемый по формуле

$$A = 20^n \cdot q_{20} \left(1 + \frac{\lg p}{\lg m_r} \right)^{\gamma}, \quad (12.17)$$

- где
- p - период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, т.е. промежуток времени в годах, в течение которого выпадет хотя бы один дождь с интенсивностью превышающей расчетную. Естественно период p зависит от значимости улиц и площадей, на которые выпадает дождь. Для промышленных предприятий величины p определяется также возможностью нарушения технологических процессов при затоплении промплощадок водой;
 - q_{20} - интенсивность дождя продолжительностью 20 мин при однократном превышении расчетной интенсивности $P = 1$ году, л/с с 1 га;
 - m_r - среднее число дождей в год;

γ - показатель степени, зависящий от географического расположения местности.

Среднее значение коэффициента, характеризующее поверхность бассейна стока Z_{mid} , в случаях, когда поверхность стока неоднородна, определяется по формуле

$$Z_{mid} = \sum z f = z_1 f_1 + z_2 f_2 + \dots + z_n f_n, \quad (12.18)$$

где z_1, z_2, \dots, z_n - коэффициенты, принимаемые в зависимости от рода поверхности (СНиП 2.04.03-85).

f_1, f_2, \dots, f_n - площади различных поверхностей в долях единицы; обычно для населенных пунктов принимается типовой квартал и для него вычисляются площади - f

Неизвестной величиной остается расчетная продолжительность дождя t_r . За основу принят, так называемый, метод "предельных интенсивностей". Согласно этому методу расчетная продолжительность дождя принимается равной времени добегаания капли дождя от самой удаленной точки площади стока до рассматриваемого сечения.

В общем случае, время t_r равняется

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \quad (12.19)$$

где: t_{con} - время поверхностной концентрации, т. е. продолжительность добегаания дождевых капель внутри квартала от места выпадения до уличного лотка или коллектора, мин.

Разрешается при отсутствии внутриквартальных закрытых дождевых сетей принимать $t_{con} = 5 \dots 10$ мин, а при их наличии $t_{con} = 3 \dots 5$ мин. Примерно в таких же пределах принимается t_{con} на железнодорожных станциях и промпредприятиях.

Продолжительность протекания воды по уличным лоткам определяется по формуле

$$t_{can} = 0,021 \sum l_{can} / v_{can}, \quad (12.20)$$

где $0,021$ - коэффициент учитывает постепенное нарастание скоростей течения в лотках;

l_{can} - длина участков лотка, м;

v_{can} - расчетная скорость течения воды в лотках, м/с.

При устройстве внутриквартальной (внутризаводской) дождевой сети или при расчете открытой дождевой сети $t_{can} = 0$.

Соответственно, продолжительность течения дождевых вод по уличным трубопроводам до рассматриваемого сечения будет равна

$$t_p = 0,017 \sum l_p / v_p, \quad (12.21)$$

где l_p - длины отдельных участков коллектора, м;

v_p - скорости течения сточных вод на этих участках, м/с.

Коэффициент 0,017 в формуле (12.21) учитывает возможность возникновения в трубах напорного режима при максимальном стоке, а также постепенное нарастание скоростей в коллекторе. Скорость течения воды v_p при вычислении расчетного расхода первоначально неизвестна, поэтому ей приходится задаваться, а потом сопоставлять расчетный расход (и скорость), соответствующий заданной скорости, с пропускной способностью труб (и скоростью), определенными в процессе расчета.

Для удобства вычислений при неизвестном пока времени t_p целесообразно предварительно определить величину удельного расхода $q_{уд}$, л/с с 1 га при времени протока $t_p = 0$. В таком случае при наличии внутриквартальной сети из формулы (2.16) следует

$$q_{уд} = \frac{\beta \cdot K \cdot z_{mid} \cdot A^{1,2}}{t_{con}^{1,2n-0,1}}, \quad (12.22)$$

При расчете сети расход дождевых вод с площади стока F , при $t_p = 0$ определяется по формуле

$$q_{cal} = q_{уд} F_1.$$

Часто для упрощения расчетов также предварительно вычисляют, так называемый, коэффициент уменьшения расчетной интенсивности дождя который представляет собой отношение действительного расхода дождевых вод к удельному условному расходу при $t_p = 0$ и площади $F = 1$ га. Коэффициент ρ вычисляется для каждого расчетного участка в отдельности по формуле

$$\rho = \left(\frac{t_{con}}{t_{con} + t_p} \right)^{1,2n-0,1}, \quad (12.23)$$

При наличии уличных лотков

$$\rho = \left(\frac{t_{con}}{t_{con} + t_{can} + t_p} \right)^{1,2n-0,1}, \quad (12.24)$$

При вычисленном ρ расчетный расход на участках сети равен

$$q_{cal} = q_{уд} F_1 \rho. \quad (12.25)$$

Гидравлический расчет дождевой сети производится по указанным выше таблицам или по графику, составленном автором главы (рис. 12.6). При расчете предполагается полное наполнение труб. Начальная глубина заложения труб определяется по формуле (12.14) в соответствии со схемой, представленной на рис. 10.5, б. Начальная глубина заложения h может быть принята по условиям механической прочности труб не менее 0,95 м. Расстояние l в формуле (12.14) равно длине трубопровода от самой удаленной точки бассейна стока до начала уличного коллектора.

Для примера рассматривается расчет ¹⁾ дождевого коллектора 1-2-7 на рис. 12.4. -

пунктирные линии. Для данного примера принято $q_{20} = 80$ л/с с 1 га, $p = 1$ год; $m_r = 150$; $\gamma = 1,54$; $n = 0,71$; $\beta = 0,65$; $A = 672$; $z_{mid} = 0,082$. Удельный сток при $t_{пр} = 0$ $q_{уд} = 38,7$ л/с с 1 га.

¹⁾ См. ссылку на стр. 271

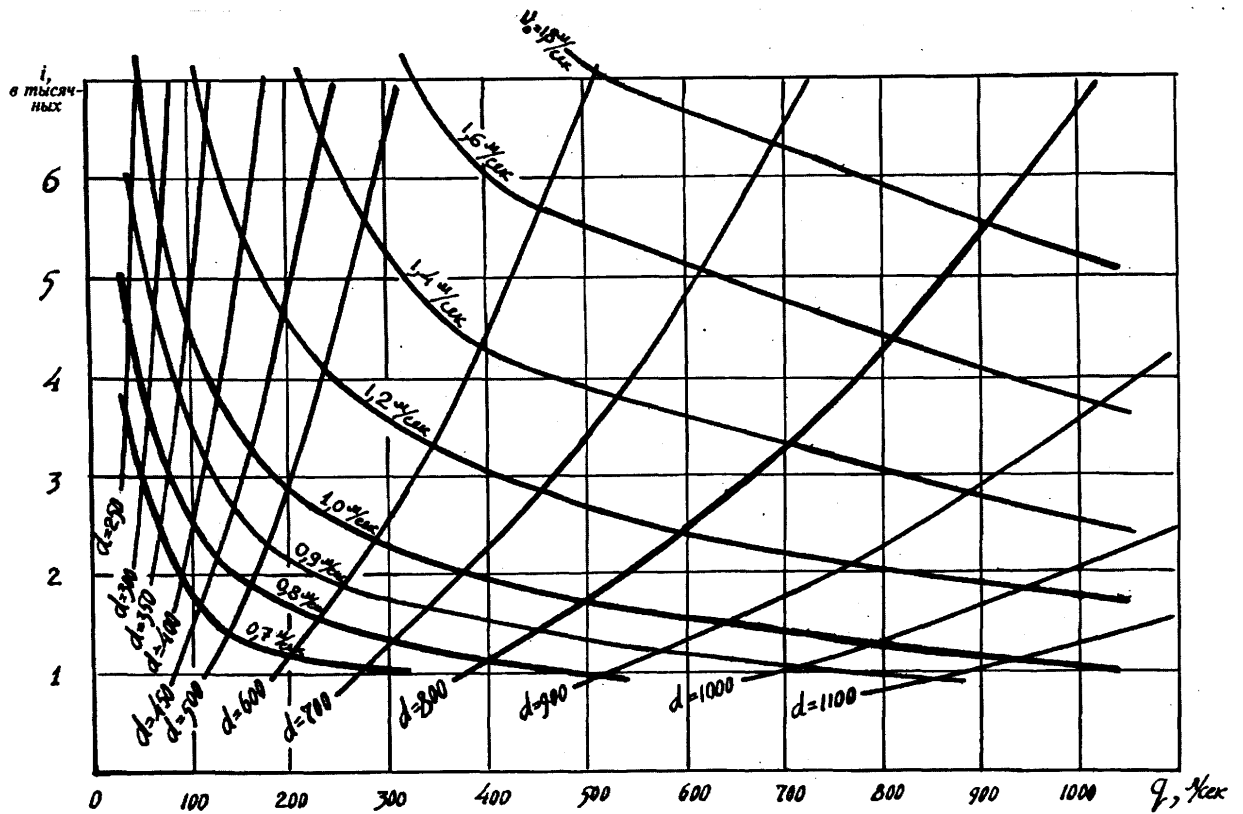


Рис. 12.6. График для расчета дождевой сети водоотведения

Порядок расчета следует из табл. 12.2.

Гидравлический расчет дождевой сети начинают с заполнения граф 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 17 табл. 12.2, используя при этом план населенного пункта.

Предварительный расчет показывает, что на начальном участке 1-2 сразу требуется укладка труб диаметром 350 мм, что больше минимального для дождевой сети (250 мм), поэтому в целях экономии участок 1-2 разделяется на два равных по длине подучастка 1-1' и 1'-2.

Далее расчет сети производится по участкам методом подбора. Переходить к расчету следующего участка можно только рассчитав предыдущий участок и получив удовлетворительные результаты. Вначале задаются скоростью v_p (графа 7) и вычисляют продолжительность протока воды по участку (графа 8) по формуле (12.21).

Продолжительность протока воды от начала коллектора t_p (графа 9) равняется сумме времени протока воды по данному участку и времени протока на предыдущих участках. По найденному времени протока от начала коллектора t_p и принятому параметру n вычисляют значение коэффициента уменьшения интенсивности дождя ρ (графа 10). При известном ρ вычисляется расчетный расход q_{cal} (графа 11) по формуле (12.25). Затем в соответствии с этим расходом, принятой скоростью и рельефом местности по таблицам

или графику подбирают при полном наполнении трубы ее диаметр и уклон (графы 12 и 13) , а также определяют пропускную способность (графа 15). Пропускная способность трубы может отличаться от расчетного расхода q_{cal} не более чем на $\pm 5 \pm 10 \%$. Принятые при расчете скорости также могут отличаться от скоростей, найденных по таблицам или графику лишь незначительно ($\pm 5 \pm 10 \%$). В случаях значительных отклонений следует изменить принятые при расчете скорости и откорректировать расчет сети.

Результаты граф с 16 по 24 вычисляются аналогично соответствующим графам бытовой сети.

Таблица 12.2

Обозначение участка	Длина участка l_p , м	Площадь стока (с учетом уличных проездов), га		Расход с площади стока при $t_{пр} = 0$		Расчетная скорость v_p , м/с
		собственная	от притоков	суммарная	$q'_{cal} = q_{уд} F_1$	
1	2	3	4	5	6	7
1-1'	60	1,26	-	1,26	48,75	0,74
1'-2	60	1,26	1,26	2,52	97,5	0,94
2-7	120	0,96	5,04	6,0	232,2	2

Продолжение табл.12.2

Продолжительность про тока воды в трубах, мин		$\rho = \left(\frac{t_{con}}{t_{con} + t_p} \right)^{1,2-0,1}$	Расчетный расход $q_{cal} = q'_{cal} \cdot \rho$	Диаметр трубы d , м	Уклон трубы i	Падение dna трубы $i \cdot l_p$	Пропускная способность трубы, л/с
По участку	От начала коллектора $t_p = 0,017 \sum l_p / v_p$						
8	9	10	11	12	13	14	15
1,38	1,38	0,834	40,5	250	0,004	0,24	36,32
1,08	2,46	0,743	72,5	300	0,005	0,3	66,44
1,02	3,48	0,671	156	300	0,022	2,64	142,12

Продолжение табл. 12.2

Отметки, м						Глубина заложения			Примечание (уклон земли i_3)
поверхности земли		шелыги трубы		дна трубы		дна трубы, м			
в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	средняя	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
23,5	23,5	22,80	22,56	22,55	22,31	0,95	1,19	1,07	0

23,5	23,5	22,56	22,26	22,26	21,96	1,24	1,54	1,39	0
23,5	20,5	22,26	19,62	21,96	19,32	1,54	1,18	1,36	0,025

При расчете следует обращать внимание на глубины заложения труб. Если эти глубины получаются слишком большими, то следует уменьшить скорость и уклон, при этом диаметр труб может несколько увеличиться.

12.6 Особенности расчета сети при общесплавной и полураздельной системах водоотведения

Сеть водоотведения при общесплавной системе рассчитывается на совместный расход производственно-бытовых вод и расход воды от расчетного дождя. При этом в сухую погоду, т. е. при отсутствии дождя в сети должны быть обеспечены минимальные - незаиливающие скорости течения воды. Для верховых участков сети, где расход в сухую погоду менее 10 л/с, проверку работы на сухую погоду можно не производить. При расчете сети на случай дождя принимают среднесекундные расходы бытовых вод, т.е. расходы при $K_{общ} = 1$. Это допускается, поскольку мала вероятность совпадения по времени расчетного дождя и максимального расхода бытовых вод. По аналогичной причине при расчете учитывают средние секундные расходы производственных вод за смену, в которой производительность и число занятых рабочих максимально.

Как указано выше, для уменьшения диаметров труб, мощности насосных и очистных станций при общесплавной системе на главном коллекторе устраивают ливнеспуски. Через эти ливнеспуски во время сильных дождей часть смеси дождевых и производственно-бытовых вод сбрасывается без очистки в водный объект при условии допустимости таких сбросов по санитарно-гигиеническим требованиям.

На рис. 12.7, а представлена простейшая схема общесплавной системы водоотведения. На участке 1-2 расчетный расход равен сумме расхода в сухую погоду $q_{сх(1-2)}$ на этом участке и расхода дождевых вод, т.е.

$$Q_{1-2} = Q_{д(1-2)} + Q_{сх(1-2)} = Q_{д(1-2)} + Q_{б(1-2)} + Q_{пр(1-2)}, \quad (12.26)$$

где $Q_{сх(1-2)} = Q_{б(1-2)} + Q_{пр(1-2)}$, $Q_{б(1-2)}$ и $Q_{пр(1-2)}$ - расходы бытовых и производственных сточных вод соответствен в сухую погоду на участке 1-2.

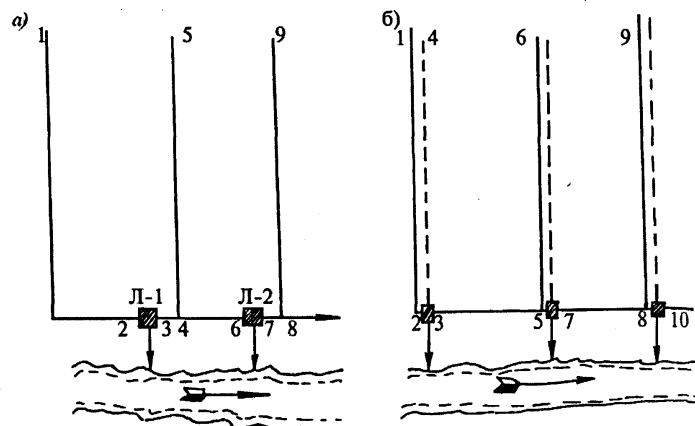


Рис. 12.7. Расчетные схемы сетей при общесплавной (а) и полураздельной (б) системах водоотведения

Принимается, что через ливнепуск “Л-1” сбрасывается часть смеси сточных вод, пропорциональная расходу в сухую погоду, т.е.

$$Q_{\text{сбр.Л-1}} = n_o' Q_{\text{сх(1-2)}}, \quad (12.27)$$

где n_o' - коэффициент разбавления для ливнепуска Л-1; тогда расход на участке (3-4) равен

$$Q_{3-4} = Q_{\text{сх(1-2)}} (1 + n_o'), \quad (12.28)$$

На участке (4-6) прибавится расход от притока (5-4), тогда

$$Q_{4-6} = Q_{\text{сх(1-2)}} (1 + n_o') + Q_{\text{сх(5-6)}} + Q_{\text{Д(5-6)}}, \quad (12.29)$$

Под коэффициентом разбавления n_o' здесь и далее понимается отношение несбрасываемого в водный объект дождевого расхода к расходу воды в сухую погоду.

Сбрасываемый, через ливнепуск Л-1 расход соответственно равняется

$$Q_{\text{сбр.1}} = Q_{\text{Д(1-2)}} - n_o' Q_{\text{сх(1-2)}}, \quad (12.30)$$

Расход сточных вод на участке (7-8) после второго ливнепуска равняется

$$Q_{7-8} = Q_{\text{сх(1-2)}} (1 + n_o') + Q_{\text{сх(5-6)}} (1 + n_o'') + Q_{\text{Д(7-6)}} Q_{\text{сх(7-8)}}, \quad (12.31)$$

где n_o'' - коэффициент разбавления для ливнепуска Л-2.

Соответственно расход сбрасываемый через ливнепуск Л-2 равен

$$Q_{\text{сбр.2}} = Q_{\text{Д(5-6)}} - n_o'' Q_{\text{сх(5-6)}}. \quad (12.32)$$

Коэффициенты разбавления назначаются с учетом санитарных требований и на основе технико-экономических расчетов. Приближенно коэффициенты n_o можно принимать следующими:

При расходе в реке более 10 м ³ /с	1 - 2
То же при расходе от 5 до 10 м ³ /с и скорости течения воды не менее 0,2 м/с	3 - 5
При сбросе через ливнепуски у насосных станций	0,5 - 2
То же у очистных сооружений	0,5 - 1

При полураздельной системе водоотведения укладываются две сети уличных коллекторов и уличных магистралей, которые рассчитываются как обычно для производственно-бытового и дождевого водоотведения.

Главный коллектор, являющийся общесплавным (см. рис. 12.7, б), рассчитывается на

пропуск суммарного расхода производственно-бытовых сточных вод q_{cit} и расходов и так называемого п р е д е л ь н о г о дождя q_{lim} , т.е.

$$q_{mix} = q_{cit} + \sum q_{lim} , \quad (12.33)$$

где $\sum q_{lim}$ - подлежащие очистке суммарные расходы дождевого стока, попадающие в коллектор от каждой разделительной камеры, расположенной до рассматриваемого сечения, л/с.

Под предельным понимается дождь наибольшей интенсивности, при котором еще не происходит сброса дождевой воды через разделительную камеру в водный объект и весь расход дождевых вод поступает через эту камеру в главный коллектор и далее на очистные сооружения.

Расход стока от предельного дождя определяется как обычно для дождевых вод, но при периоде однократного превышения расчетной интенсивности $P_{lim} = 0,05...0,1$ года. Предполагается, что в этих случаях не менее 70 % годового объема поверхностных вод поступает на очистку.

Предельный расход дождевых вод в общем случае определяется по формуле:

$$q_{lim} = K_{div} q_r , \quad (12.34)$$

где K_{div} - коэффициент, показывающий какая часть расхода дождевых вод направляется на очистку; определяется по методу, изложенному в СНиП 2.04.03-85;

q_r - расход воды, притекающей к разделительной камере, определяемый по формуле (2.16) при $\beta = 1$.

Расчетный расход смеси сточных вод на участке общесплавного коллектора при полураздельной системе после первой и каждой последующей разделительной камеры определяется по формуле

$$q = q_{cit} + \sum q_{lim} + q_r' , \quad (12.35)$$

где q_{cit} - расход производственно-бытовых вод, л/с;

q_r' - расход дождевых вод с бассейна стока между последней разделительной камерой и расчетным сечением, л/с.

Таблица 12.1

Обозначение участка сети	Номера площадей стока и сосредоточенных расходов		Средний расход сточных вод от жилых квартала, л/с			Общий коэффициент неравномерности
	собственных	притоков	собственных	от притоков	суммарный	
1	2	3	4	5	6	7

1-2	10, баня	-	0,7	-	0,7	2,5
3-2	12	-	0,7	-	0,7	2,5
2-7	11б, 13б, баня	1-2 3-2	0,32	1,4	1,72	2,5
6-7	11а	-	0,54	-	0,54	2,5
7-8	13а	2-7 6-7-	0,54	2,26	2,8	2,5

Продолжение таблицы 12.1

Расчетные расходы, л/с				Общий расчетный расход	Длина участка , l	Уклон дня канала, i	Падение дна канала, i l, м	Диаметр канала d, м
От жилых квартил в	сосредоточенные							
	собственны е	от притоков	суммарны е					
8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,75	21,25	-	21,25	23,0	120	0,004	1,48	0,25
1,75	-	-	-	1,75	120	0,007	0,84	0,2
4,3	-	21,25	21,25	25,55	120	0,018	2,16	0,25
1,35	-	-	-	1,35	120	0,007	0,84	0,2
7,0	-	21,25	21,25	28,25	190	0,004	0,76	0,30

Продолжение таблицы 12.1

Глубина потока		Отметки, м					
в долях от диа- метра, h/d	в метрах, h	поверхности земли		шелыги трубы		дна трубы	
		в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
17	18	19	20	21	22	23	24
0,58	0,15	23,5	23,5	22,8	22,32	22,55	22,07
0,18	0,04	23,5	23,5	22,8	21,96	22,6	21,76
0,4	0,1	23,5	20,5	21,95	19,79	21,70	19,54
0,16	0,03	20,6	20,5	19,9	19,16	19,7	18,96

0,59	0,18	20,5	20,4	19,11	18,35	18,81	18,05
------	------	------	------	-------	-------	-------	-------

Продолжение таблицы 12.1

Скорость, м/с	Глубина заложения дна канала, м			Уклон земли, i_z
	в начале	в конце	средняя	
25	26	27	28	29
0,8	0,95	1,43	1,19	0
-	0,9	1,74	1,32	0
1,38	1,80	0,96	1,38	0,025
-	0,9	1,54	1,22	0,0005
0,8	1,69	2,35	2,02	0,0005

Таблица 12.2

Обозначение участка	Длина участка l_p , м	Площадь стока (с учетом уличных проездов), га			Расход с площади стока при $t_{np} = 0$ $q'_{cal} = q_{уд} F_l$	Расчетная скорость v_p , м/с
		собственная	от притоков	суммарная		
1	2	3	4	5	6	7
1-1'	60	1,26	-	1,26	48,75	0,74
1'-2	60	1,26	1,26	2,52	97,5	0,94
2-7	120	0,96	5,04	6,0	232,2	2

Продолжение табл.12.2

Продолжительность протока воды в трубах, мин		Расчетный расход $Q_{cal} = q'_{cal} \cdot \rho$	Диаметр трубы d, м	Уклон трубы i	Падение дна трубы $i \cdot l_p$	Пропускная способность трубы, л/с	
По участку $0,017 l_p / v_p$	От начала коллектора $t_p = 0,017 \sum l_p / v_p$						
8	9	10	11	12	13	14	15
1,38	1,38	0,834	40,5	250	0,004	0,24	36,32

1,08	2,46	0,743	72,5	300	0,005	0,3	66,44
1,02	3,48	0,671	156	300	0,022	2,64	142,12

Продолжение табл. 12.2

Отметки, м						Глубина заложения			Примечание (уклон земли i_3)
поверхности земли		шелыги трубы		дна трубы		дна трубы, м			
в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	средняя	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
23,5	23,5	22,80	22,56	22,55	22,31	0,95	1,19	1,07	0
23,5	23,5	22,56	22,26	22,26	21,96	1,24	1,54	1,39	0
23,5	20,5	22,26	19,62	21,96	19,32	1,54	1,18	1,36	0,025

13. Особенности перекачки сточных вод при помощи насосов

13.1. Классификация канализационных насосных станций и насосы для перекачки сточных вод

В тех случаях, когда сточные воды невозможно или экономически невыгодно отводить самотеком на очистку или повторное использование устраивают канализационные насосные станции. В зависимости от расположения в общей схеме канализации их подразделяют на главные, подающие всю воду на очистные сооружения, районные, перекачивающие сточную воду от отдельных районов канализования, местные, перекачивающие сточную воду от отдельных объектов, и сетевые, располагаемые на коллекторах для уменьшения их заглубления.

По роду перекачиваемой жидкости различают станции для перекачки бытовых, производственных и дождевых сточных вод, а также станции для перекачки осадка - иловые.

По расположению приемного резервуара относительно машинного зала бывают отдельные и совмещенные, когда в одном здании размещаются приемный резервуар и машинный зал.

Насосные агрегаты на канализационных насосных станциях, как правило, располагаются ниже поверхности земли. По этому признаку различают незаглубленные станции (глубина подводящего коллектора до 4 м), полузаглубленные (до 7 м) и шахтные (более 7 м).

По типу установленных насосных агрегатов они могут быть с вертикальными, горизонтальными и осевыми насосами, а по их расположению - с погружными насосами,

когда насосный агрегат располагается непосредственно в воде в приемном резервуаре и с непогружными насосами, устанавливаемыми в машинном зале.

По характеру управления насосные станции бывают с ручным управлением, полуавтоматические, автоматические и с дистанционным управлением.

Для перекачки сточных вод используются в основном центробежные насосы, но применяются также шнековые насосы, гидроэлеваторы, насосы предназначенные для перекачивания пульпы (грунтовые насосы и землесосы), песка (песковые насосы), шлама и шлака (баггерные насосы).

Насосы для перекачки сточной жидкости и осадков конструктивно несколько отличаются от обычных водопроводных (см. п.6), но основные свойства и принцип их работы одинаковы. Конструктивные особенности канализационных насосов определяются перекачкой жидкости загрязненной отбросами, которые не должны выводить их из строя. При засорении их, конструкция насоса должна обеспечивать возможность быстрой прочистки колеса, корпуса и патрубков.

Для этого на корпусе насоса и выходном патрубке устроены люки-ревизии для прочистки. Насосы выполняют одноколесными без направляющих аппаратов, число лопаток колеса уменьшено до двух- четырех и увеличена ширина колеса, лопатки имеют более плавные очертания.

Отечественная промышленность выпускает центробежные канализационные насосы с горизонтальным и вертикальным расположением вала производительностью от 2 до 1000 л/с и напором от 7 до 98 м. Для перекачки осадков сточных вод применяются те же насосы, что и для сточной жидкости. Для перекачки активного ила и осадка на крупных очистных станциях применяют осевые и плунжерные насосы.

13.2. Устройство канализационных насосных станций

Канализационная насосная станция (рис. 13.1) состоит из приемного резервуара и машинного зала.

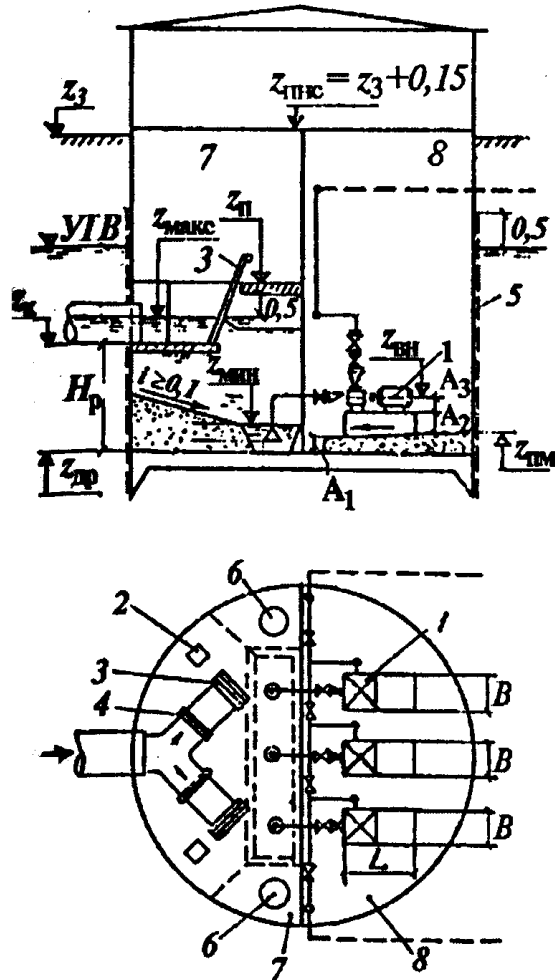


Рис.13.1. Схема канализационной насосной станции совмещенной с приемным резервуаром:

1 - насосный агрегат; 2 - дробилка; 3 - решетка; 4 - шибер; 5 - гидроизоляция; 6 - лаз в резервуар; 7 - приемный резервуар; 8 - машинный зал

Приемный резервуар предназначен для кратковременного регулирования притока сточных вод. В помещении приемного резервуара на подводящих каналах устанавливают решетки или решетки-дробилки. Размеры прозоров решетки выбирают в зависимости от марки насосов для защиты их от засорения. При расположении насосной станции на площадке очистных сооружений в ней могут быть установлены решетки с малыми прозорами 16 - 20 мм для очистки сточной воды. Схема устройства и расчет решеток изложены в п. 14. При количестве отбросов более $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ должна быть предусмотрена механическая их очистка и размельчение отбросов, с возвратом в поток воды. В решетках-дробилках этот процесс происходит в потоке жидкости.

В совмещенных канализационных насосных станциях приемные резервуары должны быть отделены водонепроницаемой перегородкой от машинного зала. В местах прохода труб устанавливают сальниковые устройства. В помещении приемного резервуара располагают поливочные краны с брандспойтами для смыва осадка, а также устраивают приточно-вытяжную вентиляцию с пятикратным обменом воздуха в течении часа.

В машинном зале размещают насосные агрегаты, всасывающие и напорные трубопроводы, контрольно-измерительную аппаратуру, дренажные насосы и грузоподъемные устройства. Число рабочих насосов, устанавливаемых в машинном зале, определяют по расчетному притоку. Для бесперебойной работы станции, в ней, кроме рабочих насосов устанавливают резервные агрегаты не менее двух. Допускается один из резервных насосов хранить на складе.

Требуемый напор насоса H , м, определяется по формуле

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{НС}} + h_{\text{Н}} + h_{\text{зап}}, \quad (13.1)$$

где H_{Γ} - геометрическая высота подъема жидкости, определяемая как разность между отметкой подачи и расчетной отметкой в резервуаре при заполнении его на половину глубины;

$h_{\text{НС}}$ - потери напора в коммуникациях насосной станции; $h_{\text{НС}} = 2 - 3$ м;

$h_{\text{Н}}$ - потери напора в напорных трубопроводах; м;

$h_{\text{зап}}$ - запас на излив из трубопровода; $h_{\text{зап}} \cong 1$ м.

Насосы в машинном зале рекомендуется устанавливать под заливом, т.е. верх корпуса насоса должен располагаться ниже максимального рабочего горизонта $Z_{\text{макс}}$ откачиваемой жидкости. Из этих условий отметка оси насоса $Z_{\text{ОН}}$ составит:

$$Z_{\text{ОН}} \leq Z_{\text{макс}} - e, \quad (13.2)$$

где e - расстояние от оси насоса до верха корпуса, м.

В машинном зале устраивается канал для сбора дренажной воды с приемком в нем для всасывающего патрубка дренажного насоса глубиной $A_1 = 0,2 - 0,4$ м. Полу станции дается уклон к каналу $i = 0,03 - 0,05$. Насосы устанавливают на фундаменты, размеры которых определяют по заводским установочным чертежам. Высота фундамента регламентируется возможностью присоединения к насосу трубопроводов и арматуры и составляет обычно $A_2 = 0,1 - 0,3$ м, а расстояние A_3 от фундамента до оси насоса с учетом рамы под него принимается по каталогам насосов. Тогда

$$Z_{\text{ОН}} = Z_{\text{др}} + A_1 + A_2 + A_3, \quad (13.3)$$

где $Z_{\text{др}}$ - отметка днища резервуара (см. рис. 13.1).

Конструкция машинного зала должна обеспечивать свободный доступ к насосным агрегатам и вспомогательному оборудованию и возможность его профилактического ремонта без остановки станции. Расстояние между неподвижными выступающими частями трубопроводов и оборудования принимается не менее 0,7 м; между агрегатами при установке электродвигателей с напряжением до 1000 В - 1 м, с большим напряжением - 1,2 м; между агрегатами и стеной в шахтных станциях - 0,7 м; в прочих станциях - 1 м. Проход перед распределительным щитом должен быть не менее 2 м, вокруг решеток с

механизированными граблями и решеток-дробилок - не менее 1,2 м. Перед фронтом решеток с механизированными граблями - не менее 1,5 м. Размеры монтажной площадки должны обеспечивать проход шириной не менее 0,7 м вокруг установленного на ней оборудования. Ширина В и длина L фундамента обычно на 0,05 - 0,15 м больше размеров фундаментной плиты насоса.

Всасывающие и напорные линии каждого насоса укладываются открыто по полу или над агрегатами вдоль стен. Всасывающие линии оборудуются задвижками, напорные линии - задвижками, обратными клапанами и при необходимости противоударными средствами. При автоматическом или дистанционном управлении, а также на станциях с ручным управлением при диаметре труб более 400 мм задвижки должны быть с механизированным приводом. Размещение запорной арматуры должно обеспечивать возможность замены или ремонта любого насоса, обратных клапанов и основных задвижек. В каналах перед решетками устанавливаются щитовые затворы. При окончательном решении схемы станции подбираются и указываются места размещения дренажных насосов и контрольно-измерительных приборов: вакуумметра, манометра, водомера, указателей уровня жидкости в резервуаре и др. Рекомендуется применять индукционные водомеры, которые могут быть установлены внутри здания или в специальных колодцах за его пределами. Поскольку на очистных сооружениях обычно устанавливается измерительный лоток, то при расположении ГНС на территории очистной станции водомер может не предусматриваться.

В последнее время в отечественной практике и за рубежом стали применяться различные конструкции насосных станций с погружными насосами. Такие насосы производительностью от 1 до 2400 л/сек работают под водой, отвечают всем требованиям, предъявляемым к электрооборудованию, устанавливаемому во влажных и взрывоопасных помещениях.

Так насосная станция "Сарлин" (рис. 13.2) имеет корпус из армированного стеклопластика, полностью оснащена. Насосные станции изготавливаются различных моделей. Диаметр их колеблется от одного до трех метров (табл. 13.1), а высота может достигать десяти метров.

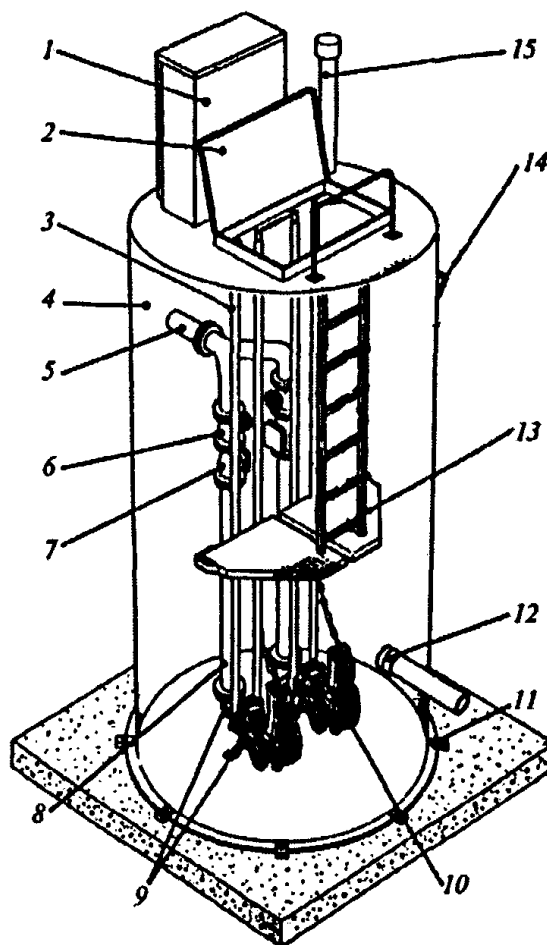


Рис.13.2. Конструкция насосной станции "Сарлин" с погружными насосами:
 1 - электрощит и блок автоматики; 2 - крышка люка; 3 – направляющие шланги (трубы) насосов; 4 - сборный корпус из армированной пластмассы; 5 - напорный выходной патрубков; 6 - задвижка; 7 - обратный клапан; 8 - напорные трубопроводы; 9 - погружной соединитель; 10 - погружной насос "Сарлин"; 11 - крепежные болты; 12 - входной патрубков (фланцевый или раструбный); 13 - площадка обслуживания; 14 - монтажная петля; 15 - вентиляционная труба

Таблица 13.1
 Параметры насосных станций "Сарлин" с погружными насосами

Диаметр, м	1,0	1,4	1,8	2,2	3,0
Производительность, л/с	4-18	6-30	15-50	30-70	30-240
Площадь, м ²	0,785	1,55	2,55	3,8	7,1

Насосные станции поставляются на место в готовом для монтажа виде, опускаются в котлован и подключаются к внешнему трубопроводу и электросети. Над станцией может быть устроен павильон с размещением в нем грузоподъемного оборудования и других устройств. Система контроля предусматривает постоянный контроль за насосами станции (расход, напор, состояние насосов) с центрального пульта управления. При этом вообще не требуется посещать станцию.

Аналогичные станции разработаны с насосами "Флюгт".

Применение погружных насосов имеет ряд преимуществ: меньшие размеры резервуара, резервные насосы можно не устанавливать, а хранить снаружи, уменьшаются размеры павильона станции, установка насосов отличается простотой и быстротой, так как нет необходимости в закреплении их болтами, достигается снижение затрат на строительство до 50 %.

13.3. Определение объема и размеров резервуара насосной станции.

Для канализационных насосных станций подача насосов принимается равной максимальному часовому притоку. В другие часы подача насосов превосходит приток жидкости и поэтому насосы приходится периодически выключать и снова включать при наполнении резервуара. Необходимый объем резервуара (m^3) может быть определен из графика притока и откачки (рис. 13.3) или по зависимости

$$W_{рез} = \frac{0,25Q_{нас}}{n_1}, \quad (13.4)$$

где $Q_{нас}$ - производительность насосов, м³/ч;
 n_1 - количество включений насосов в час.

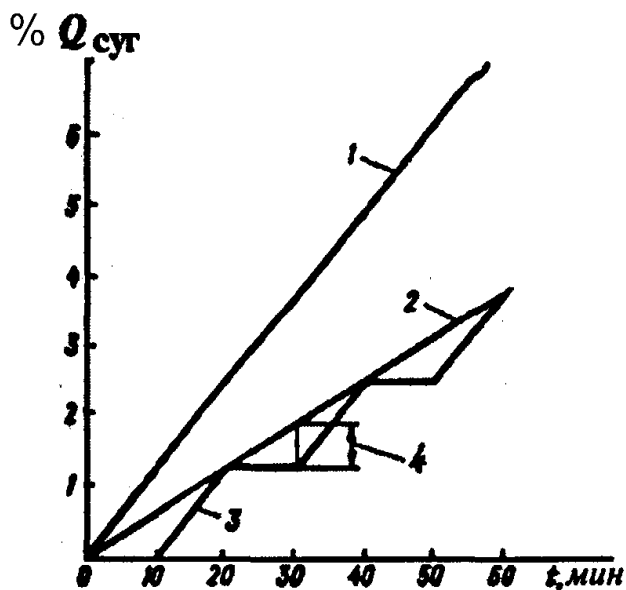


Рис.13.3. Определение емкости приемного резервуара по графику притока и откачки воды:

1 - максимальный приток; 2 - минимальный приток; 3 - подача воды насосами; 4 - объем резервуара в % от $Q_{сут}$ при $n_1 = 3$

Обычно $n_1 \leq 3$ при ручном и $n_1 \leq 5$ при автоматическом управлении; для насосов западных фирм "Сарлин", "Флюгт" и др. $n_1 = 10 - 15$.

Емкость приемного резервуара должна быть не менее пятиминутной максимальной производительности одного из насосов. Окончательный объем приемного резервуара

назначается при компоновке насосной станции.

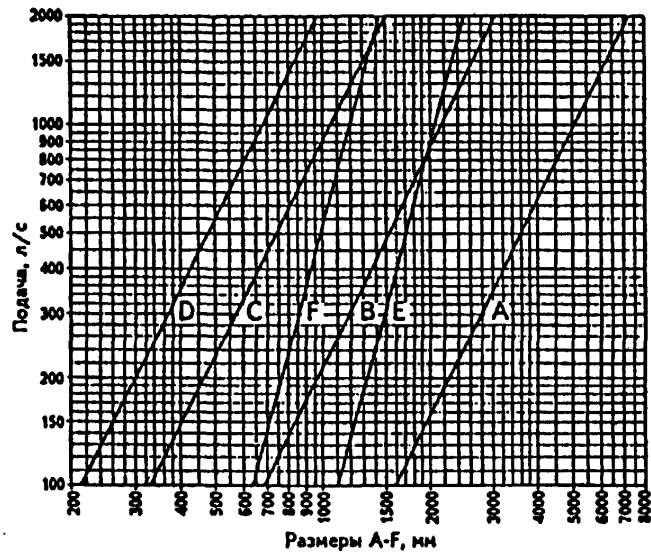
На станциях производительностью более 100 тыс. м³/сут резервуар предусматривается из двух отделений без увеличения объема. Глубина резервуара обычно принимается для мелких и средних станций $H_p = 1,5 - 2$ м, а для крупных $H_p = 2,5 - 3$ м, считая от дна подводящего коллектора. Наинизшая отметка дна резервуара (рис. 13.1) при этом составляет $Z_{др} = Z_k + H_p$. Дну резервуара придается уклон в сторону приемка не менее 0,1 м. В приемке размещают всасывающие воронки диаметром $D = (1,3 - 1,5) d_{вс}$ и высотой $(1,3 - 1,7) d_{вс}$, где $d_{вс}$ - диаметр всасывающей трубы. Ширина приемка в плоскости входного сечения воронки принимается не менее $2D$, расстояние от дна приемка до всасывающей воронки - $0,5D$, глубина приемка примерно $0,5D + 0,25$ м. При $d_{вс} > 500$ мм входные сечения воронок располагают вертикально. Всасывающие линии укладываются с уклоном 0,005 к насосам.

Пол перекрытия приемного резервуара устраивается на расстоянии 0,5 м от наивысшего расчетного уровня воды в нем. Его размеры в плане определяют в зависимости от емкости резервуара $W_{рез}$ и принятой его глубины H_p .

Количество решеток или решеток-дробилок, устанавливаемых в приемном резервуаре, скорость движения воды в них, вид очистки решеток от отбросов, а также способ ликвидации отбросов, снятых с решетки, принимаются в соответствии с требованиями СНиП. Приемный резервуар оборудуется трубами для взмучивания осадка и поливочными кранами для смыва загрязнений.

Размеры резервуаров (рис.13.4,а) для установки погружных насосов увязываются с расположением подводящего коллектора (рис.13.4,б) и подачей насоса, исходя из оптимальных условий его работы. Отклонения от этих рекомендаций могут привести к излишней аэрации жидкости или осаждению примесей, что нежелательно.

a)



б)

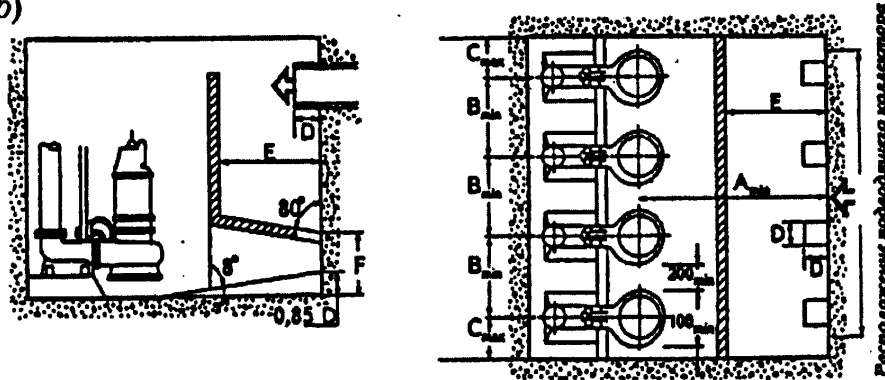


Рис.13.4. Рекомендуемые размеры (а) и схема размещения насосов "Флюгт" в резервуаре (б):

А - расстояние от стенки до насоса; В - расстояние между осями насосов (между корпусами не менее 200 мм); С - расстояние от стенки до оси насоса (до корпуса не менее 100 мм); F - минимальный уровень остановки последнего насоса; Е - расстояние от стенки резервуара до разделяющей перегородки

14. ОЧИСТКА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

14.1 Состав загрязнений бытовых сточных вод и их характеристики

Сточные воды, поступающие в сеть водоотведения, содержат большое количество различных загрязнений. По происхождению эти загрязнения делят на минеральные, органические и бактериальные.

К минеральным загрязнениям относят песок, частицы грунта, минеральные масла, соли, кислоты, щелочи и т. п.

Органические загрязнения бывают растительного происхождения (остатки овощей, фруктов, бумага, растительные масла и др.) и животного происхождения

(физиологические выделения людей и животных, остатки тканей животных, органические кислоты, клеевые вещества и пр.).

По физическому состоянию загрязнения сточных вод делят на растворенные (молекулярно-дисперсные частицы размером менее 0,001 мкм), коллоидные (частицы размером от 0,1 до 0,001 мкм) и нерастворенные вещества, находящиеся в воде в виде крупных примесей (частиц размером более 0,1 мм), суспензии, эмульсии и пены с размерами частиц от 0,1 мм до 0,1 мкм.

Содержащиеся в сточной жидкости живые микроорганизмы, бактерии, дрожжевые и плесневые грибки и т. п. составляют группу бактериальных загрязнений.

В сточных водах, поступающих от жилых и общественных зданий, так называемых бытовых водах, органических загрязнений (в том числе и бактериальных) примерно 58 %, а минеральных примерно 42 %. В этих же водах нерастворенные и растворенные загрязнения содержатся примерно поровну по 40 % каждого вида, коллоидные загрязнения составляют около 20 %.

Атмосферные сточные воды, т.е. дождевые и талые загрязняются при течении по крышам, проездам, станционным площадкам и т. д. , а также и в процессе выпадения на землю вследствие загрязнения воздуха.

По составу загрязнений они похожи на сильно разбавленные бытовые воды.

Одним из основных показателей загрязненности сточных вод нерастворенными компонентами является содержание в них взвешенных веществ.

Взвешенными веществами называют осадок, остающийся на бумажном фильтре с размерами пор 1-2 мкм, после фильтрации через него 1 л сточных вод. При этом крупные загрязнения (тряпки, бумага) не учитываются. Осадок высушивают и взвешивают, таким образом определяется количество взвешенных веществ в мг/дм³. В зависимости от размеров частиц взвешенных веществ и их плотности, они могут выпадать на дно сосуда, всплывать на поверхность воды или находиться во взвешенном состоянии. Важно знать количество оседающих взвешенных веществ. Для этого производится отстаивание сточных вод в специальных градуированных стеклянных сосудах, обычно в течение 2-х часов. За этот промежуток времени в осадок выпадает почти максимальное количество загрязнений, до 60...70 %.

Степень загрязненности сточных вод органическими компонентами принято оценивать по массе кислорода, израсходованной для их окисления. Этот показатель называют биохимической потребностью в кислороде (БПК). БПК определяется лабораторным путем и выражается в миллиграммах кислорода на 1дм³ сточной жидкости (мг/дм³ или г/м³). Таким образом, чем больше БПК, тем сильнее сточные воды загрязнены органическими веществами.

Для полного окисления органических веществ биохимическим путем при температуре 20 °С требуется большой промежуток времени (до 100 суток и более). Для практических целей обычно определяют двадцатисуточную (БПК₂₀) или пятисуточную (БПК₅) биохимическую потребность в кислороде. Для бытовых сточных вод БПК₂₀ примерно равна полной БПК (БПК_{полн}), а БПК₅ ≈ 0,875 БПК_{полн}. БПК производственных стоков меняется в широких пределах.

Следует иметь в виду, что БПК_{полн} не характеризует общего количества органических веществ, содержащихся в сточных водах, так как при ее определении не учитывается часть органических веществ, идущая на прирост аэробных бактерий, а также количество тех веществ, на минерализацию которых требуется более 20 суток, и веществ, не способных окисляться биохимическим путем.

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточных водах определяют химическую потребность в кислороде (ХПК). ХПК называют количество

кислорода, необходимое для полного окисления всех органических загрязнений, содержащихся в сточных водах, химическими методами; выражают ХПК в миллиграммах кислорода на 1 дм³ воды (мг/дм³). Для бытовых вод разница между БПК_{полн} и ХПК невелика (БПК_{полн} составляет около 86 % ХПК).

Наряду с другими загрязнениями в сточных водах могут находиться кислоты и щелочи. Кислоты отрицательно влияют на материал труб и сооружений, а также на ход биохимических процессов. О загрязненности сточных вод кислотами и щелочами судят по величине водородного показателя рН. Бытовые воды характеризуются слабощелочной реакцией (рН = 7,2 ... 7,5).

В бытовых водах содержится большое количество различных микроорганизмов, среди которых могут встречаться и патогенные бактерии (возбудители брюшного тифа, паратифа, холеры, дизентерии).

Степень бактериальной загрязненности микроорганизмами оценивается общим количеством аэробных сапрофитов¹⁾, а также так называемым микробным числом и содержанием бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и яиц гельминтов.

¹⁾ Сапфиры - растения, грибы и бактерии, питающиеся органическим веществом, отмерших организмов.

Микробным числом определяется общая осемененность микроорганизмами и для бытовых вод находится в пределах 10⁶...10⁸. Степень загрязненности патогенными микробами оценивают по присутствию в воде БГКП, а общую санитарно-эпидемиологическую опасность сточных вод кроме того по содержанию яиц гельминтов.

Кроме перечисленных основных показателей сточные воды характеризуются величиной солесодержания, особенно солей азотистой и азотной кислоты, концентрацией нефтепродуктов, фенолов, поверхностно-активных веществ (ПАВ), а также содержанием растворенного кислорода, прозрачностью, цветом, запахом, температурой, электропроводностью и др.

14.2 Понятие о концентрации загрязнений в сточных водах

Концентрацией загрязнений называют их массу (в мг или г), содержащуюся в единице объема сточных вод (дм³ или м³).

Для бытовых вод концентрацию загрязнений мг/дм³ или г/м³ обычно определяют по нормативным данным, в этом случае она равна

$$K_6 = \frac{a_1}{q}, \quad (14.1)$$

где a_1 - норма загрязнений на 1 чел в сутки в мг или г;
 q - норма водоотведения на 1 чел в сутки в дм³ или м³.

Норма загрязнений для бытовых вод согласно Строительным нормам и правилам (СНиП 2.04.03-85. Канализация) составляет по взвешенным веществам: $a_B = 65$ г/сут на чел; по БПК_{полн} неосветленной жидкости $a_{6H} = 75$ г/сут на чел.

В указанную норму входят и загрязнения, поступающие от общественно-бытовых учреждений (бань, прачечных, школ, столовых, клубов и т. д.) .

Норма азота аммонийных солей в бытовых сточных водах составляет 8 г/сут на 1 жителя, для фосфатов P_2O_5 она равна 3,3 г/сут на 1 чел, хлоридов 9 г/сут на 1 чел и поверхностно-активных веществ (ПАВ) - 2,5 г/сут на 1 чел.

Если в смеси с бытовыми сточными водами в сеть водоотведения поступают стоки от производственных железнодорожных объектов, то общая средняя концентрация стоков, $г/м^3$ или $мг/дм^3$, определяется по формуле

$$K_{cp} = \frac{K_b Q_b + K_{ж} Q_{ж}}{Q_b + Q_{ж}}, \quad (14.2)$$

где Q_b и $Q_{ж}$ - расходы сточных вод соответственно бытовых и производственных от железнодорожных объектов, $м^3/сут$ или $дм^3/с$;
 K_b и $K_{ж}$ - концентрации загрязнений бытовых и производственных сточных вод, $г/м^3$ или $мг/дм^3$.

14.3 Правила выпуска сточных вод в водные объекты

Несмотря на общепринятое направление – по-возможности, шире использовать очищенные сточные воды в системах оборотного водоснабжения, пока еще большую часть бытовых сточных вод приходится сбрасывать в открытые водные объекты (реки, ручьи, озера, водохранилища).

Условия выпуска сточных вод в водные объекты регламентированы Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. По этим правилам все выпуски сточных вод регистрируются в соответствующих органах и на них должны быть получены разрешения.

Сточные воды, сбрасываемые в водные объекты, должны удовлетворять определенным требованиям, которые различаются в зависимости от назначения водного объекта и места выпуска сточных вод.

Все водные объекты разделяются на два типа. К первому из них относятся объекты, предназначенные для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; ко второму типу относят водные объекты, применяемые для рыбохозяйственных целей.

Водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в свою очередь бывают двух категорий. Объекты I категории используются для централизованного и нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий, объекты II категории предназначены для купания, спорта и отдыха населения. К этой же категории относятся участки всех водных объектов в пределах населенных мест.

Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами устанавливаются следующие основные показатели для водных объектов, применяемых для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целей:

- содержание взвешенных веществ в воде после выпуска в них сточных вод не должно увеличиваться более, чем на 0,25 мг/л (для I категории) и на 0,75 мг/л (для II категории), при этом вещества со скоростью выпадения на дно превышающей 0,4 мм/с для проточных водотоков и более 0,2 мм/с для водохранилищ и озер к сбросу вообще запрещаются;

- после сброса сточных вод вода не должна приобретать запахов с интенсивностью более одного балла;

- на поверхности воды не должно отмечаться каких-либо пленок нефтепродуктов,

пятен минеральных масел, жиров и других примесей;

- окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой 20 см (I категория) и 10 см (II категория);

- концентрация растворенного кислорода в воде в любой период года должна быть не менее 4 мг/л;

- БПК_{полн} воды (при температуре 20°C) не должна превышать 3 мг/л (I категория) и 6 мг/л (II категория), соответственно ХПК не должно быть более 15 мг/дм³ (I категория) и 30 мг/дм³ (II категория);

- вода не должна содержать возбудителей заболеваний, а также вредных, ядовитых и радиоактивных веществ в концентрациях опасных для здоровья человека;

и некоторые другие.

Требования к водным объектам, используемым для рыбохозяйственных целей, бывают еще более жесткими. Они устанавливаются органами рыбоохраны.

Указанные нормативные требования для водных объектов первого типа должны соблюдаться, как правило, не в местах выпуска сточных вод, а в так называемых р а с ч е т н ы х с т в о р а х , т.е. в створах с учетом разбавления сточных вод водой водного объекта и отчасти процессов естественного самоочищения воды. Расчетные створы в реках назначаются ниже выпусков сточных вод на расстоянии 1 км до ближайших водозаборов, пляжей, мест отдыха людей или просто границ населенных пунктов.

При сбросе сточных вод в непроточные водоемы расчетные створы располагаются на расстоянии 1 км во все стороны от пункта водопользования.

Для рыбохозяйственных водных объектов расчетными створами обычно считаются места выпуска сточных вод, т.е. все требования к качеству воды, по- существу, относятся к самим сточным водам. Аналогичное указание относится и ко всем случаям сброса сточных вод в пределах населенного пункта.

Разбавление сточных вод водой водного объекта учитывается при расчетах коэффициентом (или степенью) разбавления воды

$$n_o = \frac{aQ + q}{q} = \frac{aQ}{q} + 1, \quad (14.3)$$

где Q - расход воды в водотоке, м³/с;
 q - расход сточных вод м³/с;
 a - коэффициент смешения.

Величина коэффициента a показывает, какая часть расхода водотока смешалась в данном сечении со сточными водами. Из этого определения следует, что $a \leq 1$ и только для створа полного смешения $a = 1$.

Разработаны методы определения¹⁾ коэффициента a , часто этот коэффициент назначается приблизительно в пределах $a = 0,8...0,85$.

¹⁾ Дикаревский В.С., Караваев И.И. Водоохранные сооружения на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1986 -211 с.

14.4. Определение допустимой концентрации загрязнений в сточных водах перед выпуском их в водный объект

Допустимая концентрация загрязнений в сточных водах, выпускаемых после

очистки в реки, озера и водохранилища, а следовательно и необходимая степень очистки сточных вод, определяется по следующим показателям:

- по содержанию взвешенных веществ;
- по БПК₂₀ смеси сточных вод с водой водного объекта;
- по содержанию в воде вредных, ядовитых и радиоактивных веществ.

При выпуске в водные объекты производственных стоков степень необходимой обработки сточных вод определяется также по допустимой температуре воды в водном объекте, по изменению водородного показателя воды (рН).

Все указанные задачи решаются путем составления и решения уравнений балансов содержания различных компонентов в воде водных объектов до и после выпуска в них сточных вод.

Допустимая концентрация взвешенных веществ (мг/дм³) в очищенных сточных водах $C_{ВЗ}$ перед выпуском их в водный объект определяется из уравнения

$$C_{ВЗ} \leq C_0 + n_0 C_y, \quad (14.4)$$

- где C_0 - концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до выпуска в него сточных вод, мг/дм³;
- C_y - допустимое увеличение содержания взвешенных веществ в реке, озере или водохранилище после сброса сточных вод, мг/дм³.

Ранее указывалось, что $C_y = 0,25$ мг/дм³ для водных объектов I категории и $C_y = 0,75$ мг/дм³ для объектов II категории.

Допустимую концентрацию органических загрязнений в воде водного объекта после выпуска сточных вод определяют по величине БПК₂₀ сточных вод по формуле

$$L_{стд} = \frac{aQ}{q} (L_{смн} - L_0) + L_{смн}, \quad (14.5)$$

- где q - расход сточных вод, м³/с;
- $L_{см.п}$ - предельно допустимое БПК₂₀ смеси сточных вод и воды в водном объекте в расчетном створе, мг/дм³; по нормам $L_{см.п} = 3$ мг/дм³ (I категория) и $L_{см.п} = 6$ мг/дм³ для водных объектов II категории;
- L_0 - БПК₂₀ воды в водном объекте до выпуска в него сточных вод, мг/дм³.

Следует также иметь в виду, что из формулы (14.3) следует

$$\frac{aQ}{q} = n_0 - 1$$

Допустимую величину $L_{ст.д}$ определяют также по содержанию в воде растворенного кислорода. Известно, что после выпуска в водный объект сточных вод количество кислорода, находящегося в его воде, снижается. За основу расчета принято предположение, что если количество кислорода в воде объекта за первые двое суток не снизится ниже нормы $P_k = 4$ мг/дм³, то дальнейшего снижения содержания кислорода в воде не произойдет и в последующие сутки.

Исходя из этой гипотезы, получается

$$L_{снд} = \frac{aQ}{qR} (O_e - RL_o - PK) \frac{P_k}{K}, \quad (14.6)$$

где R - коэффициент пересчета БПК₂₀ в БПК₂, $R = 0,4$;
 O_e - содержание растворённого кислорода в воде водного объекта до выпуска в него сточных вод, мг/дм³.

Допустимая концентрация вредных, ядовитых и радиоактивных веществ в сточных водах перед выпуском их в водный объект определяется по уравнению аналогичному (14.5), а именно

$$C_{снд} = \frac{aQ}{q} (C_{нд} - C_{ор}) + C_{нд}, \quad (14.7)$$

где $C_{нд}$ здесь - предельно-допустимое содержание данного вредного, ядовитого или радиоактивного вещества (ПДК) в сточных водах перед выпуском их в водный объект, мг/дм³; указывается в справочниках;
 $C_{ор}$ - содержание рассматриваемого вредного, ядовитого или радиоактивного вещества в воде водного объекта в расчетном створе до выпуска сточных вод, мг/дм³. При выводе уравнений (14.4)...(14.7) принималось во внимание разбавление сточных вод в воде водного объекта, но не учитывались процессы самоочищения воды, в виду неопределенности ряда эмпирических коэффициентов.

На основе приведенных выше формул определяется необходимая эффективность очистки сточных вод (%) по тому или иному компоненту

$$\mathcal{E} = \frac{(S_{см} - S_i)}{S_{см}} 100, \quad (14.8)$$

где $S_{ст}$ - действительное содержание данных загрязнений в сточных водах, мг/дм³;
 S_i - допустимая концентрация загрязнений, мг/дм³, т.е. $S_i = S_1 = C_{вз}$ или $S_2 = L_{ст.д}$, $S_3 = C_{ст.д}$.

Широко применяется также такой показатель загрязненности воды, как предельно-допустимый сброс сточных вод (ПДС), под которым понимается масса определенных загрязняющих веществ в сточных водах, максимально-допустимая к сбросу в данный водный объект в единицу времени, г/с, т.е.

$$ПДС = q S_i, \quad (14.9)$$

где q - расход сточных вод, м³/с.

14.5 Способы очистки бытовых сточных вод и схемы очистных станций

В зависимости от степени загрязненности водных объектов и некоторых местных условий для очистки бытовых сточных вод применяются механический, биологический и физико-химический способы очистки сточных вод.

Механическими методами из воды удаляются грубодисперсные нерастворимые примеси и взвешенные вещества минерального и органического происхождения. Для механической очистки применяются решетки для задержания крупных примесей - мусора, бумаги, тряпок, щепок и др., а также песколовки для извлечения из сточных вод тяжелых минеральных взвешенных веществ, главным образом песка. Основными сооружениями механической очистки являются отстойники, предназначенные для извлечения из воды нерастворенных загрязнений органического происхождения. Схема очистной станции для механической очистки представлена на рис. 14.1, а. В состав схемы, кроме перечисленных устройств, входят также сооружения для обработки осадка и для обеззараживания сточных вод перед выпуском в водный объект.

Биологический метод очистки основан на применении биохимических процессов минерализации органических загрязнений. Эти процессы на очистных станциях происходят в естественных условиях, например, на полях фильтрации, полях орошения и биологических прудах или в искусственно-созданных условиях на специальных окислительных сооружениях - в биофильтрах или в аэротенках. При этом биологической очистке обычно предшествует механическая очистка. На рис. 14.1, б представлена схема биологической очистки в естественных условиях, а на рис. 14.1, в то же в искусственно созданных условиях. Поскольку простая биологическая очистка обычно не удовлетворяет современным повышенным требованиям к чистоте водных объектов при сбросе в них сточных вод, в настоящее время обычно требуется производить еще допультельную очистку (доочистку) на барабанных сетках, фильтрах и микрофильтрах или в биологических прудах (рис. 14.1, г).

В ряде случаев при небольших расходах сточных вод и в неблагоприятных климатических условиях для очистки бытовых вод используются физико-химические методы. Они также основаны в основном на окислении органических загрязнений, но с помощью химических реагентов. Такая схема очистки изображена на рис. 14.1, д. При реагентной очистке в воду вводят коагулянты - сернокислый алюминий, хлорное железо, а также известь с добавками флокулянтов. Эти коагулянты способствуют образованию хлопьев и обеспечивают укрупнение частиц, а следовательно их ускоренному выпадению в отстойниках и сорбцию растворенных загрязнений. Кроме этого, при физико-химической очистке обычно применяют пропуск сточных вод через фильтры.

Для обеспечения обеззараживания воды, т.е. удаление из воды микробов и вирусов, перед выпуском в водный объект применяют ее хлорирование, при этом наряду с хлораторными в схему входят смесители воды с жидким хлором, склады хлора и контактные резервуары для взаимодействия воды с хлором. Наряду с хлорированием жидким хлором или хлорной известью используется гипохлорит натрия, диоксид хлора, озон. Все эти компоненты являются сильными окислителями органических соединений.

Для обеззараживания сточных вод иногда применяются также физические факторы, например ультрафиолетовое облучение воды, воздействия ультразвуком или радиоактивным излучением.

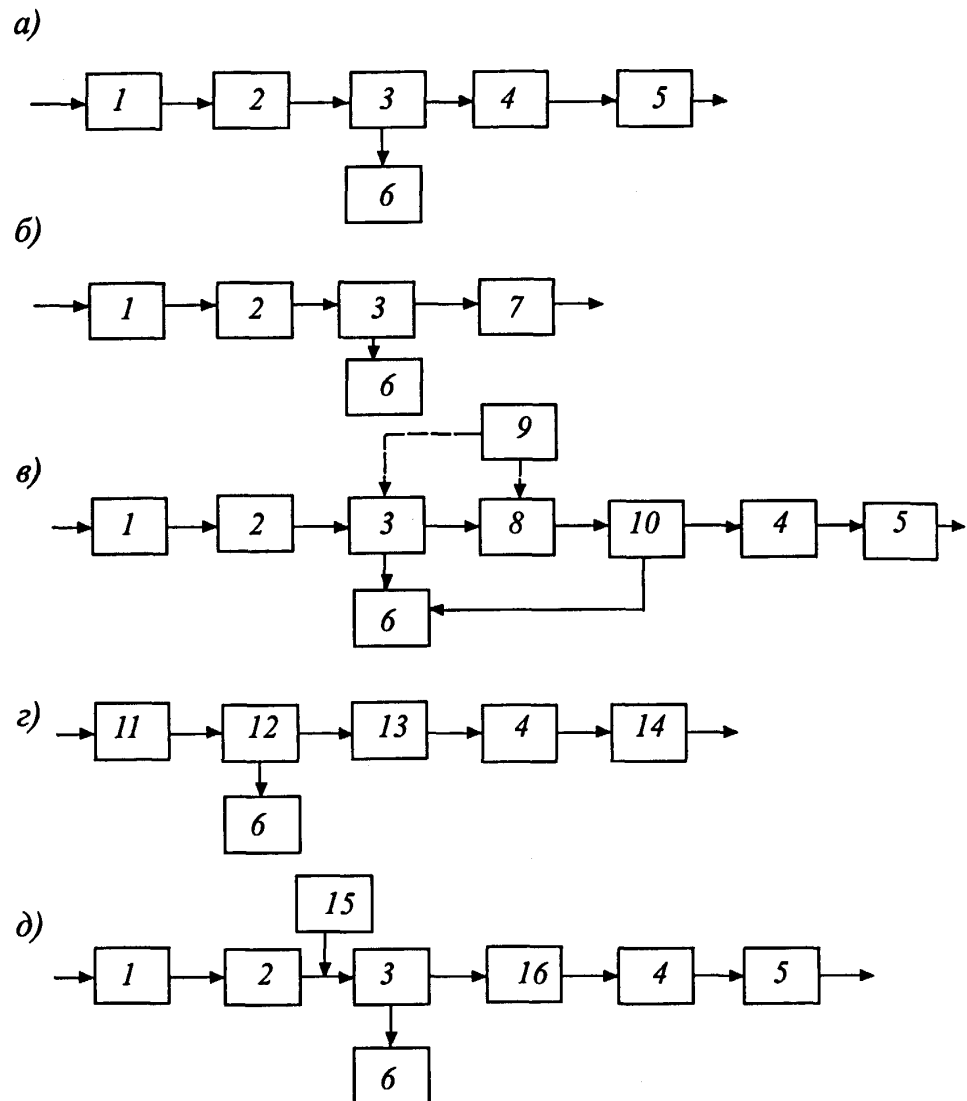


Рис. 14.1. Схемы очистных станций бытовых сточных вод:

а - механическая очистка; б - биологическая очистка в естественных условиях; в - то же в искусственных условиях; г - доочистка; д - физико-химическая очистка.

1 - решетки; 2 - песколовки, 3 - отстойники; 4 - сооружения для обеззараживания сточных вод; 5 - контактные резервуары; 6 - сооружения для обработки осадка; 7 - поля фильтрации (орошения), биологические пруды; 8 - биофильтры или аэротенки; 9 - воздухоподводящая станция; 10 - вторичные отстойники; 11 - механическая очистка; 12 - биологическая очистка; 13 - барабанные сетки, фильтры или микрофильтры; 14 - аэрационные пруды; 15 - реагентное хозяйство; 16 - фильтры

Для обработки осадка сточных вод применяются илоуплотнители, сооружения для анаэробного перегнивания (сбраживания) осадка - септики, метантенки, специальные камеры двухъярусных отстойников и осветлителей - перегнивателей и аэробные стабилизаторы. Для снижения влажности осадка и уменьшения его объема используются иловые площадки, вакуум-фильтры, фильтрпрессы, центрифуги и центрипрессы, печи для сушки осадка. Для обезвреживания осадка и использования его в качестве удобрений

применяется компостирование осадка вместе с бытовыми отбросами и сжигание осадка в кипящем псевдосжиженном слое.

14.6 Сооружения для очистки сточных вод и обработки осадка

При определении размеров отдельных сооружений очистной станции они должны округляться по возможности по высоте до размеров кратных 0,6 м, а по длине или диаметру – 3 м. При размещении очистных сооружений внутри зданий или размерах их менее 9 м, диаметры округляются до величины кратных 1 м, а прямоугольные сооружения до размеров кратных 1,5 м.

Все сооружения чаще всего выполняются из железобетона, а малые установки, особенно на Севере, часто изготавливаются из металла. Прямоугольные в плане установки рекомендуется блокировать и по возможности проектировать из унифицированных элементов.

Количество сооружений одинакового назначения (секций) должно быть не менее двух, для вторичных отстойников и иловых площадок не менее трех. Максимальное количество секций одного назначения желательно иметь не более 8-10 штук.

Решетки

Назначение решеток - задержание крупных загрязняющих предметов - камней, тряпок, бумаги, стекол и т.д.

В случаях, когда сточная вода подается на очистную станцию под напором и в насосной станции установлены решетки с прозорами не более 16 мм, а сама насосная станция расположена от очистных сооружений на расстоянии не далее 500 м, устройство отдельных решеток в составе сооружений для очистки сточных вод не обязательно.

Решетки состоят из отдельных прутьев, установленных в канале под углом 45-90° к горизонту (рис. 14.2). Расстояние между прутьями, т. е. прозоры решеток, на очистных станциях раньше принималось равным 16 мм. Однако последние исследования и опыт эксплуатации очистных сооружений, указывает на целесообразность уменьшения прозоров до 6 мм и даже в отдельных случаях до 4 мм. Съем отбросов с решетки при их объемах до 0,1 м³/сут разрешается производить вручную граблями, при большом количестве отбросов очистка решеток осуществляется механизированными граблями, укрепленными на бесконечной цепи с приводом от электродвигателя (рис. 14.2, б). Отбросы с решеток целесообразно собирать в контейнеры и вывозить в места обработки бытовых отходов. Применять для измельчения отбросов специальные дробилки теперь не рекомендуется, поскольку загрязнения задержанные на прутьях, чаще всего имеют волокнистый характер и дроблению плохо поддаются. Вместе с тем получили распространение так называемые решетки-дробилки, представляющие собой единый механизм. Основной элемент таких решеток - вращающийся барабан с прорезями. Вода протекает сначала внутрь барабана, затем течет через прозоры, а отбросы остаются на поверхности барабана и подвергаются измельчению ножами, прикрепленными к корпусу аппарата.

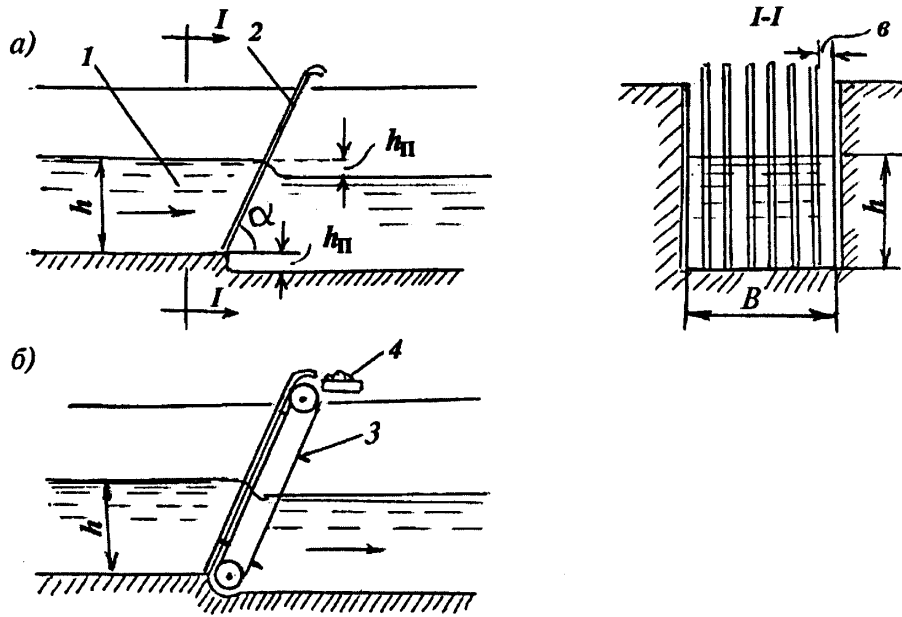


Рис. 14.2. Решетки: а - с ручной очисткой; б - с механизированными граблями; 1 - канал перед решеткой; 2 - прутья решетки; 3 – граблины на бесконечной цепи; 4 – транспортер

При расчете обычных решеток определяется необходимое число прозоров по формуле

$$n = \frac{q_m}{v_{пр} b h_{пр}}, \quad (14.10)$$

где q_m - максимальный расход сточных вод в канале перед решеткой, m^3/c ;
 $v_{пр}$ - скорость течения воды через решетку, m/c ; обычно рекомендуется $v_{пр} = 0,8...1 m/c$;
 b - ширина прозоров, m ;
 h - высота воды в канале решетки, m ;
 n_p - принятое число рабочих решеток.

Соответственно необходимая ширина канала, в котором устанавливается решетка, m , равняется

$$B = b n + n_s S, \quad (14.11)$$

где n_s - число прутьев (обычно $n_s = n - 1$);
 S - толщина прутьев, $S = 3...12 mm$.

Объем отбросов, снимаемых с решеток, можно оценить по формуле, $m^3/сут$:

$$W = \frac{a_1 N}{365 \times 1000}, \quad (14.12)$$

где a_1 - объем отбросов, приходящихся на 1 чел, $\text{дм}^3/\text{год}$; при $b = 16$ мм, $a_1 = 8$ $\text{дм}^3/\text{год}$ на чел;
 N - число жителей.

При ширине прозоров $b = 6$ мм объем отбросов возрастает примерно в 5 раз.

Песколовки

Песколовки служат для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей, главным образом песка. Применяются на очистных сооружениях при производительности более $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ и обычно всегда при наличии двухъярусных отстойников. Все песколовки работают на принципе отстаивания жидкости при медленной скорости ее течения. Песколовки бывают горизонтальные с прямолинейным течением и с круговым течением жидкости, а также азрируемые, тангенциальные (вертикальные с вращательным течением) и песколовки основанные на других принципах отстаивания.

Песколовки рассчитываются на задержание песка с крупностью зерен $0,15...0,25$ мм и более и гидравлической¹⁾ крупностью $u_0 = 13,2...24,2$ мм/с. Удаление песка из песколовки при его объеме до $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ может предусматриваться вручную с помощью лопат и ковшей, а при больших объемах в основном с помощью гидроэлеваторов. При этом в горизонтальных песколовках с прямолинейным течением жидкости приходится устраивать скребковый механизм (рис.14.3, а). В песколовках с круговым течением жидкости отстаивание происходит при протекании ее по расположенному кругом желобу. По середине желоба имеется щель, через которую песок проваливается в осадочную коническую часть (рис. 14.3, б). Скорость течения жидкости в горизонтальных песколовках (рис. 14.3, а, б) должны быть в диапазоне от $0,15...0,3$ м/с. Предполагается, что при скорости течения меньше $0,15$ м/с в песколовке начнут выпадать органические загрязнения, что совершенно недопустимо, поскольку в этом случае обработка задержанного песка очень усложнится. Продолжительность протекания воды в горизонтальной песколовке не более 30 с.

¹⁾ Под гидравлической крупностью понимается скорость осаждения частицы в покоящейся жидкости.

Ширина, м, секции горизонтальной песколовки

$$b = \frac{q_m}{v_m h n}, \quad (14.13)$$

где v_m - максимальная скорость течения, $v_m = 0,3$ м/с;
 h - рабочая глубина песколовки, $0,5...2$ м;
 n - число секций.

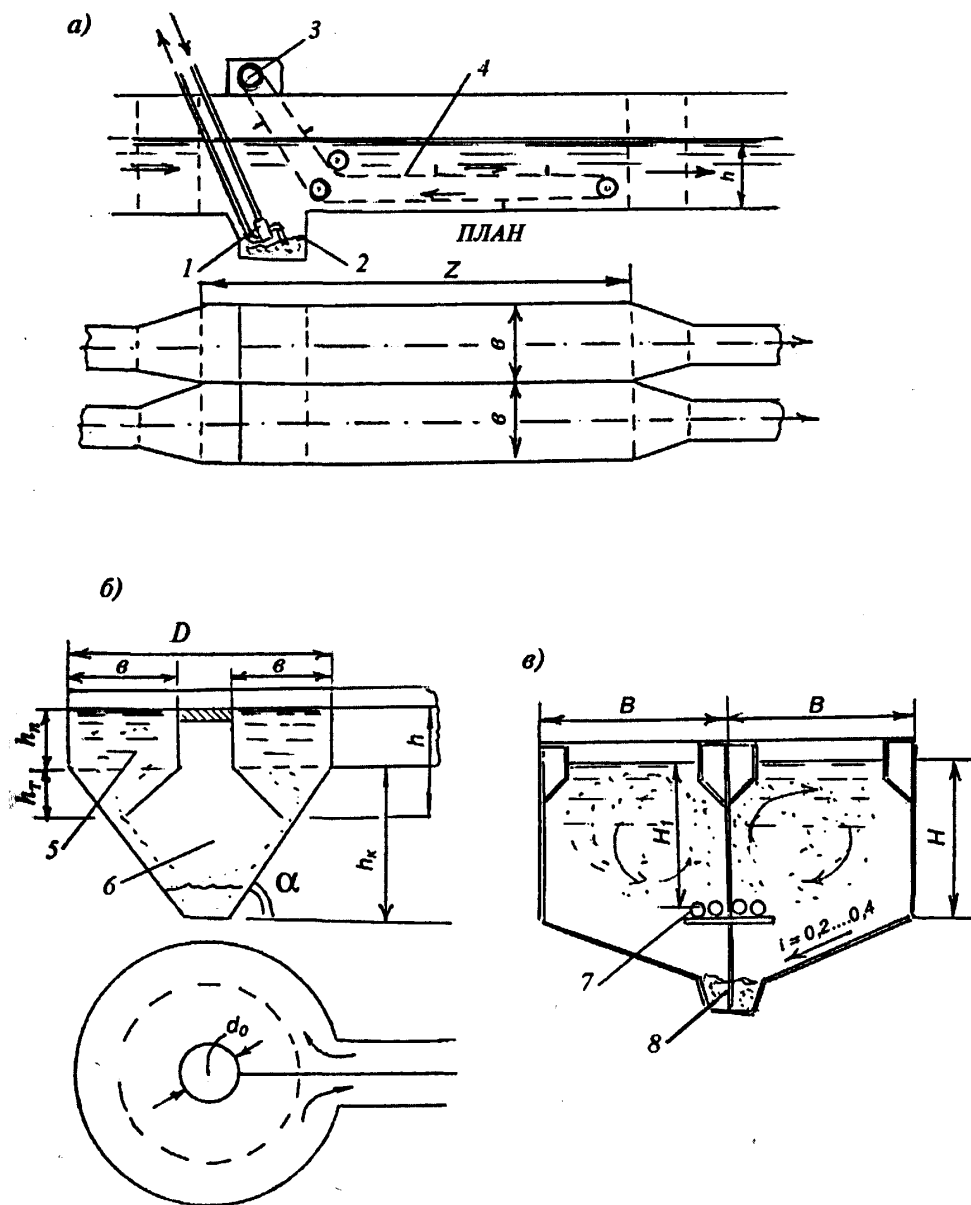


Рис. 14.3. Песколовки:

а – с прямолинейным течением воды; б - с круговым течением воды; в - горизонтальная аэрируемая песколовка:

1 - гидроэлеватор для удаления осадка; 2 - приямок; 3 - скребковый механизм; 4 - бесконечная цепь со скребками; 5 – круговой желоб со щелью; 6 – коническая часть для осадка; 7 - дырчатые трубы для нагнетания воздуха; 8 – перегородка

Длина секции песколовки

$$L = 1000 K_S h v_M / u_0 \quad (14.14)$$

где K_S - коэффициент, учитывающий турбулентность течения воды; при $u_0 = 18,7...24,2$

мм/с соответственно $K_S = 1,7$ до $1,3$.

Объем песка, задерживаемого в песколовке, определяется по формуле аналогичной (14.12), где $a_1 = 0,02$ $\text{дм}^3/\text{чел.сут}$ для песколовки с горизонтальным течением жидкости, а время пребывания песка в приемке не более 2 суток.

Диаметр, м, горизонтальных песколовки с круговым течением жидкости

$$D = \frac{v_M t}{\pi} + b, \quad (14.15)$$

где b - ширина желоба, м; обычно $b = 0,9 \dots 1,6$ м;
 t - время протекания жидкости, не более 30 с.

Высота желобов h в пределах $1,5 \dots 2$ м; высота усеченного конуса (см. рис. 14.3, б) равняется:

$$h_K = \frac{D - d_o}{2} \operatorname{tg} \alpha, \quad (14.16)$$

где d_o - диаметр нижнего основания, $d_o = 0,5 \dots 0,6$ м;
 α - угол наклона стенок, $\alpha = 60^\circ$.

Аэрируемые песколовки с поступательно-вращательным течением жидкости (рис. 14.3, в) снабжаются дырчатыми трубами, через которые нагнетается воздух. Эти трубы погружаются под воду на глубину $H_1 \approx 0,7 H$. Где глубина воды $H = 0,7 \dots 3,5$ м. Отношение $B:H$ от $1,3$ до $1,5$. Расположение дырчатых труб вдоль одной из стен песколовки дает возможность создавать в ней вращательное течение, препятствующее выпадению на дно легких органических загрязнений. Интенсивность аэрации $3 \dots 5$ $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Скорость продольного течения $0,08 \dots 0,12$ м/с.

Поперечный уклон дна песколовки к песковому лотку $0,2 \dots 0,4$. Песок из этого лотка вымывается в приемок при помощи гидросмыва, для этого вдоль него прокладывается смывной трубопровод со sprays. Из приемка песок, как обычно, удаляется при помощи гидроэлеватора. Аэрируемые песколовки рассчитаны на задержание песка гидравлической крупностью $u_o = 13,2 \dots 18,7$ мм/с. Количество задерживаемого песка $a_1 = 0,03$ $\text{дм}^3/\text{чел.сут}$. Содержание песка в осадке достигает $90 \dots 95$ %, тогда как у обычных горизонтальных песколовки не более 60 %.

Песок из песколовки подсушивается на специальных песковых площадках или в бункерах. Этот песок после промывки в гидроциклонах можно использовать для планировки территорий, предварительно отделив легкие органические загрязнения в спиральных классификаторах.

Отстойники

Назначение отстойников - выделение из сточных вод нерастворенных загрязнений органического происхождения, как оседающих, так и всплывающих. Во многих случаях в отстойниках также осуществляется минерализация (перегнивание)

выпавшего в них осадка.

По назначению отстойники разделяются на первичные, для удаления органических веществ перед биологической очисткой, и вторичные для отстаивания воды от биологической пленки или активного ила, образующихся в процессе биологической очистки.

Отстойники разделяются также по направлению течения в них воды на горизонтальные, в том числе двухъярусные, отстойники и септики, вертикальные и радиальные. Выбор того или иного типа отстойника производится в основном по экономическим соображениям. В соответствии с ними септики, как простейшие горизонтальные отстойники, применяются при очень малых расходах до $25 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Двухъярусные отстойники при расходах до 10 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ Вертикальные отстойники в основном при расходах до 20 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ При расходах более 15 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ и низком расположении грунтовых вод наряду с вертикальными могут применяться и горизонтальные отстойники. Радиальные отстойники используются на очистных станциях больших городов или промпредприятий при расходах сточных вод более 20...25 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$

Вторичные отстойники по конструкции аналогичны первичным. Разновидностью вертикальных отстойников являются биокоагуляторы, осветлители с естественной аэрацией и осветлители-перегниватели.

На железнодорожном транспорте чаще всего применяются двухъярусные отстойники и осветлители перегниватели, а для очистки сточной жидкости от отдельно стоящих зданий - септики.

Септики

Прямоугольные или круглые в плане резервуары в которых бытовые сточные воды медленно протекают в течение 2,5...3 суток (рис. 14.4). Загрязнения, содержащиеся в сточных водах, в основном выпадают на дно и перегнивают (сбраживаются) в течение 6...12 месяцев, а затем вывозятся на иловые площадки ассенизационными машинами. Легкие загрязнения поднимаются на поверхность воды в септике, из них образуется корка толщиной от 0,3 до 1 м. Для уменьшения выноса частичек загрязнений вместе с водой септики разделяются перегородками с отверстиями на камеры, как показано на рис. 14.4.

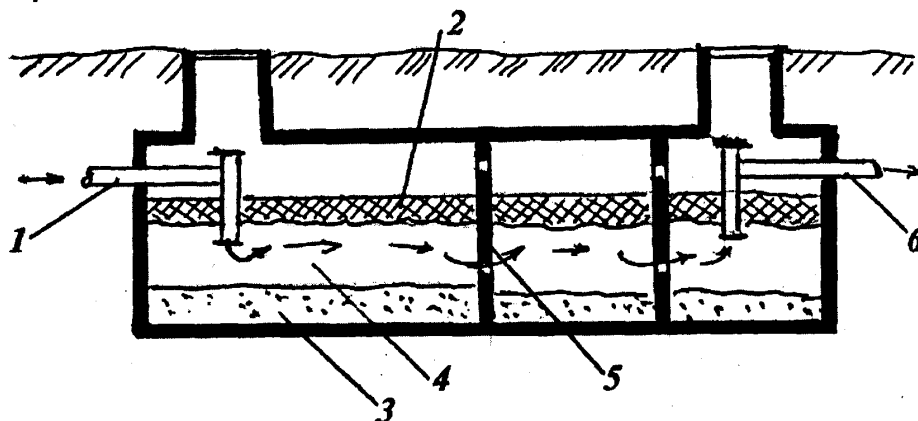


Рис. 14.4. Септик:

1 - впускной трубопровод; 2 - корка; 3 - септическая часть (осадок); 4 - отстойная часть; 5 - перегородки с отверстиями; 6 - выпуск

Бывают трехкамерные септики, а также двух и однокамерные. Для однокамерных часто используются готовые железобетонные кольца. Они применяются при расходах до 1 м³/сут. При расходах ≥ 5 м³/сут в септиках предусматриваются два отделения. Минимальные размеры септиков: глубина $H \geq 3$ м, а длина L и ширина B (или диаметр) ≥ 1 м. Расстояние от поверхности земли до дна септика по условиям работы ассенизационных машин должно быть не более 3,2 м.

Для прямоугольного септика длина L определяется по формуле

$$L = \frac{W_c}{BH}, \quad (14.17)$$

диаметр круглого септика

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W_c}{\pi \cdot H}}, \quad (14.18)$$

где W_c - объем септика $W_c = 3Q_{\text{сут}}$ при $Q_{\text{сут}} \leq 5$ м³/сут и $W_c = 2,5Q$ при $Q_{\text{сут}} > 5$ м³/сут. $Q_{\text{сут}}$ - суточный расход сточных вод.

Двухъярусные отстойники

Круглые или прямоугольные в плане глубокие резервуары, предназначенны как для отстаивания сточных вод, так и для перегнивания выпавшего на дно осадка. Для отстаивания воды в верхней части отстойника размещены два (иногда один) желоба с продольной щелью в треугольной части (Рис. 14.5). Они представляют собой горизонтальные отстойники. Нерастворенные загрязнения по мере протекания воды по желобу проваливаются в щель (шириной 0,15 м) и попадают в септическую часть, предназначенную для перегнивания осадка. Иногда два отстойника спариваются, тогда длина желобов увеличивается в два раза. Ширина желобов $b \leq 2,8$ м.

Эффективность задержания органических нерастворенных загрязнений очень не высокая (до 50 %), влажность осадка – 90 %. Время протекания воды по желобу составляет 1,5 ч. Осадок под действием анаэробных бактерий перегнивает по несколько месяцев, до полугода. Объем осадка дм³/чел - год зависит от среднезимней температуры сточных вод и принимается по СНиП 2.04.83-85. “Канализация”.

Диаметр отстойника принимается не более 9 м, соответственно назначается и длина желобов в тех же пределах.

Объем септической части (м³) определяется по формуле

$$W_{oc} = \frac{W_{ил}NK_y}{1000}, \quad (14.19)$$

где $W_{ил}$ - объем осадка, дм³/чел - год, принимается по СНиП;
 N - число жителей;

K_y - коэффициент увеличения объема за счет поступления биологической пленки ($K_y = 1,8$) или активного ила ($K_y = 1,7$) из вторичных отстойников.

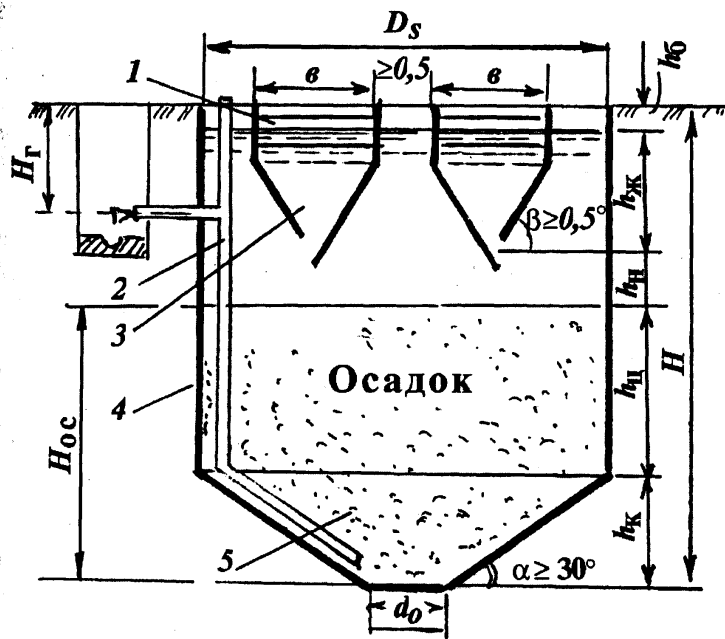


Рис. 14.5. Двухъярусный отстойник:

1 - полупогруженные доски в начале и в конце желобов для равномерного распределения воды; 2 - иловая труба; 3 - желобы; 4 - корпус отстойника; 5 – иловая (септическая) часть

При известной величине $W_{ос}$ не представляет труда определить значения высот h_k и $h_{ц}$ (см. рис. 14.5), а следовательно и полную высоту $H_{ос}$, занятую осадком.

Общая глубина отстойника

$$H = h_b + h_{ж} + h_{н} + H_{ос} \leq 12 \text{ м}, \quad (14.20)$$

- где h_b - расстояние от поверхности воды до верха стенки отстойника ($h_b = 0,3$ м);
 $h_{ж}$ - высота желобов ($h_{ж} = 1,2 \dots 2,5$ м);
 $h_{н}$ - нейтральный слой воды ($h_{н} = 0,5$ м).

Удаление осадка производится по иловой трубе $D = 200$ мм, по которой при открытии задвижки осадок выдавливается в колодец под действием гидростатического напора $H_{г} = 1,5$ м.

Вертикальные отстойники

Вертикальные отстойники - круглые в плане обычно железобетонные резервуары, диаметром от 4 до 9 м. Вода в отстойник подается по желобу и сначала попадает в вертикальную трубу (рис. 14.6), по которой опускается в нижнюю часть отстойника. Здесь вода вытекает через щель, образованную центральной трубой и отражательным щитом,

меняет направление течения и медленно поднимается вверх к сборным желобам, при этом происходит ее отстаивание и осаждение нерастворенных органических загрязнений. Осадок скапливается в конической части отстойника, откуда не реже, чем через двое суток удаляется по иловой трубе. Главный недостаток вертикальных отстойников состоит в том, что кроме них в составе очистной станции необходимо иметь отдельные сооружения для перегнивания осадка.

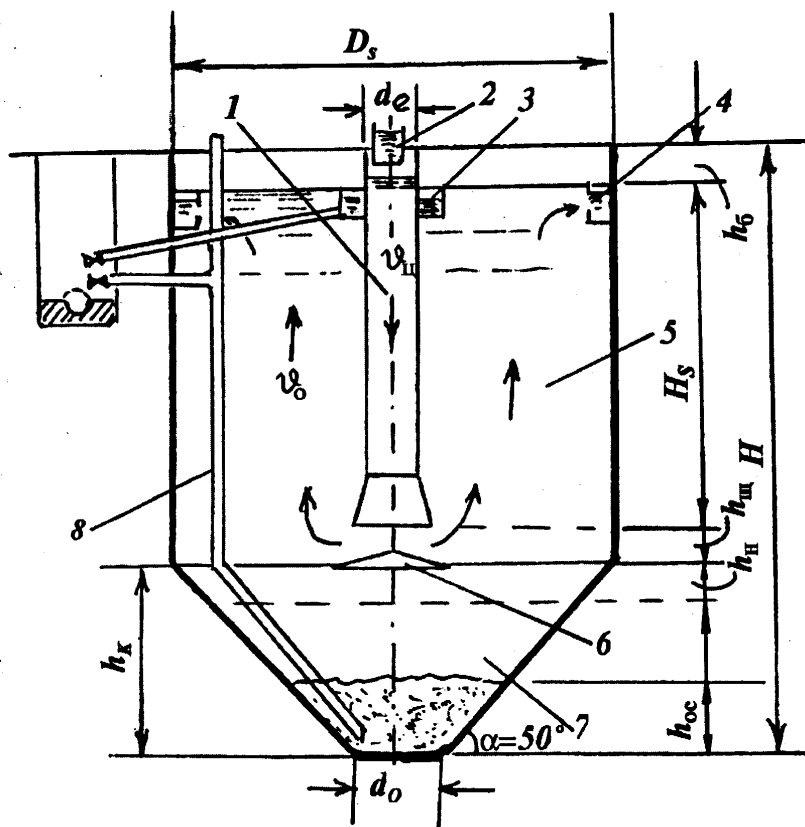


Рис. 14.6. Вертикальный отстойник:

1 - центральная труба; 2 - водоподводящий лоток; 3 - круговые лотки для отделения всплывших загрязнений; 4 - сборные круговые желоба; 5 - зона отстаивания; 6 - отражательный щит; 7 - коническая часть для осадка; 8 - иловая труба

Необходимый диаметр отстойника D_s определяется из уравнения

$$q = \frac{3,6\pi}{4} n K_s (D_s^2 - d_e^2) u_o, \quad (14.21)$$

где q - расход сточных вод, м³/ч;
 n - принятое число отстойников ($n \geq 2$);
 K_s - коэффициент использования объема отстойника ($K_s = 0,35$);
 d_e - диаметр центральной трубы, м; его величина определяется по уравнению неразрывности, исходя из скорости течения $u_{ц} \leq 30$ мм/с;
 u_o - гидравлическая крупность осадка, назначается по данным СНиП

2.04.83-05.

Высота центральной трубы назначается по опыту проектирования $H_s = 2,7 \dots 3,8$ м.
 Высота конической части отстойника

$$h_k = \frac{(D_s - d_o) \operatorname{tg} \alpha}{2}, \quad (14.22)$$

где d_o - диаметр нижнего основания отстойника, м; ($d_o = 0,5 \dots 0,6$ м);
 α - угол наклона конической части отстойника ($\alpha = 50^\circ$).

Общая высота отстойника

$$H = h_6 + H_s + h_{\text{щ}} + h_k, \quad (14.23)$$

где $h_{\text{щ}}$ - высота щели, определяется, исходя из скорости течения в щели $v_{\text{щ}} \leq 20$ мм/с.

Осветлители-перегниватели

Осветлителем-перегнивателем называется комбинированное сооружение, в центре которого находится осветитель с естественной аэрацией, а вокруг него располагается камера для перегнивания осадка (рис.14.7).

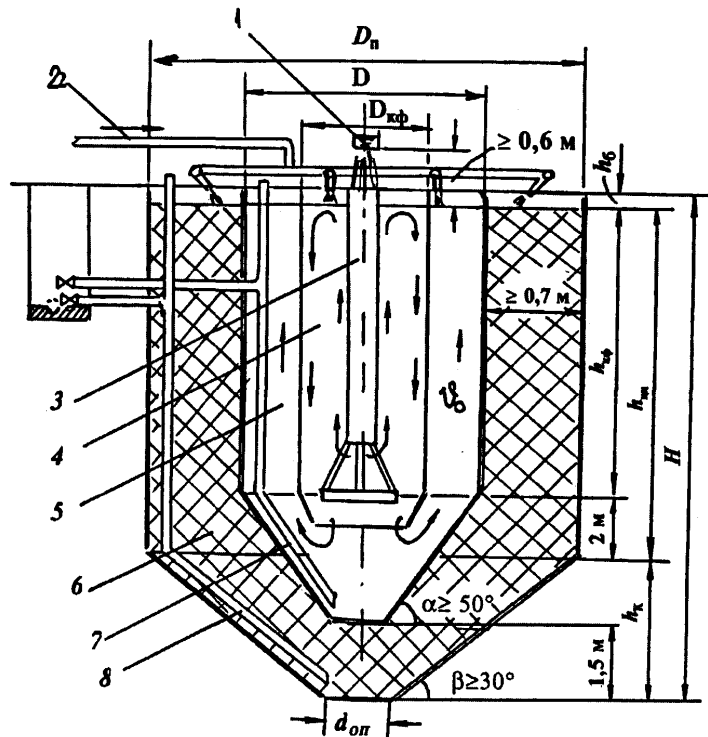


Рис. 14.7. Осветлитель-перегниватель:

1 - подводящий канал; 2 - напорная труба для подачи осадка из осветлителя; 3 – центральная труба; 4 – камера флокуляции; 5 - зона отстаивания; 6 - камера перегнивания; 7 и 8 - иловые трубы

Осветлитель с естественной аэрацией представляет собой вертикальный отстойник с внутренней камерой флокуляции. В нее по центральной трубе поступает сточная вода, насыщенная воздухом с добавлением био пленки или активного ила из вторичных отстойников. Насыщение сточной воды воздухом производится естественным путем, за счет свободного падения потока воды из подводящего лотка в центральную трубу с высоты не менее 0,6 м. В камере флокуляции вода находится примерно 20 мин, при этом происходит процесс укрупнения мелкодисперсных примесей (флокуляция) и процесс коагуляции, т.е. образования хлопьев, которые в свою очередь способствуют сорбции загрязнений. Осадок, выпавший на дно осветлителя, по иловой трубе удаляется и по трубопроводу самотеком протекает в резервуар иловой насосной станции, откуда насосами перекачивается в верхнюю часть перегнивателя. Перегнивший осадок направляется на дальнейшую обработку.

Площадь зеркала камеры флокуляции определяется по формуле

$$F_{кф} = \frac{qt}{n_{oc} h_{кф}}, \quad (14.24)$$

где t - продолжительность пребывания воды в камере флокуляции (0,33 ч);
 $h_{кф}$ - высота камеры флокуляции, м; по опыту проектирования $h_{кф} = 4...5$ м.

Соответственно площадь зеркала отстойной части осветлителя

$$F_o = \frac{q}{3,6n_{oc} v_{от}}, \quad (14.25)$$

где $v_{от}$ - скорость течения в отстойной зоне, мм/с; ($v_{от} = 0,8...1,2$ мм/с).

Площадь зеркала камеры перегнивателя

$$F_n = \frac{W_n}{h_{цн}}, \quad (14.26)$$

где W_n - объем осадка в перегнивателе, м³;
 $h_{цн}$ - высота цилиндрической части камеры-перегнивателя, $h_{цн} = 6 - 7$ м.

Общая площадь зеркала $F = F_{кф} + F_o + F_n$ следовательно диаметр D_n осветлителя - перегнивателя равен

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \leq 15 \text{ м}, \quad (14.27)$$

Высота осветлителя - перегнивателя, м:

$$H = h_{\text{б}} + h_{\text{цп}} + h_{\text{к}}, \quad (14.28)$$

Осветлители - перегниватели по задержанию взвешенных веществ имеют эффективность до 70 %, т. е. существенно превосходят двухъярусные отстойники.

Биофильтры

В биологических фильтрах сточная вода фильтруется через слой крупно - зернистого материала, которым загружается это сооружение. На поверхности зерен загрузки биофильтра образуется биологическая пленка, представляющая собой колонии аэробных микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности. При фильтрации сточной воды коллоидальные и растворенные органические загрязнения адсорбируются биопленкой, а содержащиеся в ней бактерии минерализуют их. В качестве загрузки используется щебень твердых пород, галька, керамзит, блоки из разных материалов, в том числе из пластмассы и др.

Для возможности жизнедеятельности бактерий в загрузку должен подаваться воздух, для этого осуществляется вентиляция биофильтров естественная или искусственная. Для естественной вентиляции в поддренажном пространстве предусматриваются окна. При искусственной вентиляции воздух подается от воздухоподувки или компрессора. На железнодорожном транспорте чаще всего используются капельные биофильтры (при расходах сточных вод до 1000 м³/сут) . При больших расходах применяются также высоконагружаемые биофильтры или аэрофильтры. Известны также другие типы биофильтров - дисковые, башенные и др.

Капельные биофильтры (рис. 14.8) обычно прямоугольные в плане сооружения с высотой загрузки $H = 1,5...2$ м. Крупность кусков загрузки 20...40 мм. Нижний поддерживающий загрузку слой толщиной 0,2 м, укладывается из кускового материала размером 70...100 мм. Вентиляция обычно естественная, для этого в поддренажном пространстве устраиваются окна, а сам биофильтр, как правило, располагается на поверхности земли.

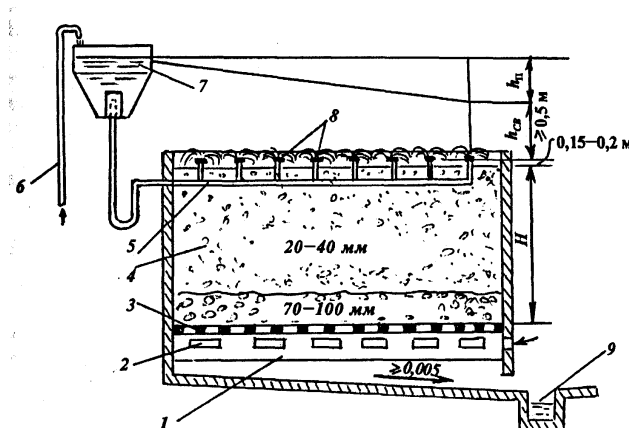


Рис. 14.8. Капельный биофильтр:

1 - поддренажное пространство; 2 - вентиляционные окна; 3 - дренаж; 4 - загрузка биофильтра; 5 – распределительный трубопровод; 6 – трубопровод для подачи воды на очистку; 7 - дозирующий бак; 8 – разбрызгиватели (спринклеры); 9 - отводящий канал

Важное значение имеет равномерная и в то же время периодическая подача сточной воды на фильтрацию. Сточная вода сначала поступает в дозирующий бак, пока он не заполнится полностью, а затем по распределительному трубопроводу и через разбрызгиватели (спринклеры) автоматически выливается на поверхность биофильтра. Далее снова происходит заполнение дозирующего бака, в это время фильтр вентилируется и вода в него не поступает. Перерыв между орошениями поверхности биофильтра 5...8 мин, а время орошения 5...6 мин. Вода, поступившая в тело биофильтра, находится в нем в течение времени до 2 часов. Напор воды у дозирующего бака примерно 1,5 м, а у самого удаленного спринклера не менее 0,5 м. Спринклеры представляют собой насадки, снабженные зонтиками-отражателями потока. Диаметр отверстий спринклеров подбирается по графикам и составляет 13...40 мм. Для равномерного орошения они размещаются в шахматном порядке.

Биологическая плёнка по мере очистки воды разрастается и периодически частично вымывается из биофильтра, она осаждается во вторичном отстойнике и далее подается на обработку и утилизацию.

Общая площадь одной секции биофильтра (m^2) в плане определяется по формуле

$$f = \frac{Q}{q_n n_{\phi}}, \quad (14.29)$$

где Q - суточный расход сточных вод, $m^3/сут$;
 q_n - гидравлическая нагрузка на биофильтр, $m^3/m^2 \cdot сут$; для капельных биофильтров нагрузка находится в пределах $q_n = 1...3 m^3/m^2 \cdot сут$ и назначается по СНиП;
 n_{ϕ} - число секций биофильтра, обычно от 2 до 8.

При известной величине f вычисляются размеры биофильтра в плане.

В высоконагружаемых биофильтрах гидравлическая нагрузка больше почти в 10 раз, за счет этого соответственно удается уменьшить площадь поверхности биофильтров при больших расходах сточных вод. Увеличение гидравлической нагрузки достигается рядом конструктивных и эксплуатационных особенностей высоконагружаемых биофильтров. В частности, крупность загрузки в них увеличена до 40...70 мм; высота загрузки достигает 2...4 м. При высоте загрузки более 2 м всегда применяется искусственная вентиляция, для этого в поддренажном пространстве прокладываются дырчатые трубы, по которым подается воздух от воздуходувки. Поэтому такие биофильтры называют аэрофильтрами, При $BPK_{20} > 300 \text{ мг/дм}^3$ предусматривается рециркуляция, т.е. часть воды из вторичных отстойников перекачивается в лоток перед биофильтрами для разбавления стоков. Распределение воды на поверхности биофильтра может осуществляться как при помощи дозирующего бака и спринклеров, так и путем применения реактивного оросителя, устроенного на подобие известного Сегнера колеса.

При небольших расходах сточных вод находят применение дисковые биофильтры. Они состоят из пакета вращающихся дисков, погруженных на половину в ванну со сточными водами (рис. 14.9). Число дисков в каждом пакете до 100 штук, диаметры их 2...3 м. Чаще всего диски выполняются из листового алюминия, толщиной 4 мм и располагаются на расстоянии 15...20 мм друг от друга. Вал дисков вращается со скоростью 2...3 об/мин в сторону течения жидкости. Обычно через 5...6 дней после пуска биофильтра в работу на рабочей поверхности дисков нарастает биопленка, адсорбирующая загрязнения, а находящиеся в ней микроорганизмы окисляют их. Толщина биопленки не превышает 4...5 мм, поэтому в междисковое пространство свободно поступает кислород при вращении диска. Обычно устанавливается последовательно ряд ванн с дисками и вода протекает из одной ванны в другую.

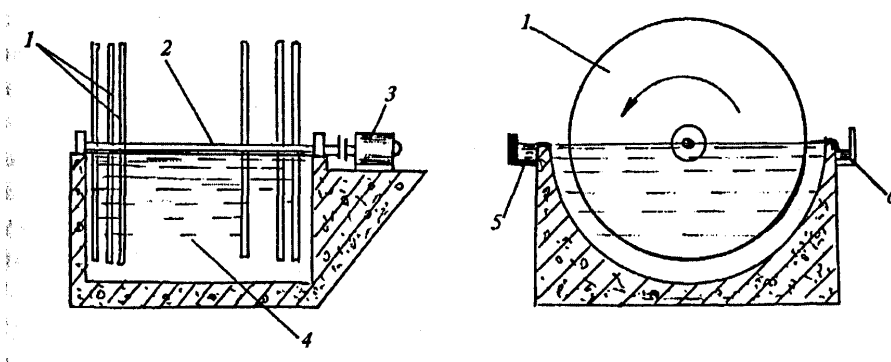


Рис. 14.9. Схема дискового биофильтра:

1 - дисковые пластины; 2 - вращающийся вал; 3 - электродвигатель; 4 - ванна со сточными водами; 5 и 6 – подводящий и сборный лотки

Аэротенки. Аэротенки - это удлиненные в плане резервуары, в которых сточные воды медленно протекают в смеси с активным илом.

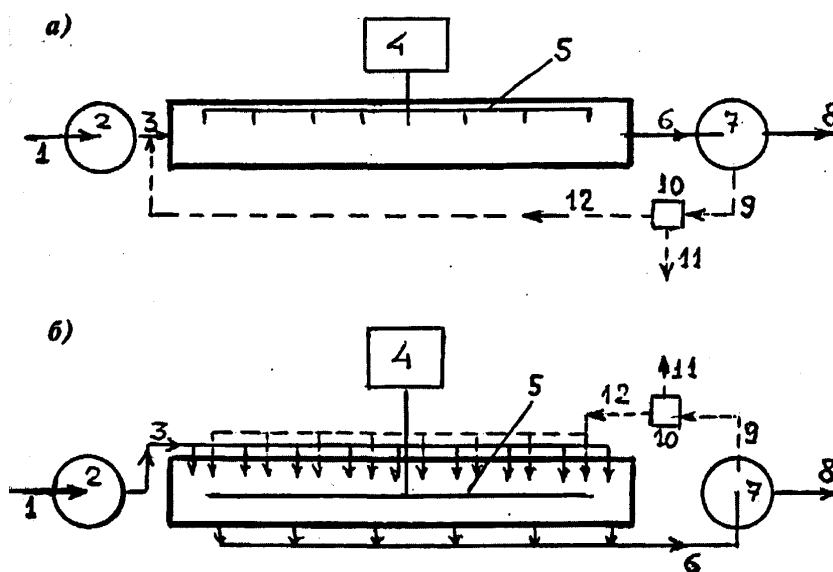
Активный ил представляет собой хлопья биопленки, состоящие из колоний аэробных микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности. Растворенные и коллоидальные загрязнения, содержащиеся в сточных водах, адсорбируются активным илом, а бактерии окисляют их. Для обеспечения жизнедеятельности бактерий, а также для поддержания активного ила в воде во взвешенном состоянии и перемешивания его, вода в аэротенках непрерывно насыщается воздухом.

Аэротенки разделяются на аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки-отстойники. В аэротенках-вытеснителях сточные воды поступают с одного торца и вытекают из другого (рис. 14.10, а). В начало аэротенка подается также активный ил, который осаждается во вторичном отстойнике, это так называемый циркулирующий активный ил. Поскольку объем активного ила по мере очистки воды возрастает, то часть его - избыточный активный ил, перекачивается на дальнейшую обработку. Аэротенки вытеснители применяются в основном при загрязненности воды по БПК₂₀ до 300 мг/дм³. Для уменьшения длины аэротенков их часто проектируют из нескольких коридоров, от 2 до 4. Вода последовательно протекает из первого коридора во второй и так далее.

Для сточных вод, в которых вместе с водой возможны залповые поступления токсичных веществ, применяются аэротенки-смесители. Они отличаются тем, что в них подача сточных вод и циркулирующего активного ила производится рассредоточенно на

первой половине или по всей длине аэротенка (рис. 14.10, б). Сбор очищенной воды осуществляется в торце или также по всей длине аэротенка. Эти мероприятия позволяют несколько выровнять нагрузку на активный ил и улучшить кислородный режим в аэротенке.

Очистка воды в аэротенке осуществляется в две стадии. На первой из них, продолжительностью до 2-х часов, загрязнения адсорбируются активным илом, а на второй стадии происходит окисление органических загрязнений в активном иле, после чего восстанавливается его адсорбирующая способность. Для второй стадии часто выделяются в отдельные сооружения - р е г е н е р а т о р ы, которые всегда предусматриваются при $BPK_{20} > 150 \text{ мг/дм}^3$, а также при наличии в воде вредных примесей. Под регенераторы выделяется 25, 50 или 75% общего объема аэротенков. Число



секций аэротенков должно быть не менее 2. Рабочую глубину аэротенка принимают обычно от 3 до 6 м. Отношение ширины коридора к рабочей глубине от 1:1 до 2:1. Отношение длины коридора к ширине обычно равно или более 30.

Рис. 14.10. Схемы аэротенков:

а - аэротенк-вытеснитель; б - аэротенк-смеситель: 1 – подача сточных вод после механической очистки; 2 - первичный отстойник; 3 - подача сточных вод в аэротенк; 4 - воздуходувная станция; 5 - воздуходухораспределители; 6 – очищенная вода; 7 – вторичный отстойник; 8- вода на дальнейшую обработку; 9 - активный ил; 10 - иловая насосная станция; 11 - избыточный активный ил; 12 – циркулирующий активный ил

Аэрирование воды в аэротенке осуществляется при помощи аэраторов пневматических или механических.

В качестве пневматических аэраторов чаще всего используются пористые п л а с т и н ы - ф и л ь т р о с ы, устанавливаемые на дне аэротенка над воздушным каналом (рис. 14.11, а), в который воздух от воздуходувной станции подается по стоякам. Фильтросные пластины изготовляют из керамической массы и шамота. Размеры пластин в плане 0,3 x 0,3 м, толщина 0,04 м. Вместо фильтрос широко применяются аэраторы в виде пористых колпачков или пористых труб (рис. 14.11, б) и, в частности, труб фирмы “Экополимер”, изготовленных из пластмасс. Применяются также эжекторные аэраторы, схема такого аэратора представлена на рис. 14.12. Для механической аэрации используются различного

рода мешалки или турбинки с лопастями с приводом от электродвигателя (рис. 14.11, в). Эти механизмы устанавливаются на стационарных платформах над аэротенком или на понтонах, плавающих на поверхности воды в аэротенке.

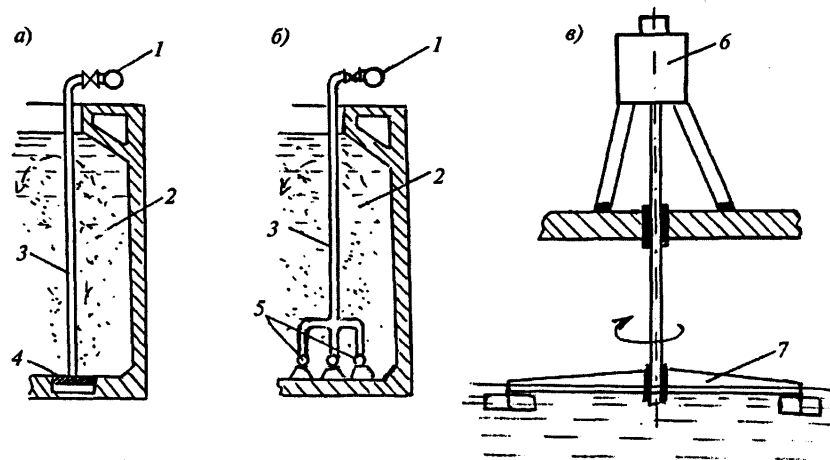


Рис. 14.11. Распределение воздуха в аэротенке:

а - при помощи фильтросных пластин; б - при помощи пористых труб; в - механический поверхностный аэратор: 1 - воздуховод; 2 - аэротенк; 3 - воздушные стояки; 4 - фильтросы; 5 - пористые трубы; 6 - электродвигатель; 7 - лопасти турбины

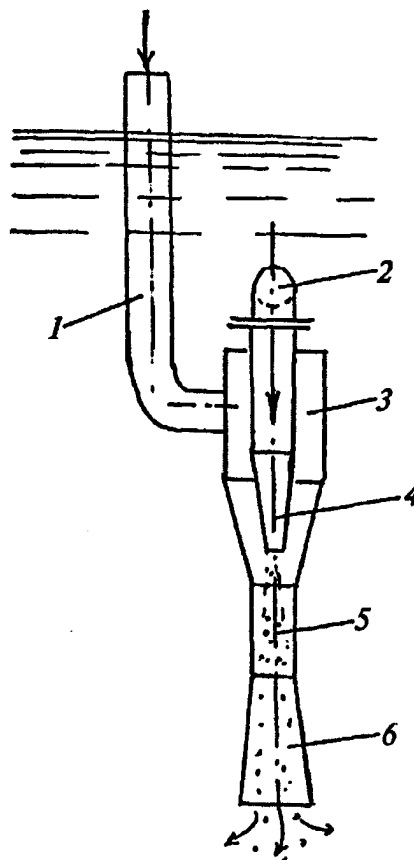


Рис. 14.12. Эжекторный аэратор:

1 - воздухоприемный патрубок; 2 – напорный трубопровод; 3 – приемная камера; 4 – сопло; 5 – камера смешения; 6 – диффузор

Расчет аэротенка заключается в определении продолжительности аэрации t в часах по формулам, приведенным в СНиП. При известном времени t , объем (m^3) аэротенка равен

$$W = t Q_{cp}, \quad (14.30)$$

где Q_{cp} - среднечасовое поступление в аэротенк воды за время t в часы максимального притока, $m^3/ч$.

Далее намечается число секций и определяются размеры секций и коридоров.

На железнодорожном транспорте при сравнительно небольших расходах сточных вод находят применение, разработанные в Академии коммунального хозяйства, компактные аэрационные установки, типа КУ, рассчитанные на расходы сточных вод от 12 до 700 $m^3/сут$. На рис. 14.13 представлена металлическая сварная аэрационная компактная установка КУ заводского изготовления, производительностью 12 $m^3/сут$. Она представляет собой резервуар, разделенный перегородками на зону аэрации и зону отстаивания.

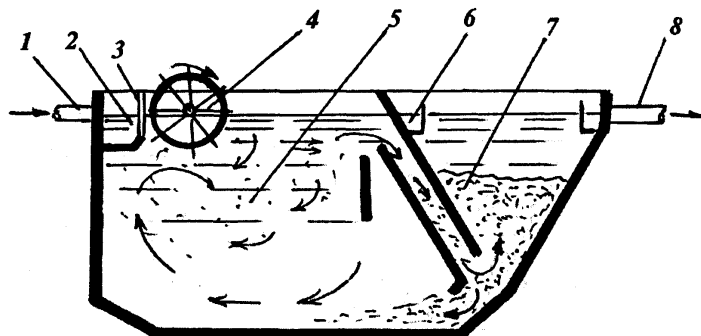


Рис. 14.13. Компактная установка для биологической очистки сточных вод:
1 - впускная труба; 2 - пескоулавливающий лоток; 3 - решетка; 4 - роторный аэратор; 5 - зона аэрации; 6 – сборный лоток; 7 – отстойная зона; 8 - выпускная труба

Вода поступает в зону аэрации через пескоулавливающий лоток с решеткой. Здесь вода смешивается с активным илом, поступающим из зоны отстаивания и подвергается длительной аэрации (до 24 часов) при помощи роторного аэратора с лопастями. В результате происходит окисление органических загрязнений и частичная минерализация активного ила, поэтому такие установки называют “работающими на полное окисление”. Из зоны аэрации вода протекает в зону отстаивания, где находится до 1,5 ч. Отстоявшийся активный ил частично возвращается в зону аэрации. Прирост активного ила в установках на полное окисление незначителен. Очищенная вода переливается в сборный лоток и удаляется. Компактные установки на расход воды 200, 400 и 700 $m^3/сут$, кроме зон аэрации и отстаивания, имеют также зону аэробной стабилизации осадка.

При небольших расходах сточных вод рекомендуется применять также аэротенки

“Биокомплект” производительностью от 200 до 1000 м³/сут, изготавливаемые объединением Инжсельстрой в г. Люберцы Московской области и другие подобные установки, выпускаемые отдельными фирмами.

Наряду с ликвидацией в сточных водах органических растворенных и коллоидальных загрязнений, аэротенки применяются для удаления из воды соединений азота и фосфора, т.е. так называемых биогенных веществ. Эти вещества попадая в водные объекты вызывают эвтрофикацию, в результате чего происходит разрастание в воде водорослей - цветение воды.

Удаление азота осуществляется путем нитрификации и денитрификации в процессе биологической очистки воды. Известно, что под действием аэробных нитрифицирующих бактерий, содержащийся в сточных водах растворенный аммиак (NH₃) окисляется и сначала превращается в нитриты, а затем под действием денитрифицирующих бактерий в нитраты, при этом выделяется свободный азот, который удаляется в атмосферу.

Удаление из воды фосфора осуществляется путем добавления в нее химических реагентов.

Обеззараживаниесточныхвод

Перед выпуском в водный объект с целью уничтожения патогенных бактерий сточные воды подвергаются обеззараживанию.

Наиболее простым способом обеззараживания является окисление всех органических соединений в воде х л о р н о й и з в е с т ь ю или ж и д - к и м х л о р о м. Доза хлора после одной механической очистки составляет 10 г/м³ воды, а после полной биологической очистки она равна 3...5 г/м³. Время контакта воды с хлором должно быть не менее 30 мин., для этого перед выпуском воды в водный объект ее направляют в контактные резервуары. Последние аналогичны по устройству обычным отстойникам.

В последнее время вместо хлора часто применяется обеззараживающий хлорагент - г и п о х л о р и т н а т р и я (NaClO), получаемый на месте потребления при помощи электролизных установок (электролизерах). В качестве исходного сырья для гипохлорита натрия служит раствор поваренной соли (NaCl). Достаточная эффективность гипохлорита натрия достигается при его концентрации в сточной воде 1,5...3,5 г/м³.

Однако известно, что при реакции хлора с растворенными органическими веществами образуется вредная для человека канцерогенная хлорорганика. Поэтому наряду с хлорированием начинают внедряться такие альтернативные окислители как диоксид хлора (ClO₂) и озон.

Для обеззараживания воды без применения химикатов применяются физические воздействия на бактерии - ультрафиолетовое облучение и ультразвук.

Доочисткабиологическиочищенныхсточныхвод

После биологической очистки в сточных водах остаются загрязнения, показатели которых БПК₂₀ ≈ 15...20 мг/дм³ и К_{ВВ} до 40 мг/дм³. Такая вода, как правило, не удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям по защите водных объектов от загрязнений, поэтому после биологической очистки рекомендуется применять доочистку. Наиболее распространенными методами доочистки бытовых вод являются: фильтрация воды через скорые фильтры или контактные осветлители с предварительным пропуском воды через барабанные сетки, очистка воды на микрофильтрах или в биологических прудах. В последнее время для доочистки находят применение, разработанные в НИИ ВОДГЕО, биореакторы и биосорберы.

Барабанные сетки (рис. 14.14) представляют собой полые барабаны обтянутые сетчатым полимерным материалом с размерами ячеек 300...400 мкм. Вода поступает внутрь барабана и профильтровав через сетку собирается в резервуар, в который примерно на 4/5 диаметра погружен барабан. Для очистки от загрязнений барабан медленно вращается и сетка непрерывно или периодически промывается струей очищенной воды через сопла, установленные на промывном трубопроводе. Для отведения загрязненной воды она после промывки сетки попадает в бункер, откуда отводится в начало очистных сооружений. Сетчатый фильтр улавливает примеси крупнее 0,5 мм и тем самым защищает последующий за ним зернистый фильтр от быстрого засорения.

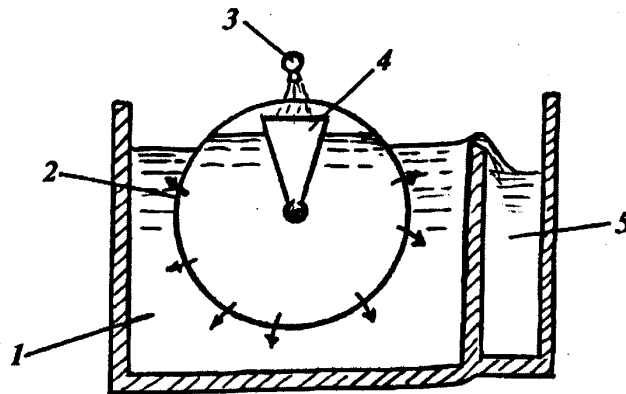


Рис. 14.14. Схема барабанного сетчатого фильтра;

1 - резервуар очищенной воды; 2 - сетчатый барабанный фильтр; 3 - трубопровод промывной воды с разбрызгивателями; 4 - бункер для сбора промывной воды; 5 – канал для сбора очищенной воды

Вместо барабанных сеток и фильтров иногда применяют микрофильтры, они устроены также как и барабанные сетки, только с размером ячеек в фильтрующем материале от 35 до 40 мкм.

Для доочистки используются также б и о л о г и ч е с к и е п р у д ы - это неглубокие котлованы, заполненные водой. Их проектируют не менее, чем из двух параллельных секций, в каждой секции 3...5 прудов, расположенных последовательно ступенями друг за другом. В последних ступенях прудов возможно разведение рыб. Подобные пруды применяются и как самостоятельные биологические сооружения. В этом случае перед подачей воды на пруды она проходит через решетки и отстаивается не менее 30 мин.

Б и о с о р б е р ы для доочистки воды применяются при расходах сточных вод до 200 м³/сут. Они состоят из резервуара, заполненного двухслойной сорбирующей загрузкой из активированного угля или другого сорбента (рис. 14.15). Сточная вода подается снизу в эрлифтную камеру, куда от компрессора нагнетается сжатый воздух. Насыщенная воздухом вода через дырчатые трубы поступает на фильтр. В нижнем псевдосжиженном слое фильтра происходит сорбция и окисление органических загрязнений, в присутствии воздуха, а в верхнем задержание взвешенных веществ и биологических образований. При этом осуществляется непрерывная регенерация сорбента за счет рециркуляции. Очищенная вода собирается верхними желобами, а вода после промывки фильтра нижними желобами (на рис. не показаны) . В результате доочистки БПК₂₀ снижается до 1,5...3 мг/дм³, а содержание взвешенных веществ не превышает 3 мг/дм³. Воду такого качества, как правило, можно сбрасывать в водные объекты или использовать повторно

для промышленного водоснабжения.

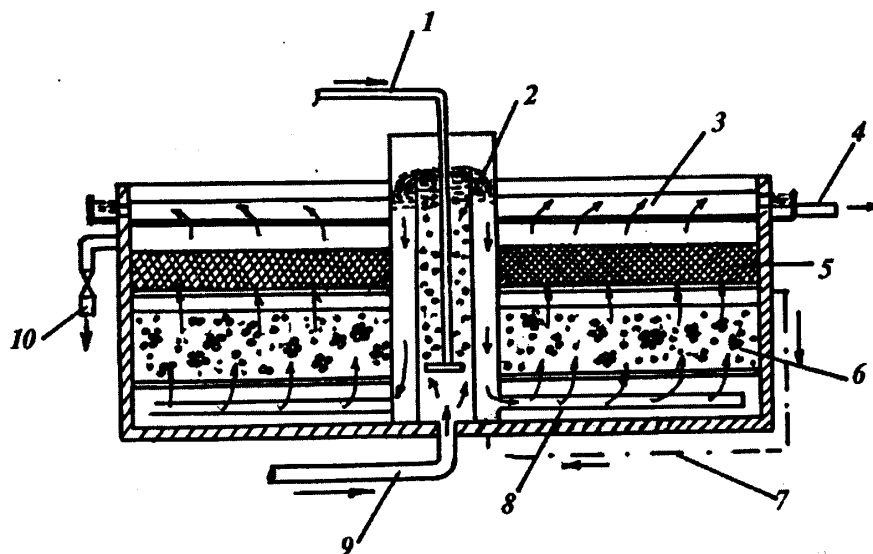


Рис. 14.15. Биосорбер:

1 – подача сжатого воздуха; 2 - эрлифтная камера; 3 - лотки для сбора очищенной воды; 4 - выпуск очищенной воды; 5 - слой уплотненного активированного угля; 6 - псевдосжиженный слой угля; 7 – трубопровод для рециркуляции; 8 - дырчатые трубы для распределения воды; 9 - подача воды на очистку; 10 - отведение промывной воды

Биологическая очистка бытовых сточных вод в естественных условиях. Она осуществляется на полях фильтрации (орошения) и в биологических прудах. На полях фильтрации происходит естественное самоочищение воды при фильтрации ее через грунт.

В процессе фильтрации на частицах почвы образуется биопленка, которая состоит из колоний аэробных бактерий и продуктов их жизнедеятельности. Биопленка адсорбирует загрязнения, а бактерии минерализуют их.

Поля фильтрации представляют собой спланированные участки земли, разделанные валиками на ряд карт. Сточная вода подается на поля по трубопроводу в самую высокую точку под напором, а оттуда распределяется самотеком по лоткам (рис. 14.16) и наливается на карты через выпуски. Во избежание заиливания почвы на иловых площадках устраивается дренаж. В зимнее время производится намораживание воды, высотой около 1 м, при этом высота валиков 1,1 м.

Поля фильтрации устраивают на песках, супесчаных почвах и мелких суглинках при условии, что грунтовые воды расположены ниже 1,5 м от поверхности земли. Сточные воды перед подачей на поля фильтрации подвергаются механической очистке с отстаиванием не менее 30 мин. Поля орошения отличаются тем, что на них выращиваются овощные культуры, не употребляемые в пищу в сыром виде, технические сельскохозяйственные культуры и некоторые травы.

Площадь одной карты полей f (м²) определяется по формуле

$$f = \frac{Q_{\text{срсут}}}{q_n n_k}, \quad (14.31)$$

где

$Q_{\text{ср.сут}}$ - среднесуточный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$Q_{\text{п}}$ - нагрузка сточных вод¹⁾ на поля $\text{м}^3/\text{м}^2\text{сут}$;

$n_{\text{к}}$ - число карт, не менее 3.

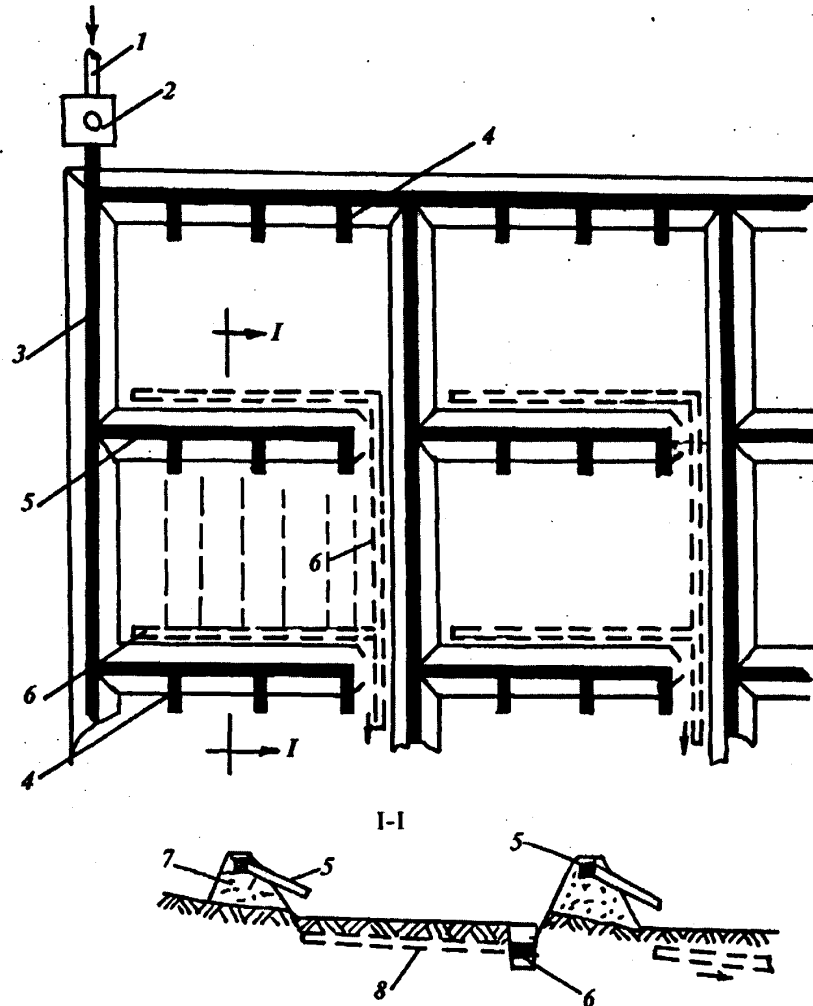


Рис. 14.16. Поля фильтрации:

1 - напорный трубопровод; 2 - приемный резервуар (камера); 3 - магистральные лотки; 4 - выпуски; 5 - разводящие лотки; 6 - дренажные канавы; 7 - валики; 8 - дренажные трубы

В малых системах водоотведения применяются очистные устройства представляющие собой промежуточные сооружения между биофильтрами и почвенными методами очистки. К ним относятся поля подземной фильтрации, фильтрующие кассеты, а также фильтрующие колодцы, траншеи и песчанно-гравийные фильтры.

Схема полей подземной фильтрации и представлена на рис. 14.17. Они применяются при расходах сточных вод до $15 \text{ м}^3/\text{сут}$. Сточная вода после септика и дозирующей камеры периодически протекает в оросительную сеть, уложенную из керамических труб $d = 75 \dots 100 \text{ мм}$ с зазорами $15 \dots 20 \text{ мм}$ или из асбестоцементных труб таких же диаметров с пропилами на половину диаметра, шириной 15 мм . Эти трубы укладываются в песчаных или супесчаных грунтах на расстоянии $1,5 \dots 2,5 \text{ м}$ друг от друга.

Вода через зазоры или пропилы попадает в грунт и фильтруется через него, при этом происходит ее биохимическая очистка в результате деятельности аэробных микроорганизмов. Для притока воздуха в конце труб установлены стояки.

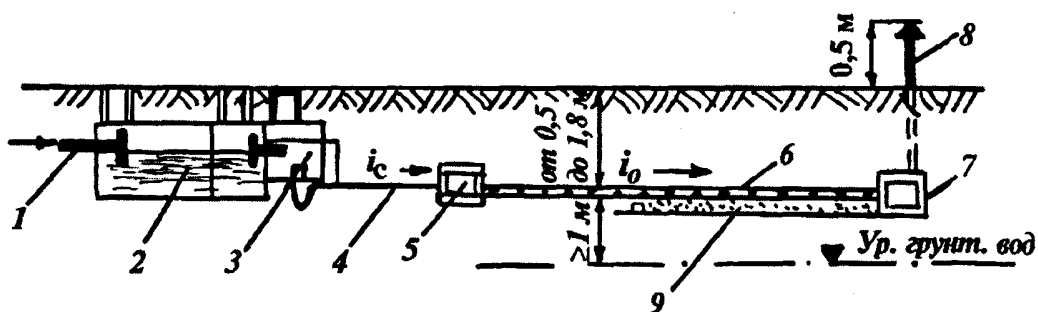


Рис. 14.17. Схема полей подземной фильтрации:

1 - трубопровод для подачи воды на очистку; 2 - септик; 3 - дозирующая камера; 4 - водоотводящий трубопровод; 5 - распределительный лоток; 6 - оросительные трубы; 7 - вентиляционный канал; 8 - стояк

Фильтрующие касеты, разработанные ЦНИИЭП инженерного оборудования, устанавливают на производительность 0,5...6 м³/сут и более в слабофильтрующих суглинках. Основу их составляет железобетонная ребристая плита перекрытия (рис.14.18). Действие аналогично полям подземной фильтрации, но дозирующее устройство, усложняющее конструкцию, обычно не применяется.

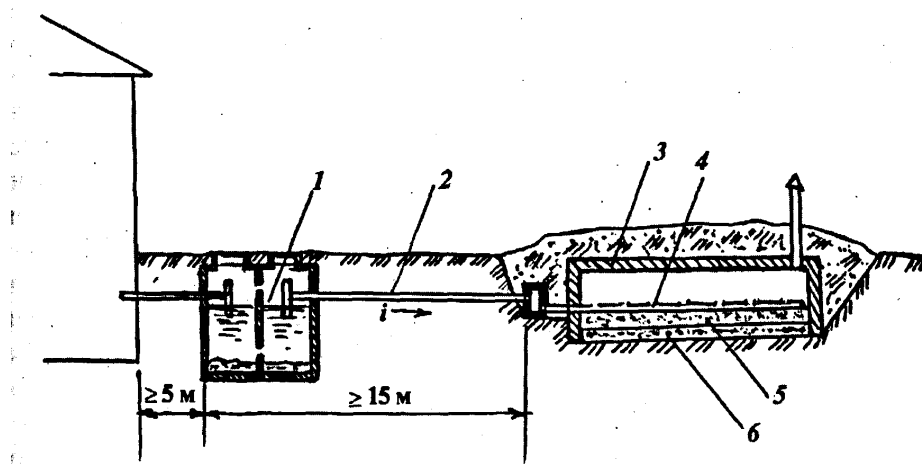


Рис. 14.18. Схема очистки воды в фильтрующей касете:

1 - септик; 2 - отводной трубопровод; 3 - фильтрующая касета (железобетонная ребристая плита); 4 - дырчатая труба; 5 - слой из щебня и гравия; 6 - поддерживающий слой из крупного щебня

Фильтрующие колодецы устраивают из железобетонных стандартных колец диаметром 1...2 м, в стенках которых пробиваются отверстия. Колодец и кольцо вокруг его стенок заполняется крупнозернистым материалом - гравием или галькой. Колодец

также желательно оборудовать вентиляционной трубой. Сточная вода в него поступает через дырчатые трубы. Вода из колодца протекает в грунт. Подобные колодцы применяют для приема сточных вод от отдельных зданий с расходом сточных вод до $1 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Аналогичными, но более совершенными сооружениями, являются фильтрующие траншеи (рис. 14.19, а) и песчано-гравийные фильтры (рис. 14.19, б). Они устраиваются в водонепроницаемых или в слабофильтрующих грунтах при расходах до $15 \text{ м}^3/\text{сут}$. По конструкции они вытянутые в плане прямоугольные котлованы с откосами, в которых уложены водораспределительные и дренажные трубы. Вода после отстаивания в септике периодически подается в водораспределительные трубы и фильтруется вниз через загрузку, при этом происходит биологическая очистка воды. Очищенная вода собирается дренажными трубами и отводится на дезинфекцию. В качестве фильтрующего материала используется гравий, щебень, шлак, битый кирпич и другие материалы. Оросительная и дренажные сети укладываются из перфорированных асбестоцементных труб $d = 100 \text{ мм}$ с уклоном $0,005$ в гравийной обсыпке толщиной $15...20 \text{ см}$.

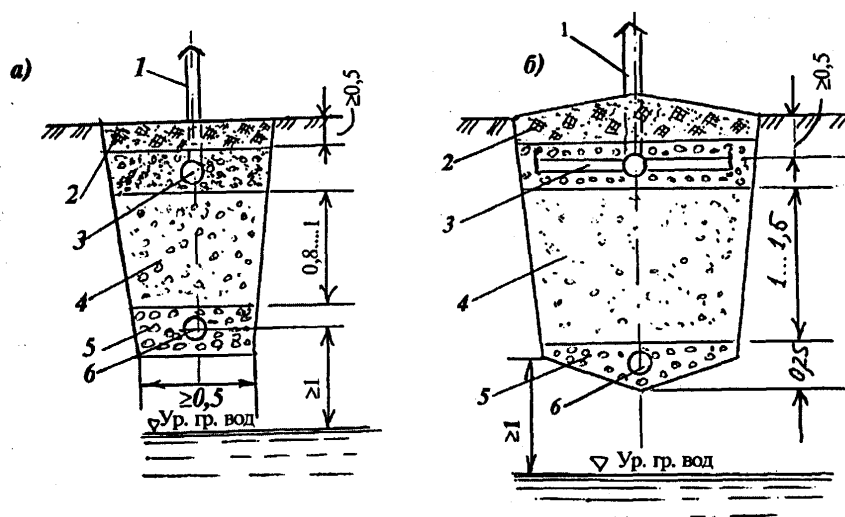


Рис. 14.19. Схема фильтрующей траншеи (а) и песчано-гравийного фильтра (б):
1 - вентиляционные стояки; 2 - засыпка местным грунтом; 3 - водораспределительные трубы; 4 – фильтрующая загрузка; 5 – гравийная обсыпка; 6 – дренажная труба

Обработка и утилизация осадков сточных вод. Осадок, выпадающий в первичных и вторичных отстойниках, необходимо подвергать минерализации, чаще всего этот процесс осуществляется путем его сбраживания (перегнивания). В процессе сбраживания под воздействием анаэробных бактерий происходит окисление органических соединений, содержащихся в осадке. Сброженный осадок сравнительно легко обезвоживается и приобретает слабый запах сургуча или асфальта.

После подсушки сброженный осадок принимает зернистую структуру и вид черной огородной земли, которую при определенных условиях можно использовать в качестве высокоэффективного удобрения.

Сбраживание осадка при его сравнительно небольших объемах осуществляется в рассмотренных выше септиках, двухъярусных отстойниках или в осветлителях-перегнивателях. На больших городских очистных сооружениях для сбраживания осадка и утилизации выделяющихся при этом горючих газов строят специальные сооружения - м е

тантенки.

Возможно также окисление избыточного активного ила в аэробных минерализаторах - сооружениях наподобие аэротенков. В них осадок продувается воздухом в течение длительного периода, от 2 до 12 суток. Необходимая температура осадка от 8 до 35°C. Расход воздухом 1...2 м³/ч на м² площади стабилизатора. Аэробные стабилизаторы применяются при расходах сточных вод до 50 тыс. м³/сут и только после предварительного технико-экономического обоснования. В большинстве случаев использование их экономически нецелесообразно ввиду больших энергозатрат на насыщение осадка кислородом воздуха.

Минерализованный осадок в указанных выше сооружениях чаще всего направляется на естественную сушку на иловые площадки. Они представляют собой спланированные участки земли, разделенные валиками на карты. Основание карт обычно искусственное - асфальтобетонное, для отведения профильтрованной через осадок воды предусматривается дренаж (рис.14.20). Рабочая глубина карт 0,7...1 м, а высота валиков 1...1,3 м. Осадок на карты подается по деревянным лоткам с размерами 0,3 х 0,3 м, уложенным с уклоном не менее 0,01 м. Осадок напускается на карты слоями высотой 0,25...0,35 (до 0,5 м). Такой слой сохнет 10...15 дней, при этом объем осадка уменьшается в 2...5 раз. Зимой осадок намораживается, для чего отводится до 80 % площади иловых площадок.

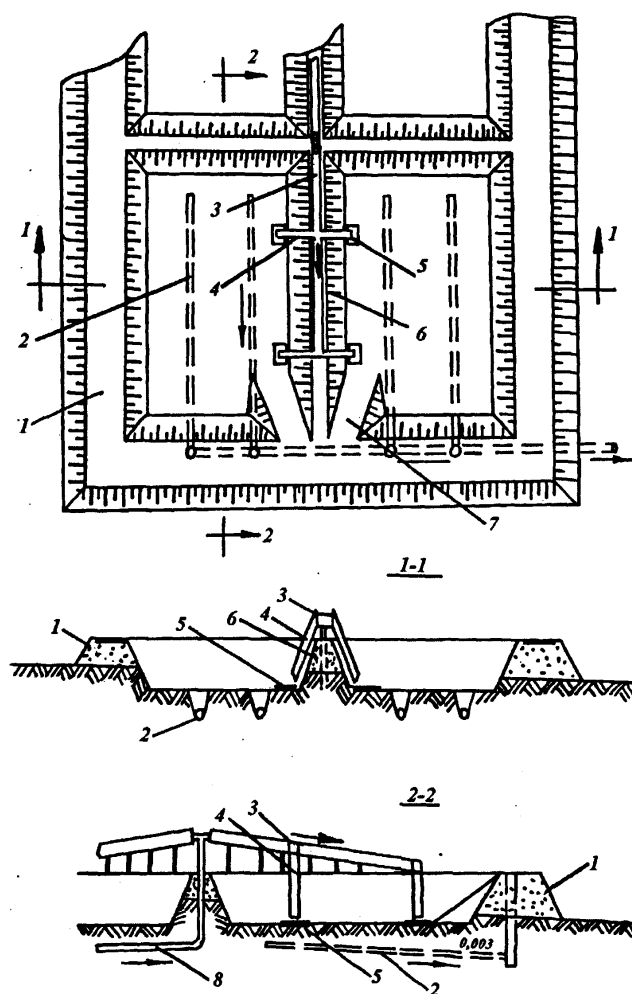


Рис. 14.20. Иловые площадки:

1 – дорога; 2 – дренаж; 3 – деревянный лоток; 4 – выпуски; 5 – деревянные щиты, предохраняющие от размыва основания; 6 - валики; 7 - съезды; 8 – дюкер для подачи осадка на площадки

При больших объемах осадка используются иловые площадки-уплотнители. Они выполняются из железобетонных панелей высотой 2,4 м с рабочей глубиной осадка до 2 м.

При недостатке свободных площадей для устройства иловых площадок и при неблагоприятном климате применяется механическое обезвоживание осадка на вакуум-фильтрах, фильтрпрессах, центрифугах и центрипрессах.

Вакуум-фильтры представляют собой горизонтальные барабаны, обтянутые синтетической тканью (рис. 14.21) и погруженные в ванну с осадком. Барабаны вращаются, они разделены внутри на ряд секторов (камер), к которым при вращении барабана последовательно подсоединяются вакуум-насос, когда сектор находится в ванне с осадком или компрессор, когда сектор размещается над ванной. При создании в камерах этой установки вакуума осадок прилипает к поверхности барабана слоем 10...20 мм, а при присоединении камеры к компрессору этот слой легко снимается ножом и попадает на транспортер. Скорость вращения барабана вакуум-фильтра - один оборот за 4...7 мин. Влажность снятого обезвоженного осадка (кека) до 80 %. Имеется специальное устройство для промывки фильтровальной ткани.

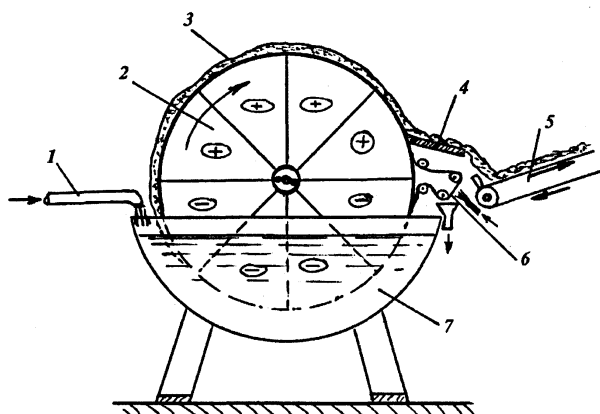


Рис. 14.21. Вакуум-фильтр:

1 - трубопровод для подачи осадка; 2 – барабан; 3 – слой осадка (кека); 4 – нож; 5 – транспортер; 6 - устройство для промывки фильтрующей ткани; 7 - ванна с осадком

Фильтрпрессы применяются для обезвоживания осадка путем прессования его и фильтрации воды через фильтровальные ткани или фильтровальные салфетки. Фильтрпрессы бывают вертикальные и горизонтальные.

В последнее время часто применяются ленточные фильтрпрессы, основным элементом которых являются фильтровальные ленты из синтетических волокон. Влажность осадка после прессования достигает 76-78%. Для снижения влажности приходится в воду добавлять коагулянты.

Находят широкое применение для обезвоживания осадка центрифуги (рис.

14.22). Осадок в них подается по центральной трубе с отверстиями. Далее он попадает внутрь полого вала (шнека) с лопастями и через отверстия в нем под действием вращения поступает в корпус ротора. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы влажный осадок отбрасывается к стенкам ротора. Здесь происходит разделение фаз. Твердая фаза перемещается в коническую часть ротора, чему способствуют вращающиеся лопасти, а жидкая фаза протекает в его противоположную часть и попадает в соответствующий бункер. Производительность центрифуг от 4 до 80 м³/ч по осадку. Влажность кека 65...75 %. Существенно улучшает качество центрифугирования осадка добавка в него перед обработкой флокулянтов. Центрипрессы весьма незначительно и только конструктивно отличаются от центрифуг.

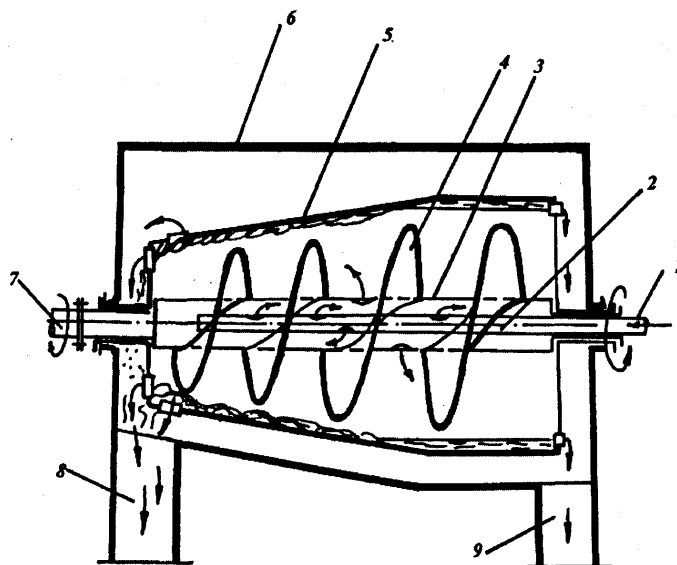


Рис. 14.22. Горизонтальная центрифуга:

1 - впуск осадка; 2 - центральная труба; 3 - полый вал (шнек) с отверстиями; 4 – лопасти шнека; 5 – ротор; 6 – корпус центрифуги; 7 - вал двигателя; 8 - бункер для осадка; 9 - бункер для воды (фугата)

Весьма перспективным способом обработки осадка является его к о м- п о с т и р о в а н и е совместно с бытовым мусором. Соотношение по массе осадка и мусора рекомендуется в пределах 1:2. Возможно компостирование осадка с другими наполнителями: торфом, опилками, соломой в соотношений 1:1. При компостировании указанные компоненты укладываются в штабели высотой до 3 м и периодически перемешиваются. Время пребывания смесей в штабелях от 3 до 7 месяцев, а при устройстве вентиляции штабелей до 1,5...3 месяцев. Сверху штабели покрываются защитным слоем земли 0,15...0,25 м. Внутри штабелей развивается температура до 50...65 °С при которой погибают яйца гельминтов, личинки мух и другие вредные микроорганизмы.

Осадки городских сточных вод после переработки должны использоваться как о р г а н о - м и н е р а л ь н о е у д о б р е н и е, если при их обработке в качестве реагентов добавлялась известь осадки также применяются для п о д щ е л а ч и в а н и я кислых почв. Однако широкое использование этих способов утилизации осадков возможно далеко не всегда, поскольку в составе осадков часто находятся ионы тяжелых металлов (ртути, никеля, свинца, хрома и др.), вредные для здоровья человека и животных. Т я ж е - л ы е м

е т а л л ы попадают в сточные воды и выпадают в осадок при спуске в бытовую систему водоотведения производственных сточных вод. Разработаны нормативы безопасного содержания ионов тяжелых металлов в единицу массы почвы, предназначенной для выращивания сельскохозяйственных культур. Разрабатываются также способы приготовления активных кормовых добавок, содержащих витамин В₁₂ и полезные алюмокислоты, для питания животных.

Если использование осадка в качестве удобрений невозможно, то часто рекомендуется его сжигание в кипящем слое и применение золы в качестве добавок к строительным материалам (кирпичу, плитке и т.д.) или сушка осадка и вывоз на захоронение.

15. Очистка производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта

15.1. Состав загрязнений производственных сточных вод и их характеристики

Производственные сточные воды также, как и бытовые (п.14.1) подразделяются по происхождению и физическому состоянию загрязнений и отличаются чрезвычайно разнообразным составом и свойствами. Количество, состав загрязнений и свойства сточных вод зависят от рода предприятия или технологического процесса, вида перерабатываемого сырья, реализуемой технологии процесса и количества выпускаемой продукции, качества исходной воды и системы водоснабжения. Так при оборотной системе водоснабжения на железнодорожных предприятиях расход потребляемой технической воды снижается в 5 - 10 раз, а загрязнение частично сбрасываемых из системы сточных вод для поддержания требуемого качества ее в оборотном цикле, как правило, возрастает. Вид сточных вод, физико-химический и дисперсный состав их загрязнений определяют методы предварительной очистки сточных вод на местных очистных сооружениях, условия отведения их за пределы железнодорожных станций и дальнейшего обезвреживания.

На железнодорожном транспорте имеется большое количество различных промышленных предприятий и других объектов, на которых образуются производственные и близкие к ним по составу дождевые и талые сточные воды. Это локомотивные и вагонные депо, ремонтные заводы, промывочно-пропарочные станции, шпалопропиточные заводы, пункты подготовки грузовых вагонов, обмывки пассажирских вагоном и электросекций, дезинфекционно-промывочные пункты и станции, предприятия метрополитена (депо, ремонтные заводы и базы), щебеночные заводы, рельсосварочные поезда, автобазы, компрессорные станции, котельные, прачечные, прирельсовые склады удобрений и ядохимикатов и др. объекты.

Расходы производственных стоков, состав и концентрация их загрязнений зависят от вида предприятия или объекта, технологического процесса на нем, производственной мощности предприятия, комплекса местных условий и могут существенно отличаться друг от друга на разных предприятиях. Однако, как показывает практика, расходы производственных стоков на основных предприятиях ж.д. транспорта сравнительно не велики и, как правило, не превышает 2000 м³/сут. Основными видами загрязнений производственных стоков для большинства предприятий ж.д. транспорта являются взвешенные вещества минерального и органического происхождения и нефтепродукты. В

стоках от некоторых предприятий и объектов содержатся также фенолы, ПАВ (поверхностно-активные вещества), тяжелые металлы, кислоты, щелочи и др. загрязнения.

Локомотивные, вагонные депо и ремонтные заводы. Производственные сточные воды образуются при наружной и внутренней обмывке подвижного состава, при промывке и опресовке его узлов и деталей, при промывке и заправке аккумуляторов, при продувке паровозных котлов и оборотных систем, при охлаждении компрессоров и другого оборудования, при выпуске воды из гальванических ванн, систем отопления вагонов и охлаждения дизелей, от мытья полов в производственных помещениях, при стирке спецодежды и т.д. Раз в 7 - 10 дней в канализацию этих предприятий производятся залповые сбросы отработанных моющих растворов из ванн моечных машин, в которых содержится большое количество механических примесей (взвешенных веществ), нефтепродуктов и щелочей. Залповые сбросы отработанных моющих растворов в производственную канализацию приводят к резкому ухудшению качественного и количественного состава сточных вод депо и заводов, при этом резко возрастает рН сточных вод - до 10 - 13.

Кроме того, в канализацию поступают охлаждающие эмульсии металлорежущих станков, подтоварная вода из нефтехранилищ, содержащая значительное количество нефтепродуктов и механических примесей, использованные растворители (керосин, дизельное топливо и др.).

Суточные расходы производственных сточных вод обычно не превышают 200 м³/сут, достигая иногда 400 - 600 м³/сут, на заводах составляют около 1000 м³/сут, достигая иногда до 1700 - 2200 м³/сут. Состав производственных сточных вод депо и заводов характеризуется следующими данными: содержание экстрагируемых веществ составляет в среднем 150 - 500 мг/л, а механических примесей - 200 - 450 мг/л; при залповых выпусках стоков из моечных машин и ванн концентрация загрязнений (экстрагируемых веществ и механических примесей) в общем стоке повышается и составляет от 5 - 10 до 3 - 5 тыс. мг/л; рН сточных вод находится в пределах 7 - 9; БПК_{полн} - 50 мг/л; ХПК - 100 мг/л; ПАВ - 10 мг/л.

О кинетике выделения загрязнений, содержащихся в сточных водах депо и ремонтных заводов при наличии условий для их эмульгирования, можно судить по следующим данным: после трехчасового отстоя стоков тепловозремонтного завода содержание нефтепродуктов в них снижается на 50 - 80 %, а взвешенных веществ - на 70 - 100 %. При простом отстаивании в обычных нефтеловушках удается удалить 70 - 85 % загрязнений, а при тонкослойном отстаивании до 90 - 95 %, причем остаточное содержание загрязнений часто оказывается неприемлемым.

Для повышения эффекта очистки этих стоков необходимо применять их доочистку методами флотации, фильтрации или озонирования, а также использовать тонкослойное отстаивание с применением реагентов.

Обычно в сточных водах предприятий железнодорожного транспорта присутствует до 100 - 200 мг/л эмульгированных нефтепродуктов (диаметр частиц < 100 мкм) может содержаться 10 - 15 мг/л растворенных нефтепродуктов. В стоках от моечных машин содержание эмульгированных нефтепродуктов может достигать до 500 - 12000 мг/л. При этом задержание эмульгированных частиц диаметром 30 мкм обеспечивает удаление из сточной воды до 90 % всей эмульгированной части стока.

Промывочно-пропарочные станции и пункты. Производственные сточные воды образуются, в основном, при промывке и пропаривании цистерн из-под нефти, мазута, дизельного топлива; смазочных масел, керосина, бензина (в том числе и этилированного), других нефтепродуктов, пищевых жиров и прочих наливных грузов. Эти воды сильно загрязнены нефтепродуктами и взвешенными веществами. Общее количество

нефтепродуктов в этих стоках составляет 200 - 3000 мг/л, достигая иногда до 10000 - 20000 мг/л; содержание механических примесей в стоках составляет до 1000 - 3000 мг/л. Кроме того в стоках могут содержаться фенолы, ПАВ, органические кислоты, щелочи, ацетон и пр.; в стоках от промывки цистерн из-под этилированного бензина присутствует также тетраэтилсвинец. В канализацию промывочно-пропарочных станций попадают также воды от охлаждения оборудования, продувки котлов в котельной, промывки водоумягчительных фильтров, воды от душевых, прачечных, мытья эстакад, производственных помещений, атмосферные воды и т.п.

Суточные расходы сточных вод на промывочно-пропарочных станциях составляют в среднем 300 - 1000 м³/сут, а при оборотном использовании промывных вод - 100 - 300 м³/сут. Средний состав загрязнений стоков промывочно-пропарочных станций* следующий: содержание эфирорастворимых веществ 800 (5000) мг/л; содержание механических примесей - 400 (2000) мг/л; щелочность - 5-6,5 мг-экв/л; БПК_{полн} - 150 мг/л; ХПК - 300 мг/л; фенолы - 20 мг/л; рН - 7-9 (12-13); температура 50 -60 (40-60)⁰ С. В скобках приведены показатели качества сточной воды при наружной промывке цистерн.

*Методические указания по проектированию очистных сооружений и оборотных систем водопользования для предприятий железнодорожного транспорта. -М.; МПС. 1995. -152с.

При обработке цистерн из-под химических грузов щелочность стоков повышается до 30 - 65 мг-экв/л. Нефтепродукты, смолы и др. загрязнения образуют в щелочной среде устойчивые эмульсии, которые не разрушаются при отстаивании. Их целесообразно очищать по специальной технологии, т.е. устраивать отдельную систему канализации.

Отстаивание стоков промывочно-пропарочных станций в обычных отстойниках-нефтеуловителях позволяет удалить до 70 % взвешенных веществ и до 85 % экстрагируемых веществ. Для повышения эффекта очистки необходимо принять доочистку стоков на флотационных установках; в тонкослойных отстойниках-нефтеуловителях и использовать реагенты для интенсификации этого процесса.

Пункты подготовки пассажирских вагонов. Сточные воды образуются в результате механизированной наружной обмывки пассажирских вагонов и электросекций, основными загрязнениями сточных вод являются взвешенные вещества и нефтепродукты (смазочные масла), а также бактериальные загрязнения, смываемые с подвагонных узлов. При использовании для обмывки моющих средств в стоках могут присутствовать ПАВ и щелочи. Суточные расходы сточных вод на пунктах обмывки пассажирских вагонов составляют от 15 до 200 м³/сут. Концентрация загрязнений сточных вод составляет: по взвешенным веществам - 500-100 мг/л (в среднем 500 мг/л), по экстрагируемым веществам - 10-300 мг/л (в среднем 100 мг/л), рН - 7-8, температура от 20 до 40 ⁰С, БПК_{полн} - 100 мг/л, ХПК - 200 мг/л. По составу загрязнений эти стоки близки к стокам локомотивных и вагонных депо, поэтому методы очистки их также аналогичны методам очистки стоков от локомотивных и вагонных депо.

Пункты подготовки грузовых вагонов. Сточные воды образуются при внутренней и наружной обмывке грузовых вагонов после перевозки в них различных насыпных или штучных грузов (строительных материалов - цемента, извести, песка, минеральных удобрений, зерна, овощей, химикатов, комбикормов, рыбной муки и т.п.). Основными загрязнениями сточных вод являются тяжелые механические примеси минерального происхождения, содержание которых иногда достигает 10-20 г/л; в стоках могут содержаться также нефтепродукты (до 600 мг/л), растворенные соли, органические примеси и т.п. Суточные расходы сточных вод на пунктах промывки грузовых вагонов

составляют от 50 до 500 м³/сут. Размеры частиц механических примесей в стоках составляют от нескольких миллиметров до десятков микрон, а плотность 2,7 - 2,8 г/см³. Кинетика выпадения взвеси характеризуется осаждением основной массы нерастворенных примесей (90-95%) в течение нескольких минут. Для удаления остальной взвеси требуется длительное отстаивание воды (до 40 и более минут) или применение коагулянта. Образующийся при отстаивании воды осадок имеет объемный вес 2 т/м³ и влажность от 30 до 70 %; содержание органических примесей в осадке составляет 5-10 % по весу.

Концентрация содержащихся в стоках растворенных загрязнений минерального и органического происхождения (сульфаты, хлориды, кремнекислые и углекислые соли магния, натрия и др.) достигает 10-12 г/л. Основной задачей очистки сточных вод от пунктов подготовки грузовых вагонов является извлечение из них взвешенных веществ, нефтепродуктов и механических примесей. По данным исследований ЦНИИ МПС промывочная вода, образующаяся при промывке полувагонов загрязняется остатками перевозимых в них грузов (щебень, гравий, песок, уголь, кокс, известняк, мел, флюсы, различные руды и т.д.), количество которых составляет в среднем 100-150 кг на вагон. Средняя концентрация загрязнений в промывочной воде составляет 10-20 кг/м³, а концентрация песка в ней может достигать 50-100 кг/м³. Остатки грузов в вагонах имеют самый различный размер частиц: от 10-20 мм до 0,25 мм и менее, а плотность - 1,3 - 2,6 г/см³. Перевозимые в полувагонах грузы не содержат много водорастворимых соединений, поэтому концентрация водорастворимых солей в промывной воде возрастает незначительно. В промывной воде содержится также некоторое количество нефтепродуктов.

Экспериментальные исследования по кинетике осаждения смываемых при промывке вагонов от остатков груза с фракциями диаметром < 0,25 мм показали, что крупные и тяжелые взвешенные вещества, оседающие из промывной воды в течение 1-ой минуты, составляют 70-73 %. Такие частицы задерживаются песколовками. Для задержания мелкодисперсных частиц взвеси диаметром 0,1 мм, скорость оседания которых составляет менее 0,5 мм/с, необходимо увеличить время отстаивания в обычных отстойниках до 60-90 мин. Для задержания мелкодисперсных примесей из промывной воды в оборотных циклах вместо обычных отстойников могут быть использованы тонкослойные отстойники, что позволит повысить эффект очистки воды, либо при том же эффекте уменьшить размеры очистных сооружений. С учетом предварительного удаления крупной и тяжелой взвеси в качестве расчетных показателей качества сточных вод для пунктов подготовки грузовых вагонов рекомендуется принимать концентрацию взвешенных эфирорастворимых веществ (нефтепродуктов) 100 мг/л, БПК_{полн} - 150 мг/л, ХПК - 300 мг/л.

Дезинфекционно-промывочные станции.* Средние концентрации загрязнений сточных вод по эфирорастворимым веществам - 200 мг/л, взвешенным веществам - 2000 мг/л, БПК_{полн} - 400 мг/л, ХПК - 800 мг/л.

На шпалопропиточных заводах образуются сточные воды содержащие в среднем около 1000 мг/л эфирорастворимых веществ, 500 мг/л взвешенных веществ и соответственно такие же показатели ХПК и БПК_{полн}. В них может содержаться до 100 мг/л фенолов, температура таких сточных вод составляет 40 - 50 °С, а рН = 6,5 - 7,5. В зоне действия железнодорожных предприятий и на железнодорожных станциях размещаются автобазы, котельные, прачечные и др. объекты.

* См. "Водоснабжение, водоотведение и очистка сточных вод дезинфекционно-промывочных станций и пунктов на железных дорогах" / В.С.Дикаревский, Н.Н.Павлова. Учебное пособие. С.-Пб.: ПГУПС, 1998,- с.

Сточные воды автобаз и котельных загрязнены нефтепродуктами в количестве соответственно 200 мг/л и 50 мг/л, взвешенными веществами в количестве 3000 и 200 мг/л соответственно. При обмывке автомашин в воду попадают органические загрязнения, характеризующиеся в среднем БПК_{полн} - 100 мг/л и ХПК - 200 мг/л. Кроме того в сбросах от котельных присутствуют хлористый кальций 500 - 3000 мг/л и хлористый натрий 100 - 1000 мг/л, а сточные воды от прачечных имеют рН 10-11, содержат ПАВ до 100 мг/л, имеют БПК_{полн} - 400 мг/л и ХПК - 1400 мг/л. Температура стоков от котельной может достигать до 50 - 80 °С, а от прачечных до 35 - 40 °С.

Поверхностные стоки с территории железнодорожных станций и предприятий. Они образуются во время выпадения дождя и при таянии снега. Эти стоки загрязнены различным мусором, нефтепродуктами, нерастворимыми минеральными и органическими примесями (песок, шлак, копоть, пыль и пр.). Содержание нефтепродуктов в стоках с территории приемо-отправочных парков, локомотивных и вагонных депо в среднем составляют 300 мг/л, взвешенных веществ - 500-300 мг/л, БПК_{полн} - 80-20 мг/л, ХПК - 100-45 мг/л. Меньшие значения имеют показатели загрязненности поверхностных вод с территории пунктов экипировки локомотивов. В стоках от шпалопропиточных заводов концентрация нефтепродуктов и взвеси доходит до 600 - 520 мг/л соответственно. Кроме того в них могут содержаться фенолы в среднем до 15 мг/л.

Расходы поверхностных стоков, состав и концентрация их загрязнения зависят от климатических и других местных условий (интенсивности и продолжительности дождя, свойств грунтов и рода поверхности, размеров территории предприятия или железнодорожной станции, загрязненности территории и т.п.). Организованный отвод и очистки поверхностного стока обычно предусматриваются с наиболее загрязненных участков территории железнодорожных станций, депо, ремонтных заводов, промывочно-пропарочных станций, шпалопропиточных заводов и др. предприятий.

15.2. Приемники производственных сточных вод

Отведение сточных вод с территории предприятий может осуществляться в открытые водные объекты, системы оборотного водоснабжения, системы водоотведения населенных пунктов и других предприятий, подземные горизонты и накопители-испарители сточных вод.

В качестве приемников всех производственных сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта при прямоточной системе водоснабжения или некоторой их части при оборотном водоснабжении, как правило, используются системы водоотведения населенных пунктов, а также открытые водные объекты. Правила выпуска сточных вод в открытые водные объекты (п. 14.3) требуют весьма высокой степени очистки, обычно значительно превышающей технологические требования к качеству воды, используемой на различные производственные операции железнодорожных предприятий. Поэтому целесообразно использовать предварительно очищенные на местных очистных сооружениях (МОС) производственные сточные воды с расходом $Q_{об}$ в системах оборотного водоснабжения, предусматривая отведение за пределы предприятия части воды не используемой в обороте с расходом $Q_{сбр}$ (рис. 15.1). При этом в первую очередь необходимо рассмотреть возможность использования для сброса очищенных производственных сточных вод в качестве их приемника систему водоотведения населенного пункта. Последующая совместная очистка бытовых и предварительно очищенных на предприятии производственных сточных вод обычно позволяет наиболее рационально решить задачу их обезвреживания. Окончательное решение по выбору

приемника для сброса сточных вод принимается с учетом местных условий (высотного и планового расположения объектов, их производительности и т.п.), рельефа местности, количества, состава и свойств сточных вод, необходимой степени их очистки перед сбросом, технико-экономических соображений.

Поверхностные сточные воды (дождевые и талые) с территории железнодорожных предприятий обычно загрязнены в значительной степени нефтепродуктами и взвешенными веществами, а также продуктами перевозочного процесса. Вследствие их малой минерализации после соответствующей обработки они могут служить источником подпитки оборотных систем. Обычно дождевые и талые воды железнодорожных предприятий подвергаются совместной очистке с производственными. Однако сбор, отведение и очистка их перед сбросом в дождевую канализацию населенных пунктов или в водоем может осуществляться в ряде случаев самостоятельно. Так как расходы дождевых вод могут в несколько раз превышать существующие расходы производственных стоков, для уменьшения диаметров сети и размеров очистных сооружений при подаче на очистку обычно осуществляется суточное регулирование их поступления с использованием регулирующих резервуаров.

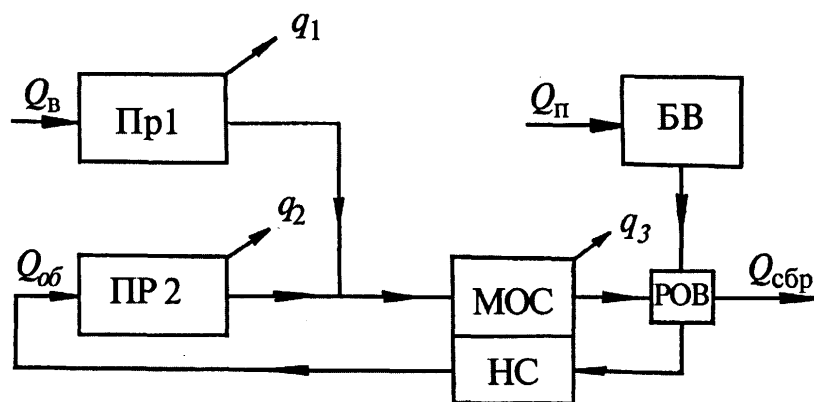


Рис.15.1. Схема водоотведения и оборотного использования очищенных производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта:

Пр1 - предприятие и производственные процессы, потребляющие водопроводную воду; Пр2 - то же, оборотную воду; МОС - местные очистные сооружения; БВ - блок водоподготовки подпиточной воды; РОВ - резервуар очищенных сточных вод; НС - насосная станция оборотного водоснабжения; Q_v - расход водопроводной воды; $Q_{об}$ - расход оборотной воды; $Q_{п}$ - расход подпиточной воды, компенсирующей безвозвратные потери; q_1, q_2, q_3 - безвозвратные потери; $Q_{сбр}$ - расход сбросной воды

При отведении производственных и поверхностных сточных вод в водоотводящую сеть населенного пункта необходимо обеспечивать определенные требования, которые различаются в зависимости от конструкции водоотводящей сети и технологии очистки сточных вод населенного пункта. Конкретные условия приема определяются требованиями соответствующих предприятий Водоканала и органов Госсаннадзора.

Во всех случаях выпускаемые в городскую канализацию стоки не должны:

1. Содержать всплывающие и грубые нерастворенные осаждающиеся загрязнения, которые могут вызывать засорение труб городской сети водоотведения;
2. Оказывать разрушающее действие на материал труб и сооружений, иметь температуру больше 40°C .

3. Содержать горючее вещество (бензин, нефть, масла), взрывоопасные смеси, ядовитые вещества, радиоактивные элементы, ртуть, свинец, кадмий и другие вредные отравляющие вещества и опасные бактериальные загрязнения. Перед сбросом в систему водоотведения производственные стоки должны быть обеззаражены и обезврежены. Запрещаются залповые сбросы сильно концентрированных сточных вод. Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений, стоки, содержащие органические загрязнения, после смешения их с городскими не должны приводить к повышению БПК_{полн} свыше 500 мг/л при очистке их на обычных аэротенках и свыше 1000 мг/л при использовании аэротенков смесителей. Смесь их должна иметь температуру не менее 6°C и не более 30°C, рН от 6 до 8,5, концентрацию растворенных солей < 10 мг/л, отношение ХПК / БПК < 1,5. Нерастворенные масла и смолы должны отсутствовать.

При сбросе расхода предварительно очищенных производственных сточных вод $Q_{сбр}$ (м³/сут) в городскую сеть водоотведения допустимая к сбросу концентрация $C_{ст.д}$ (мг/л) лимитирующих загрязнений

$$C_{ст.д} = \frac{C_{см.д} (Q_{сбр.ж} + Q_1) - C_1 Q_1}{Q_{сбр.ж}}, \quad (15.1)$$

где $C_{см.д}$ - допустимая концентрация лимитирующих загрязнений по условиям работы городской сети и очистных сооружений, мг/л. Для нефтепродуктов в зависимости от местных условий обычно 2 - 20 мг/л;

C_1 - концентрация лимитирующих загрязнений в городских сточных водах; мг/л;

Q_1 - расход городских сточных вод, м³/сут.

При условии сброса очищенных на МОС сточных вод в оборотные системы водоснабжения, требования к качеству воды определяются условиями ее использования и задаются технологами производства. Вода не должна оказывать отрицательного влияния на эффективность технологических процессов и качество получаемого продукта, не должна приводить к образованию отложений, биоотрастаний и коррозии, из нее должны быть удалены ядовитые и вредные вещества, должно быть обеспечено выполнение требований к санитарно-гигиеническому состоянию рабочих мест. Так вода, используемая для целей охлаждения должна отвечать следующим требованиям: жесткость общая $J_0 \leq 4$ мг-экв/л; жесткость карбонатная $J_k \leq 3$ мг-экв/л; солесодержание ≤ 2 г/л; хлориды ≤ 350 мг/л; сульфаты ≤ 500 мг/л; рН = 6,5 - 8,5; взвешенные вещества ≤ 25 мг/л; колииндекс ≤ 1000 ; патогенных и опасных бактерий не должно быть.

Содержание нефтепродуктов в воде для некоторых производственных процессов на предприятиях железнодорожного транспорта допускается в следующих количествах: до 50 мг/л - для моечных машин и обмывки стоил депо; до 2 мг/л - для наружной обмывки локомотивов, охлаждения компрессоров и двигателей; до 5 мг/л - для реостатных испытаний тепловозов и подпитки котлов типа ДКВР - 6,5.

Необходимая степень очистки сточных вод \mathcal{E} , %, (по тому или иному компоненту) на местных очистных сооружениях из условия оборотного использования воды

$$\mathcal{E} = \frac{C_{ст} - C_{ст.д}}{C_{ст}} 100, \quad (15.2)$$

где $C_{ст}$ - концентрация загрязнений в поступающей сточной воде, мг/л;
 $C_{ст.д}$ - концентрация загрязнений, допустимая по технологическим требованиям, мг/л.

При сбросе сточных вод в поверхностные водные объекты должны быть обеспечены требования, регламентируемые соответствующими нормативными документами и Правилами охраны от загрязнения водных источников. Расчет необходимой степени очистки производственных сточных вод по соответствующим показателям производится аналогично расчету параметров очистки бытовых сточных вод (по взвешенным веществам, БПК_{полн}, по растворенному в воде водоема кислороду и др. показателям).

Необходимая степень очистки по температуре воды водоема определяется из условия допустимого повышения температуры воды в расчетном створе не более, чем на $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$, после сброса сточных вод с температурой

$$T_{ст} = \left(\frac{aQ}{q} + 1 \right) \Delta T + T_p, \quad (15.3)$$

где a - коэффициент смешения;
 Q - расход воды в реке, м³/с;
 q - расход сточных вод, м³/с.

Определение необходимой степени очистки по изменению активной реакции воды производится с учетом нейтрализующей способности водоема с использованием номограммы (рис. 15.2), где сплошные кривые относятся к кислоте C_k , а пунктирные к щелочи $C_{щ}$. При известной активной реакции воды водоема, рН и щелочности B по номограмме находят искомые значения C_k и $C_{щ}$.

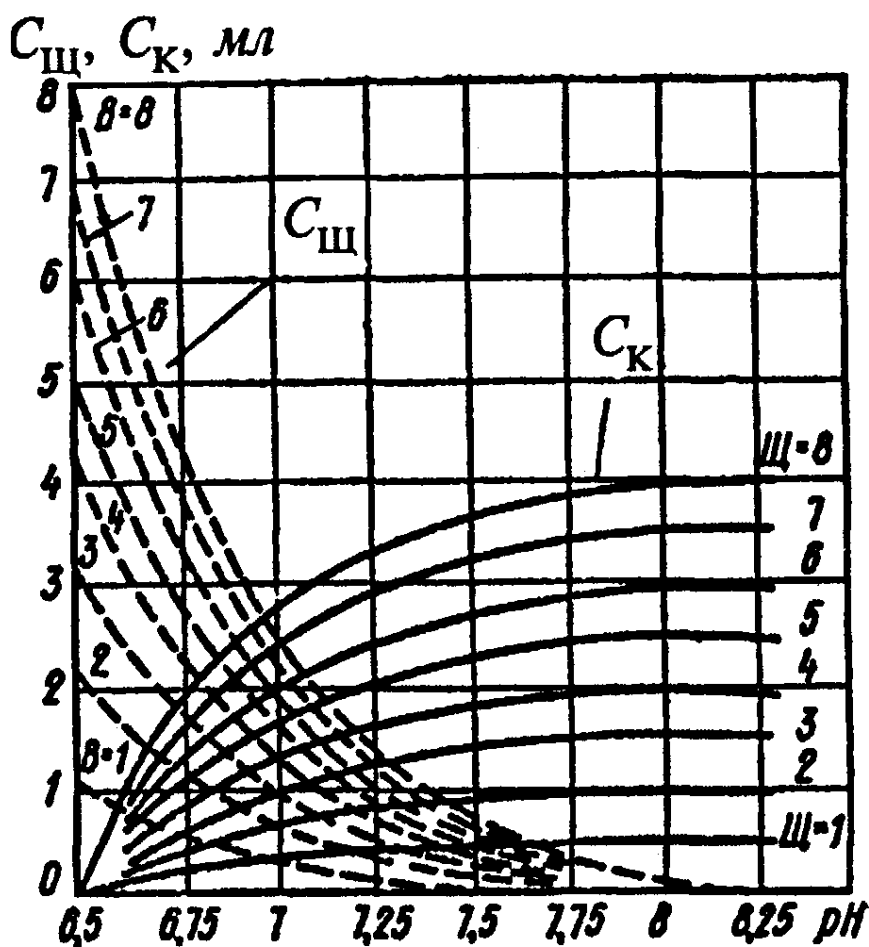


Рис.15.2. Номограмма для расчета допустимого количества кислых и щелочных стоков, спускаемых в водоем

C_k и $C_{щ}$ - количество кислоты или щелочи (в мл нормального раствора), которое может быть нейтрализовано 1 л воды водоема

Допустимое содержание кислоты $C_{ст.к}$ или щелочи $C_{ст.щ}$ в сточных водах, спускаемых в водоем,

$$C_{ст.к} = \frac{aQ}{q} C_k, \quad (15.4)$$

$$C_{ст.щ} = \frac{aQ}{q} C_{щ}. \quad (15.5)$$

Если фактические концентрации кислоты или щелочи в сточной воде будут больше расчетных, то перед сбросом в водоем необходима их нейтрализация.

15.3. Способы и схемы очистки производственных сточных вод

В зависимости от вида, состава и свойств производственных сточных вод, их загрязненности и специфики загрязняющих веществ, условий повторного использования и

отведения в водные объекты или другие приемники сточных вод применяются механический, физико-химический, химический и биологический способы очистки сточных вод или чаще всего их комбинации. При этом могут быть использованы схемы и сооружения, применяемые для очистки бытовых сточных вод, но с учетом специфических особенностей производственных стоков (п. 14.5).

Механическими методами из воды удаляются нерастворенные примеси минерального и органического происхождения на решетках, песколовках, ситах, в отстойниках, гидроциклонах и фильтрах.

Физико-химическими методами, основанными на применении процессов коагуляции, сорбции, экстракции, эвапарации, ионного обмена, кристаллизации, диализа, дезактивации и др., извлекают специфические загрязнения производственных сточных вод или те из них, которые невозможно или неэкономично извлекать другими способами.

Химическими методами из воды выделяют загрязнения, которые можно извлечь в результате химических реакций между загрязнениями и реагентом. В результате этого загрязнения окисляются или восстанавливаются и переходят в безвредные продукты или нерастворимые соединения, которые затем извлекаются из воды. Широко применяют нейтрализацию кислых и щелочных сточных вод озонирование, электрохимическое окисление и др. методы.

Биологическими методами с помощью аэробных или анаэробных бактерий из воды удаляют окисляемые биохимическим путем загрязнения. При необходимости осуществляется доочистка или глубокая очистка производственных сточных вод обычно после их механической или физико-механической очистки перед повторным использованием или сбросом очищенных сточных вод в водоем.

Если обычные методы очистки и доочистки дороги или не обеспечивают требуемый эффект применяют выпаривание, сжигание, закачки в подземные горизонты.

При выборе метода очистки во всех случаях следует отдавать предпочтение наиболее простым в эксплуатации методам, позволяющим извлечь ценные компоненты загрязнений производственных сточных вод и использовать очищенные стоки в оборотном водоснабжении.

Осадок и нефтепродукты из производственных сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта обычно обезвоживаются простейшими способами на шламовых площадках, в бункерах, в разделочных резервуарах и вывозятся в отведенные для этого места или сжигаются в котельных. Для обезвоживания осадков применяют также вакуумфильтры, центрифуги, фильтрпрессы, вибросита и др. сооружения и способы, аналогичные способам обработки осадков бытовых сточных вод.

Технологические схемы очистки сточных вод конкретных промышленных предприятий отличаются по применяемым методам очистки, составу и конструкциям сооружений для очистки воды и обработки осадков, степени очистки и использования очищенных сточных вод в обороте. Они являются частью общей системы водного хозяйства промышленного предприятия и должны решаться с учетом этого обстоятельства. Для отдельных технологических процессов может оказаться целесообразным устройство своих локальных очистных сооружений, работающих в оборотном замкнутом цикле без сброса или периодическим сбросом воды в общий сток предприятия с целью поддержания ее качества в оборотном цикле на требуемом уровне. В связи с высокими требованиями к показателям сточных вод, сбрасываемых в различные приемники, как правило, приходится в одной технологической схеме применять различные методы очистки: механический, физико-химический, химический и биологический. При невозможности получить требуемые показатели качества очищенной воды простейшими методами применяют ее доочистку более сложными и

дорогостоящими способами. После механической очистки отстаиванием применяют метод фильтрации, физико-химическую или биологическую очистку и т.д., поэтому во всех современных схемах очистки производственных сточных вод можно выделить два блока: блок основной очистки и блок ее доочистки перед сбросом в водоем, подачей на использование и т.д. Примеры схем очистки сточных вод некоторых конкретных предприятий железнодорожного транспорта приведены в разделе 15.5.

15.4. Сооружения для очистки производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта

Конструкция и устройство применяемых на транспорте сооружений и их расчет отражают специфику обрабатываемых сточных вод и особенности их обезвреживания.

Усреднение концентрации и расхода

Для сточных вод промышленных предприятий характерны резкие и частые изменения их расхода и концентрации, что связано с особенностями производства. Они нарушают работу очистных сооружений, поэтому такие колебания предварительно выравнивают, применяя усреднители различных конструкций (рис. 15.3). При больших расходах применяют проточные усреднители. Контактные усреднители периодического действия применяются при небольших расходах и периодическом сбросе сточных вод. Усреднение расхода и концентрация загрязнений позволяет рассчитывать все последующие сооружения очистки не на максимальные, а на средние параметры. Выбор типа усреднителя и расчет его объема осуществляются на основе данных о колебаниях, концентрации и расходе сточных вод и требуемой степени усреднения. При циклическом графике изменения концентрации загрязнений усреднение осуществляется за время цикла T . При этом средняя концентрация (г/м^3)

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^T C_i q_i t_i}{\sum_{i=1}^T q_i t_i}, \quad (15.6)$$

где C_i и q_i - концентрация (г/м^3) и расход ($\text{м}^3/\text{ч}$) за время t_i (ч).

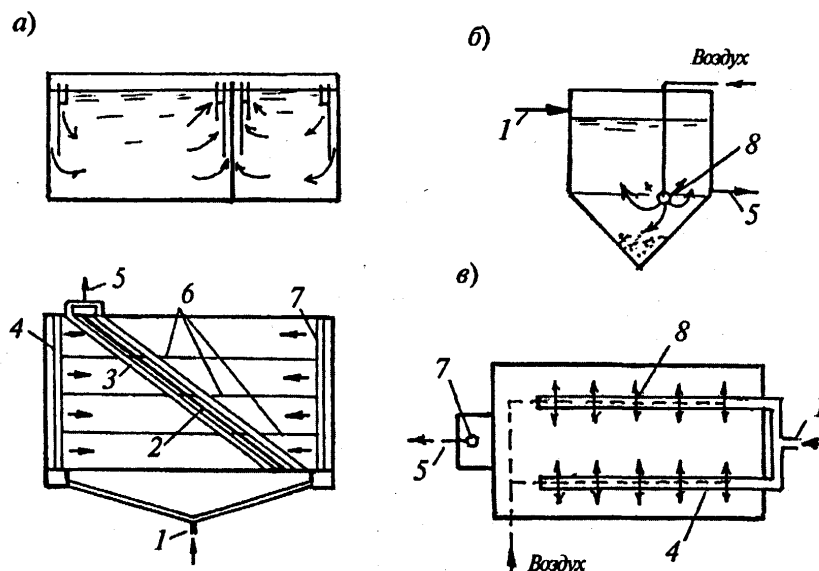


Рис.15.3. Конструкции усреднителей:

а - проточный многокоридорный с диагональной перегородкой;
б - контактный усреднитель периодического действия; в - проточный с перемешиванием воды воздухом
1 - водоподводящий канал; 2 - глухая диагональная перегородка; 3 - водосборные желоба;
4 - водораспределительные желоба; 5 - водоотводящий канал; 6 - продольные вертикальные перегородки; 7 - впускная камера с устройством, обеспечивающим постоянство выходящего из усреднителя расхода; 8 - барботеры

Объем усреднителя

$$W = \sum_{i=0}^{i=T} q_i t_i \quad (15.7)$$

При не циклическом графике изменения концентрации на основании его анализа, выбирается интервал усреднения T с залповым поступлением высококонцентрированных сточных вод. Усреднение заключается в сглаживании максимальных пиковых концентраций C_{\max} до уровня допустимого для работы последующих сооружений $C_{\max, \text{доп}} > C_{\text{ср}}$ за выбранный интервал. Если при принятом периоде T усредненная концентрация $C_{\text{ср}}$ будет больше некоторой допустимой концентрации $C_{\max, \text{доп}}$, вместимость усреднения следует увеличить, расширяя границы принятого интервала. Расчеты выполняются по зависимостям (15.6) и (15.7).

Необходимый объем усреднителя с диагональной перегородкой рекомендуется определять по формуле (15.7) с коэффициентом 0,7.

Для повышения эффективности усреднения, а также при наличии в сточной воде взвешенных веществ для предотвращения их выпадения осуществляется перемешивание воды механическими мешалками, насосами, с помощью барботажа. Воздух для перемешивания подается через перфорированные трубчатые барботеры, укладываемые на 0,07 - 0,1 м от дна расстояния и $2H$ друг от друга, где H - глубина усреднителя (м). Удельный расход воздуха $q_{\text{возд}} = 4 - 6 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 п.м. Для предотвращения выпадения взвешенных веществ удельный расход воздуха

$$q_{\text{возд}} = \frac{2K_{\text{взв}} U_0}{61,2H}, \quad (15.8)$$

где $K_{\text{взв}}$ - коэффициент пропорциональности, для хлопьевидной взвеси $K_{\text{взв}} = 5 - 6$; для структурной $K_{\text{взв}} = 10 - 12$; U_0 - гидравлическая крупность наиболее крупных частиц, мм/с.

При установке усреднителей после песколовок или отстойников соответственно принимают $U_0 = 18 - 20 \text{ мм/с}$ и $0,2 - 0,3 \text{ мм/с}$. При концентрации взвеси более 500 мг/л любой гидравлической крупности применяются усреднители с механическим перемешиванием.

Механическая очистка

Сооружения механической очистки широко применяются для обезвоживания производственных сточных вод и позволяют при минимальных затратах на их строительство и эксплуатацию извлечь основную массу загрязнений при интенсификации их работы, в ряде случаев обеспечить обратное использование воды и вернуть в основное производство извлекаемое из сточных вод ценное сырье.

Решетки. Обычно применяют неподвижные решетки с ручной очисткой и прозорами 10 - 16 мм, устанавливаемые в лотках, колодцах, приемных резервуарах. Они рассчитываются и проектируются аналогично решеткам для очистки бытовых сточных вод.

Песколовки. Для задержания песка и шлака из ливневых вод, стоков от промывки вагонов и других случаях обычно применяют горизонтальные песколовки, устройство, расчет и проектирование которых аналогичны песколовкам для очистки бытовых вод.

Отстойники. Для выделения из производственных сточных вод взвешенных веществ (механических примесей) на пунктах подготовки грузовых вагонов, дезинфекционно-промывочных станциях и в др. случаях чаще всего применяются вертикальные отстойники. Следует отметить, что отстойники различного назначения и типа (горизонтальные, вертикальные, радиальные, тонкослойные и т.п.) нашли широкое применение в водоотводящих системах промышленных предприятий. Расчет их производится аналогично отстойникам применяемым в бытовой канализации, исходя из необходимого времени отстаивания для достижения заданного эффекта осветления. Потребное время отстаивания принимается с учетом характера содержащихся в воде загрязнений. Так для предотстойников на пунктах подготовки товарных вагонов рекомендуется время отстаивания $t = 3 - 5$ мин. При известном времени t (ч) объем отстойной зоны отстойника (m^3) равен

$$W = Q t, \quad (15.9)$$

где Q - максимально часовой расход, $m^3/ч$.

Гидроциклоны. Для выделения из воды тяжелых примесей применяют открытые и напорные гидроциклоны. Последние получили распространение на железнодорожном транспорте в схемах очистки загрязненных моющих растворов от моечных машин, для грубой очистки сточных вод, поступающих на флотационные установки, для отмывки нефтепродуктов осадка от минеральных загрязнений. Напорный гидроциклон (рис. 15.4) представляет собой закрытый конический сосуд с цилиндрической верхней частью, на которой размещены входной и отводящий патрубки. Входной патрубок расположен тангенциально и заканчивается впускной насадкой, обеспечивающей скорость входа в аппарат не менее 6 - 8 м/с, вследствие чего обрабатываемая вода приобретает интенсивное вращательное движение. Под действием возникающей центробежной силы частицы тяжелой взвеси отбрасываются к стенкам гидроциклона и сползают вниз под действием силы тяжести, где удаляются с частью воды через грязевой насадок. Очищенная вода отводится через верхний отводящий патрубок. Под грязевым патрубком размещают соединенный с гидроциклоном промежуточный бункер, а под ним контейнер для сбора осадка (пульпы), который периодически вывозится.

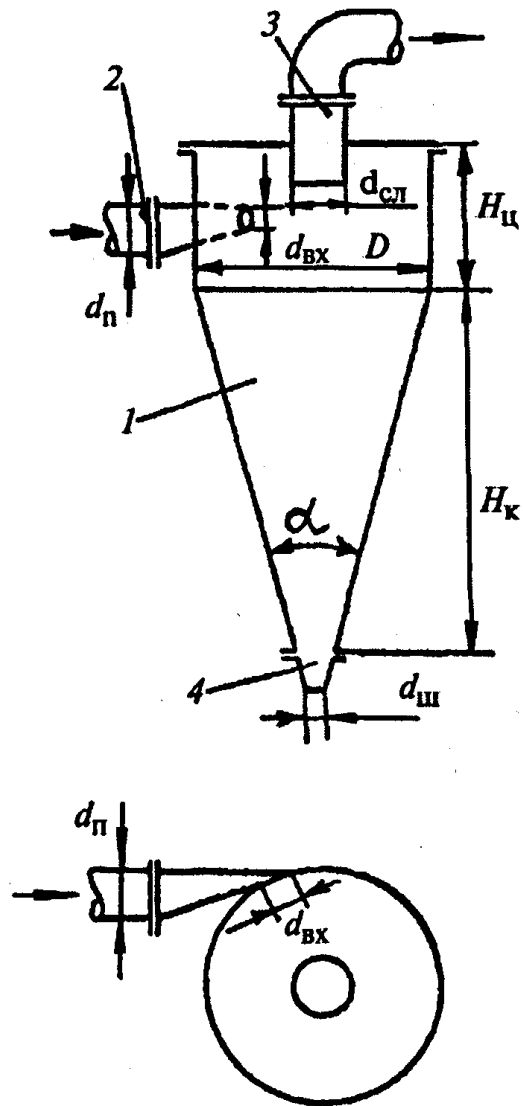


Рис.15.4. Напорный гидроциклон:
1 - корпус; 2 - входной патрубок; 3 - сливной патрубок; 4 - грязевой насадок

В водоотводящих системах промышленных предприятий применяются напорные гидроциклоны диаметром D от 20 - 500 мм, производительностью от 0,3 до 300 м³/ч, а также мультициклоны - батарейные установки из нескольких десятков гидроциклонов малого диаметра. На транспорте обычно используются гидроциклоны диаметром $D = 100 - 150$ мм.

Расчет гидроциклонов сводится к определению их производительности и параметров задерживаемых частиц при принятом диаметре D . Причем основные размеры гидроциклонов рекомендуется подбирать по данным заводов изготовителей. При этом

должны учитываться соотношения: $\frac{d_{сл}}{D} = 0,12 - 0,4$; $\frac{d_{п}}{d_{сл}} = 0,5 - 1$; $\frac{d_{ш}}{d_{сл}} = 0,2 - 1$.

Высота цилиндрической части принимается $H_{ц} = (1 - 2)D$ для гидроциклонов-сгустителей, рассчитанных на грубую очистку, и $(2 - 4)D$ для гидроциклонов-осветлителей с предельно высоким эффектом очистки. Соответственно угол конусности α конической части

принимается $\alpha = 5 \dots 15^\circ$ и $\alpha = 20 - 45^\circ$. Диаметр шламовой насадки подбирается так, чтобы со шламом вытекало не более 7-8% воды для гидроциклонов при $D \leq 100$ мм и 3 - 4 % при $D > 100$ мм.

Производительность Q (м³/ч) гидроциклона

$$Q = 0,5 F_{\text{вх}} \sqrt{H} , \quad (15.10)$$

где $F_{\text{вх}}$ - площадь сечения впускной насадки, см²;
 H - напор перед гидроциклоном, $H = 10 - 20$ м.

Гидравлическая крупность U_0 (мм/с) задерживаемых частиц

$$U_0 = 15,33 \frac{k_T D^3}{a Q} , \quad (15.11)$$

где D - диаметр гидроциклона, м;
 Q - расход, м³/ч;
 k_T и a - коэффициенты; $k_T = 0,04$ при $D = 0,075$ м, $k_T = 0,02 - 0,03$ при $D = 0,25 - 0,5$ м; $a = 0,45$.

Открытые гидроциклоны, обычные и многоярусные, позволяют выделять нефтепродукты и тяжелые механические примеси. На транспортных предприятиях возможно их применение в составе очистных сооружений для грубой очистки сточных вод при расходах более 30 - 50 м³/ч, когда невозможно применение нефтеловушек или флотаторов-отстойников.

Нефтеловушки (рис. 15.5) применяются на предприятиях железнодорожного транспорта для задержания грубодисперсных нефтяных частиц при концентрации нефтепродуктов в сточной воде более 100 мг/л. Одновременно в них задерживаются механические примеси. Нефтеловушки представляют собой горизонтальные, прямоугольные в плане отстойники глубиной H от 1 до 2 м, шириной B до 3 - 6 м, оборудованные устройствами для задержания и сбора нефтепродуктов. Сточная вода по подводящей трубе поступает в лоток, из которого, переливаясь через водослив, попадает в приемное отделение, а оттуда через вертикальные щели в распределительной перегородке входит в отстойную зону и движется в ней горизонтально со скоростью не более 4 - 6 мм/с в течение около 2 ч. Затем протекает под полупогруженной нефтеудерживающей стенкой и собирается в сборный лоток. При этом тяжелая взвесь оседает на дно сооружения, а легкие нефтепродукты всплывают на поверхность воды. Выпавший на дно осадок скребком, приводимым в движение от лебедки, периодически сгребается в приямок, откуда удаляется гидроэлеватором, насосом или ассенизационной машиной. Всплывшие на поверхность нефтепродукты сгоняются скребком к поворотным нефтесборным трубам диаметром $d = 300$ мм и через продольные щели шириной около 30 - 50 мм сливаются в них. Далее по этим трубам нефтепродукты отводятся в нефтесборные резервуары.

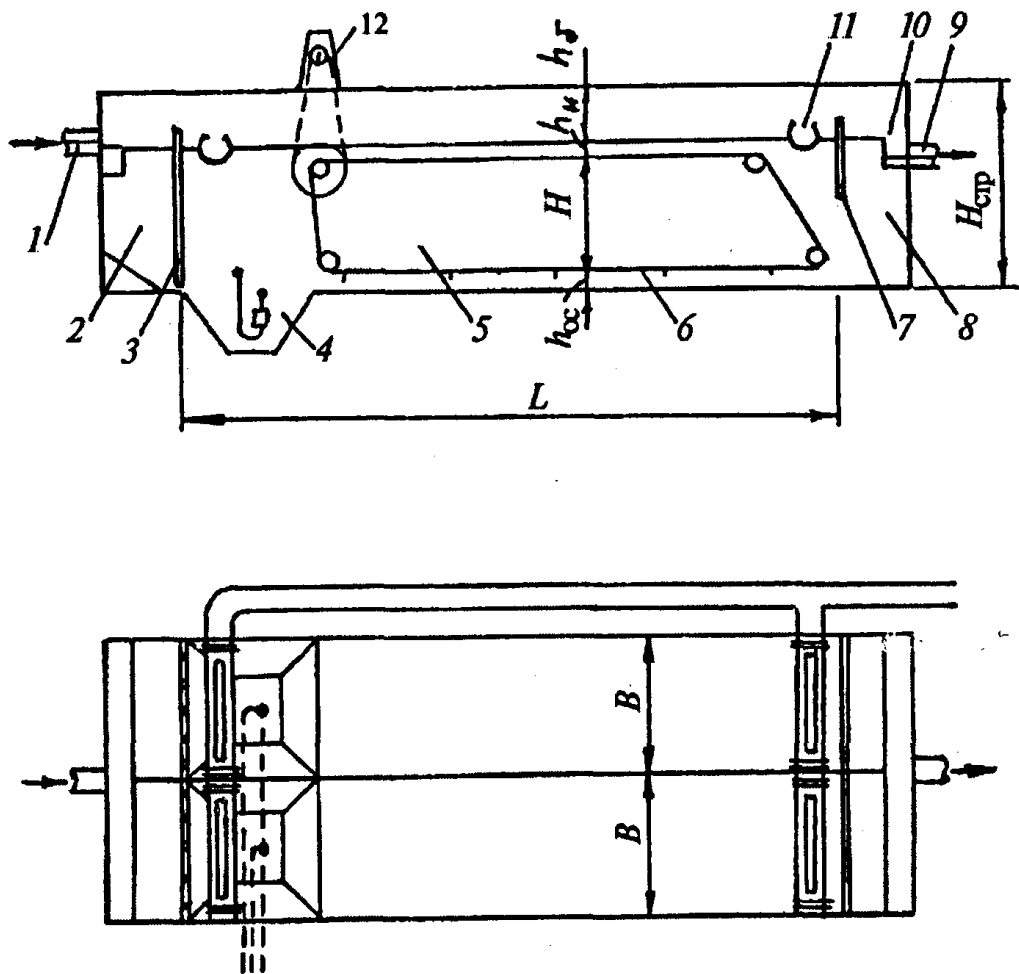


Рис.15.5. Типовая нефтеловушка:

1 - подводный трубопровод; 2 - приемная камера; 3 - распределительная перегородка; 4 - приямок для осадка с гидроэлеватором; 5 - отстойная зона; 6 - скребковое устройство; 7 - нефтеудерживающая перегородка; 8 - выпускная камера; 9 - водоотводящий трубопровод; 10 - водосборный лоток; 11 - поворотные щелевые трубы; 12 – привод скребков

Расчет нефтеловушек производится на максимальный приток сточных вод q_m (м³/с). Назначается число секций нефтеловушки $n \geq 2$. При небольших расходах стоков предприятий железнодорожного транспорта иногда принимают $n = 1$. Назначают глубину нефтеловушки H и ширину ее сек-

ций B . В практике железнодорожного транспорта устраивают нефтеловушки глубиной $H = 1 - 2$ м, шириной $B \geq 2$ м. Средняя скорость v (м/с) движения воды в проточной части нефтеловушки

$$v = \frac{q_m}{nHB} \quad (15.12)$$

Диапазон изменения этих скоростей для нефтеловушек промышленных предприятий 2 - 10 мм/с. Рекомендуется принимать скорость $v = 4 - 6$ мм/с, а гидравлическую

крупность (скорость всплывания задерживаемых нефтяных частиц) $U_0 = 0,4 - 0,6$ мм/с. При несоответствии найденной по формуле (15.12) скорости v с рекомендуемой, корректируют расчет, а затем определяют длину нефтеловушки L (м) по формуле

$$L = a \frac{v}{U_0} H, \quad (15.13)$$

где a - коэффициент, учитывающий турбулентность и струйность потока воды в нефтеловушке.; при $\frac{v}{U_0} = 20$ $a = 1,75$; $\frac{v}{U_0} = 15$ $a = 1,65$; а при $\frac{v}{U_0} = 10$ $a = 1,5$. После

определения длины L проверяют отношение $\frac{L}{H}$, которое должно быть в пределах от 15 до

20 и расчетную продолжительность всплывания нефтяных частиц $t_1 = \frac{H}{U_0}$, которая

должна быть меньше расчетной продолжительности $t_p = \frac{H}{U}$.

Количество свежего осадка $W_{ос}$ (м³/сут), задерживаемого в нефтеловушке, определяется по формуле

$$W_{ос} = \frac{Q_{сут} A}{\rho(100 - p)10^6}, \quad (15.14)$$

где $Q_{сут}$ - суточный расход сточных вод, м³/сут;

A - количество задерживаемого осадка по сухому веществу; $A = 80 - 120$ г/м³ сточных вод;

p - влажность свежес выпавшего осадка, %, $p = 95$ %;

ρ - плотность свежес выпавшего осадка, $\rho = 1,1$ т/м³.

Высота слоя осадка в нефтеловушке $h_{ос}$ определяется по его объему $W_{ос}$ и не должна в процессе эксплуатации превышать $h_{ос} = 0,1$ м.

Сопоставляя эту величину с расчетной, решают вопрос о частоте включения скребков для сгребания осадка и его удаления из нефтеловушки. Расчетный слой всплывших нефтепродуктов в нефтеловушке h_n принимается равным 0,1 м.

Остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной воде

$$K_{н\text{ ост}} = \frac{(100 - \Xi)}{100} K_n, \quad (15.15)$$

где K_n - концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей на очистку, мг/л;

Ξ - эффект задержания нефтепродуктов в нефтеловушке, % при $U_0 = 0,4$ мм/с $\Xi = 70$ %, а при $U_0 = 0,6$ мм/с $\Xi = 60$ %.

Высота нефтеловушки $H_{стр}$ (м) определяется с учетом принятых значений h_H и $h_{ос}$, высоты борта нефтеловушки $h_б \geq 0,3$ м, высоты нейтрального слоя $h_{нс} = 0,3$ м

$$H_{стр} = h_б + h_H + H + h_{нс} + h_{ос}. \quad (15.16)$$

Тонкослойные нефтеуловители применяются для задержания грубодисперсных и эмульгированных нефтяных частиц, а также минеральных примесей. Они отличаются от обычных нефтеуловителей наличием в отстойной зоне блоков тонкослойных элементов (рис. 15.6), выполненных из параллельно установленных листов или пластин, расстояние между которыми составляет 0,025 - 0,1 м, т.е. значительно меньше, чем общая глубина отстойной зоны. Пластины в блоках устанавливаются под углом к горизонту, что обеспечивает сползание выпадающего осадка и нефтепродуктов в зоны их накопления, и изготавливаются из стали, асбестоцементных, пластмассовых листов и других материалов. Тонкослойные отстойники и нефтеуловители отстойники отличаются от обычных более высокой производительностью и эффектом очистки, так как обеспечивают задержание не только грубодисперсных, но и тонко эмульгированных частиц нефтепродуктов и взвеси. Они компактны и занимают значительно меньшую площадь, что позволяет в ряде случаев размещать их в пределах здания. В отечественной практике для очистки нефтесодержащих стоков чаще всего применяются нефтеуловители напорные и безнапорные с горизонтальным движением воды. Примером такого безнапорного нефтеуловителя является компактный отстойник-нефтеуловитель, разработанный для установки его в помещении (рис. 15.7, а). Он представляет собой прямоугольную в плане открытую металлическую емкость с бункерным дном, в которой установлены универсальные полочные блоки (УПБ) конструкции ЛИИЖТа, с поперечными желобами и вертикальными изолированными каналами на концевых участках (рис. 15.7, б), предотвращающие снос (вынос) уловленных частиц потоком отстаиваемой жидкости.

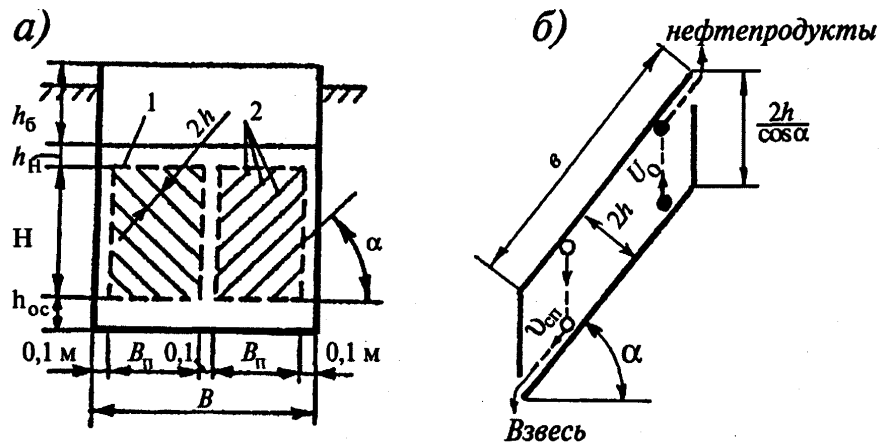


Рис.15.6. Поперечное сечение тонкослойного нефтеуловителя (а) и схема осаждения (всплывания) частиц в тонкослойном элементе (б):

1 - блок тонкослойных элементов; 2 - параллельно установленные пластины, образующие тонкослойные элементы

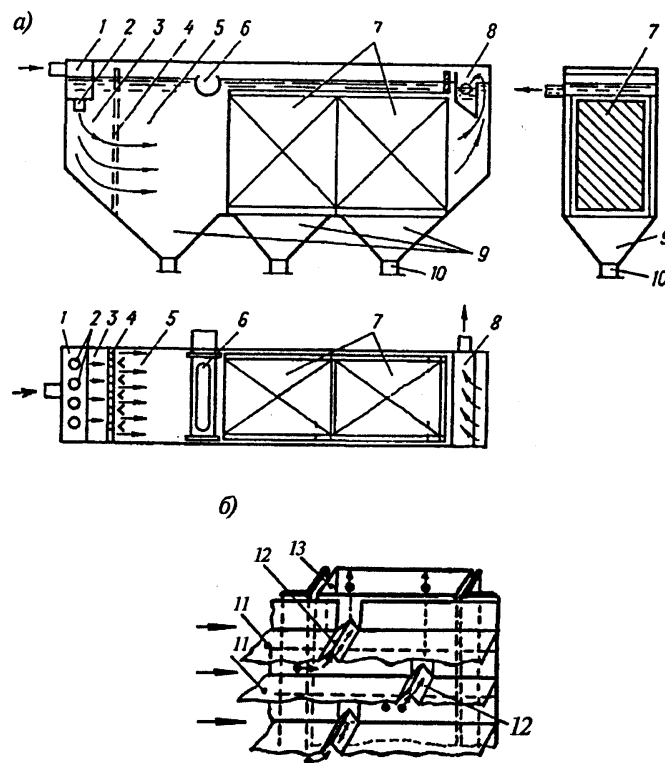


Рис.15.7. Безнапорный компактный отстойник-нефтеуловитель с универсальными полочными блоками: а) - отстойник-нефтеуловитель; б) - фрагмент концевой части блока конструкции ЛИИЖТа:

1 - водораспределительный лоток; 2 - патрубки; 3 - приемное отделение; 4 - распределительная щелевая перегородка с отражателями; 5 - отстойная зона грубой очистки; 6 - нефтесборная труба; 7 - тонкослойные полочные блоки; 8 - водосборный лоток; 9 - бункеры для сбора осадка; 10 - патрубки для удаления осадка; 11 - полки; 12 -

поперечные желоба (треугольного, прямоугольного или сегментного сечения); 13 - вертикальные изолированные каналы

Расчет тонкослойных нефтеуловителей производится в той же последовательности, что и обычных (см. выше). Скорость потока v в тонкослойных элементах рекомендуется принимать 2 - 10 мм/с.

Площадь живого сечения тонкослойных элементов, устанавливаемых в одну секцию нефтеуловителя, составляет

$$F = m B_{\Pi} H = \frac{Q_M}{nv}, \quad (15.17)$$

где m - количество блоков тонкослойных элементов, устанавливаемых параллельно, определяется из конструктивных соображений, обычно $m = 1 - 2$ при $B \leq 3$ м;
 B_{Π} - ширина тонкослойного блока, м;
 n - число нефтеуловителей.

Расстояния между блоками, а также между стенкой нефтеуловителя и блоком принимаются из условий их монтажа и отведения задержанных загрязнений в зоны накопления и обычно составляют около 0,1 м. Сечение, не занятое тонкослойными блоками, должно быть минимальным. При проектировании следует принимать меры для предотвращения движения жидкости за пределами блоков (предусматривать отгибы пластин, проектировать специальные перегородки за пределами блоков в нескольких местах по их длине и т.д.).

Длина пакетов пластин (тонкослойных элементов) (м)

$$L_{\Pi} = \Psi \frac{v2h}{U_o \cos \alpha}, \quad (15.18)$$

где $2h$ - расстояние между пластинами, принимаемое равным 0,025-0,1 м;
 U_o - гидравлическая крупность (скорость всплывания) задерживаемых нефтяных частиц, мм/с;
 α - угол наклона пластин (тонкослойных элементов), принимаемый из условия сползания осадка 45 - 60°;
 Ψ - коэффициент, учитывающий действительные условия осаждения частиц в отстойнике. Значения Ψ следует определять по табл. 15.1.

Таблица 15.1

Значения коэффициентов Ψ

$\frac{L_{\Pi}}{h Re}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	4,0
Ψ	1,78	1,61	1,48	1,42	1,38	1,35	1,28	1,32	1,17

В табл. 15.1 $Re = \frac{vh}{\nu}$ - число Рейнольдса, ν - коэффициент кинематической вязкости жидкости, m^2/c .

Пакеты пластин рекомендуется располагать на расстоянии H от водораспределительных и $0,5H$ от водосборных устройств.

Для повышения эффекта очистки за счет устранения сноса уловленных частиц на концах пластин (рис. 15.7,б) рекомендуется предусматривать поперечные желоба, заканчивающиеся в каналах, изолированных от движущегося потока. Ширина поперечного желоба

$$l_{ж} \geq \frac{0,012\nu}{U_o \cos\alpha} . \quad (15.19)$$

Высота желоба $a_{ж}$ принимается равной $0,5 l_{ж}$, а расстояние между осями желобов в соседних полках - $2,5 l_{ж}$. Размеры канала: $l_k = 4 l_{ж}$, ширина $b_k = 0,1$ м, высота $H_k = H$.

Расчет тонкослойных нефтеуловителей производится с учетом требуемого эффекта очистки на задержание эмульгированных частиц нефтепродуктов диаметром $d_o = 25 - 50$ мкм. При отсутствии данных по кинетике отстаивания нефтепродуктов в тонком слое для стоков локомотивных, тепловозных депо и близких к ним по составу сточных вод других предприятий железнодорожного транспорта расчетный диаметр частиц d_o (мкм), обеспечивающий требуемый эффект задержания эмульгированных нефтепродуктов, может быть определен по графикам (рис. 15.8). Гидравлическая крупность задерживаемых частиц U_o (м/с) в этом случае определяется по зависимости

$$U_o = \alpha_1 \frac{g(\rho_v - \rho_n)}{18\rho\nu} d_o^2 , \quad (15.20)$$

где ν - абсолютная вязкость воды, m^2/c ;
 ρ_v и ρ_n - плотности воды и нефтепродуктов, $г/м^3$; при расчетах очистных сооружений локомотивных и вагонных депо для наиболее неблагоприятных условий можно принимать $\rho_n = 0,9 г/см^3$;
 g - ускорение силы тяжести; $g = 9,81 м/с^2$;
 d_o - диаметр нефтяных частиц, полностью задерживаемых в нефтеуловителе, м;
 α_1 - коэффициент, учитывающий влияние механических примесей на скорость всплывания нефтяных частиц,

$$\alpha_1 = 0,0015 \frac{C_n}{C_{мп}} + 0,875 , \quad (15.21)$$

где C_n - концентрация нефтепродуктов в воде, $мг/л$,
 $C_{мп}$ - концентрация механических примесей, $мг/л$.

Для определения эффекта очистки стоков необходимо знать исходную концентрацию загрязнений и их дисперсный состав.

Исходная концентрация нефтепродуктов в стоках

$$C_H = C_I + C_{II} + C_{III}, \quad (15.22)$$

где C_I , C_{II} и C_{III} - соответственно содержание растворенных и грубодисперсных ($d_o > 100$ мкм) нефтепродуктов, мг/л.

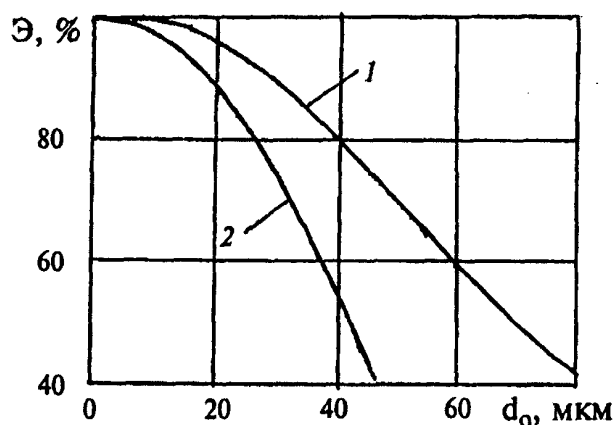


Рис.15.8. Зависимость эффекта очистки по эмульгированным нефтепродуктам от диаметра задерживаемых частиц:

1 - общий сток (C_{II} - 100 - 200 мг/л); 2 - общий сток при поступлении в него стоков от моечных машин (C_{II} - 500 - 12000 мг/л)

Концентрация растворенных нефтепродуктов в стоках железнодорожных предприятий обычно не превышает $C_I \approx 10-15$ мг/л; $C_{II} \approx 100-200$ мг/л для обычного стока и 500 - 12000 мг/л при поступлении стоков моечных машин.

В тонкослойных нефтеуловителях грубоэмульгированные нефтепродукты задерживаются полностью и в очищенном стоке остаются только растворенные и некоторая часть тонкоэмульгированных нефтепродуктов.

Остаточное содержание их после нефтеуловителя

$$C_{ост} = C_I + C_{II} \left(\frac{100 - \mathcal{E}}{100} \right). \quad (15.23)$$

Количество свежего осадка определяется, исходя из эффекта очистки от взвеси $\mathcal{E}_{вв} = 60 - 70$ %, по формуле

$$W_{ос} = \frac{Q_{сут} \mathcal{E}_{вв} C_{мп}}{\rho(100 - p)10^6}. \quad (15.24)$$

Количество задержанных нефтепродуктов

$$W_H = \frac{Q_{\text{сут}} (C_H - C_{\text{ост}})}{\rho(100 - p)10^6} \quad (15.25)$$

Зона для сбора нефтепродуктов над тонкослойными блоками принимается равной 0,1 м. Размеры осадочной зоны от низа блоков до дна определяются конструктивно с учетом размещения скребков, объема осадка и принятого способа его удаления. Строительная глубина определяется аналогично обычным нефтеловушкам.

Смоло-маслоуловители применяются в водоотводящих системах промышленных предприятий для извлечения масел и смол. На железнодорожном транспорте используются для очистки сточных вод шпалопропиточных заводов от масляных антисептиков, содержащих как легкие, так и тяжелые фракции. Обычно они устраиваются в виде горизонтальных или вертикальных отстойников. Лучший эффект дают вертикальные смоло-маслоуловители.

На рис. 15.9 представлена схема устройства радиального смоло-маслоуловителя. Особенностью конструкции этого смоло-маслоуловителя является наличие в центре его открытого гидроциклона, что повышает эффект очистки воды; кроме того в нем предусмотрена также возможность интенсификации отстаивания воды за счет флотации эмульгированных загрязнений путем добавления в поступающую на очистку сточную воду части рециркулирующей воды, насыщенной воздухом в напорном баке флотационной установки, которая предусмотрена технологической схемой очистки после смоло-маслоуловителей.

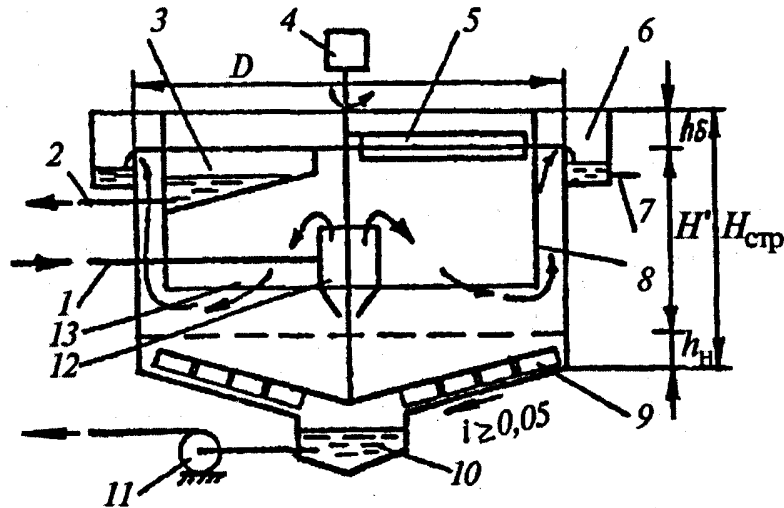


Рис.15.9. Схема смоло-маслоуловителя:

1 - подводящий трубопровод; 2 - трубопровод для отвода легких масел и смол; 3 - лоток для сбора всплывающих масел и смол; 4 - электропривод скребков; 5 - верхний скребок для сгребания легких масел и смол; 6 - кольцевой водосборный лоток; 7 - отводящий трубопровод; 8 - подвесная кольцевая перегородка; 9 - донный скребок для сгребания тяжелых смол; 10 - сборник тяжелых смол; 11 - насос для откачки тяжелых смол; 12 - открытый гидроциклон; 13 - зона отстаивания

Работа смоло-маслоуловителя состоит в следующем. Сточная вода по подводящему трубопроводу поступает в открытый гидроциклон, где освобождается от грубодисперсных оседающих и всплывающих смол и масел. Из гидроциклона вода попадает в зону отстаивания, где освобождается от более мелких частиц смол и масел. Тяжелые частицы оседают вниз, а легкие всплывают на поверхность воды и удерживаются в сооружении подвешной кольцевой перегородкой. Очищенная вода собирается кольцевым лотком и отводится по отводящей трубе. Для сгребания тяжелых смол в сборник для смол и легких смол и масел в радиальный лоток служат донной скребок и верхний скребок с электроприводом. Легкие масла и смолы отводятся из лотка по трубопроводу самотеком, а тяжелые смолы откачиваются насосом. В необходимых случаях предусматривается нагрев смолы паром.

Расчет смоло-маслоуловителей производят на максимальный приток сточных вод Q ($\text{м}^3/\text{ч}$), который в случае применения рециркуляции увеличивают на величину циркулирующего расхода. При времени пребывания воды в смоло-маслоуловителе t (ч), объем W (м^3) определяется по зависимости (15.6). При этом время t принимается от 2 до 4 - 6 часов.

Расчетная глубина H принимается исходя из местных условий 1,5 - 3 м. Площадь зеркала смоло-маслоуловителя F (м^2) определяется по формуле

$$F = \frac{W}{nH}, \quad (15.26)$$

где n - число смоло-маслоуловителей; обычно $n \geq 2$.

Диаметр смоло-маслоуловителя

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}. \quad (15.27)$$

Строительная высота его $H_{\text{стр}}$ определяется с учетом нейтрального слоя $h_n = 0,3$ м и высоты борта $h_b \geq 0,3$ м по зависимости

$$H_{\text{стр}} = h_b + H + h_n. \quad (15.28)$$

Фильтры нашли широкое применение для доочистки производственных сточных вод, содержащих мелкодисперсную взвесь, эмульгированные масла, смолы и нефтепродукты, после отстаивания, флотации, биологической очистки, перед выпуском их в водные объекты или подачей на повторное использование. Применяются открытые безнапорные и закрытые напорные фильтры. Конструкции их аналогичны фильтрам водоснабжения. Определенными преимуществами с точки зрения эффективности отмытки загрязнений обладают каркасно-засыпные фильтры (рис. 15.10, а). Это двухслойные фильтры с нисходящим движением потока, отличающимся высокой грязеемкостью. Фильтр имеет поддерживающий гравийный слой высотой 0,5 м, в котором размещены трубчатые распределители системы воды и воздуха, фильтрующий слой, состоящий из каркаса (гравий, щебень крупностью 40 - 60 мм) высотой 1,8 - 2,3 м и загрузка (мелкозернистый кварцевый песок крупностью 0,8 - 1 мм, дробленый керамзит, кокс, горелые породы, антрацит или другие зернистые материалы) высотой 0,9 - 1,2 м, которая

располагается в порах каркаса. Верхние слои каркаса, в которых засыпки нет, выполняют дополнительную роль по извлечению загрязнений. При промывке фильтра каркас неподвижен, а загрузка разбухает и занимает весь свободный объем пор каркаса, в пределах которого обеспечивается качественная отмывка фильтрующего материала. При расчете каркасно-засыпных фильтров скорость фильтрации принимается $v_{\phi} = 10 - 15$ м/ч. Для обычных безнапорных фильтров $v_{\phi} = 5 - 7$ м/ч. Уровень воды над загрузкой при рабочем режиме не менее 2 м.

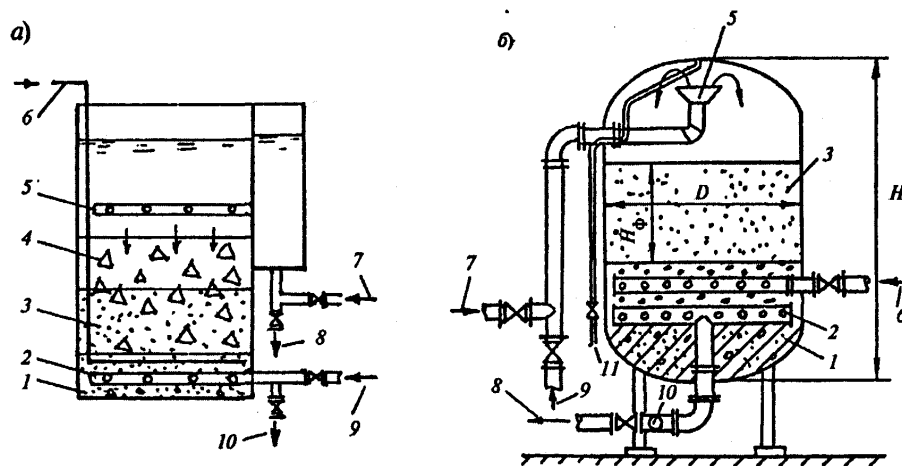


Рис.15.10. Схема каркасно-засыпного (а) и напорного (б) фильтров:

1 - поддерживающий гравийный слой; 2 - распределительная система высокого сопротивления; 3 - песчаная загрузка; 4 - гравийный каркас; 5 - трубчатая система для подачи исходной и отвода промывной воды; 6 - подача воздуха при промывке; 7 - подача исходной воды; 8 - отвод промывной воды; 9 - подача промывной воды; 10 - отвод фильтрата; 11 - отвод воздуха

Напорные фильтры (рис. 15.10, б) промышленного изготовления, представляющие собой вертикальный или горизонтальный стальной резервуар, рассчитанный на давление до 6 МПа нашли широкое применение для обработки воды на местных очистных сооружениях (МОС). После таких фильтров под остаточным напором вода может быть подана непосредственно в оборотную систему предприятия. В качестве загрузки фильтра используются те же зернистые материалы, что и для безнапорных фильтров: кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, шунгизит, сульфуголь, обладающие большой грязеемкостью и легко регенерируемые.

Для повышения качества очищенной воды и целенаправленного извлечения из нее определенных видов загрязнений, например, тяжелых металлов, применяются активные сорбирующие загрузки, активированный уголь, алюмосиликатный адсорбент, модифицированный активированный уголь и т.п. Скорость фильтрации для напорных фильтров рекомендуется $v_{\phi} = 5 - 12$ м/ч. Фильтрация воды сверху вниз.

На фильтры с зернистой загрузкой допускается подача сточной воды с концентрацией нефтепродуктов до 50 мг/л и взвешенных веществ до 100 мг/л. При введении коагулянта сернистого алюминия (5 - 10 мг/л) и флокулянта ПАА (0,2 - 0,5 мг/л) остаточная концентрация нефтепродуктов в воде после обычной загрузки не превышает 5 мг/л.

Общая площадь рабочих фильтров F_{ϕ} (м²) определяется по формуле

$$F_{\phi} = \frac{Q}{v_{\phi}}, \quad (15.29)$$

где Q - расход, м³/ч;
 v_{ϕ} - скорость фильтрации, м/ч.

Количество рабочих фильтров при площади одного фильтра F_1

$$N_{\phi} = \frac{F_{\phi}}{F_1}, \quad (15.30)$$

Таблица 15.2

Основные параметры вертикальных напорных фильтров

Размеры корпуса, м		Объем загрузки, W, м ³	Площадь фильтрации, F ₁ , м ²
Диаметр D	Высота H		
1,0	2,9	0,97	0,80
1,5	3,3	2,31	1,78
2,0	3,6	4,34	3,14
2,6	4,0	7,86	5,30
3,0	4,4	11,00	7,10
3,4	4,5	14,70	9,10

Количество рабочих фильтров $N_{\phi} \geq 2$, при их числе до четырех принимается один резервный фильтр. Фильтры промывают очищенной водой при подаче ее снизу вверх. Наиболее высокий эффект промывки загрузки от нефтепродуктов достигается при использовании горячей воды, нагретой до 60 - 80°С. Интенсивность водяной промывки 10 - 12 л/с в течение 12 - 14 мин. Применяется также водовоздушная промывка.

В качестве нерегенерируемых сменных загрузок для очистки поверхностных и производственных сточных вод применяются кокс, опилки, стружка, торф и другие органические материалы, которые после использования сжигают.

При удалении из воды малых количеств растворенных загрязнений фильтры с сорбирующей загрузкой из антрацита, кокса, активированного угля, алюмосиликатного адсорбента используются для доочистки воды от масел и нефтепродуктов в том числе и в качестве второй ступени фильтрации после, например, песчаных фильтров. Точное содержание нефтепродуктов может быть уменьшено до 1 - 5 мг/л. При этом активные фильтрующие загрузки позволяют очищать воду от тяжелых металлов, фенолов и других растворенных примесей. Сорбционным способом достигается высокая степень очистки сточных вод, однако его применение ограничивается необходимостью частой смены загрузки или сложной ее регенерацией, тщательной очистки воды от нерастворенных примесей, наличие которых резко снижает продолжительность работы фильтра.

В последнее время стали применяться фильтры с плавающей загрузкой из синтетических материалов, а также микрофильтры. Конструктивно они не отличаются от применяемых в системах водоподготовки и очистки бытовых сточных вод.

Тонкослойные отстойники-фильтры (рис. 15.11). Это высокоэффективные комбинированные сооружения, предназначенные для очистки поверхностных дождевых, поливочных и талых вод, которые могут быть использованы также для очистки производственных сточных вод. Тонкослойный отстойник-фильтр состоит из следующих блоков: песколовки с гидроэлеватором и водораспределительным лотком, перекрытым решеткой; двух тонкослойных горизонтальных отстойников, оборудованных полочными блоками, нефтесборными поворотными трубами, гидроэлеваторами и лотками для сбора очищенной воды; двух резервуаров очищенной воды с устройствами, позволяющими устанавливать в них блоки с фильтрующей загрузкой (кассетные фильтры).

Вода поступает в водораспределительный лоток в котором установлены съемные решетки с прозорами 10 мм. Решетки очищаются вручную граблями. Мусор удаляется в контейнер. Через щель в дне водораспределительного лотка вода поступает в песколовку. Из песколовки стоки через щелевые перегородки с отражателями попадают в отстойники, оборудованные универсальными полочными блоками с поперечными треугольными желобами и изолированными каналами для отвода задержанных частиц нефтепродуктов и взвеси. В полочных тонкослойных отстойниках задерживается основная масса тонкодисперсных взвешенных и плавающих веществ, преобладающих в дождевых сточных водах.

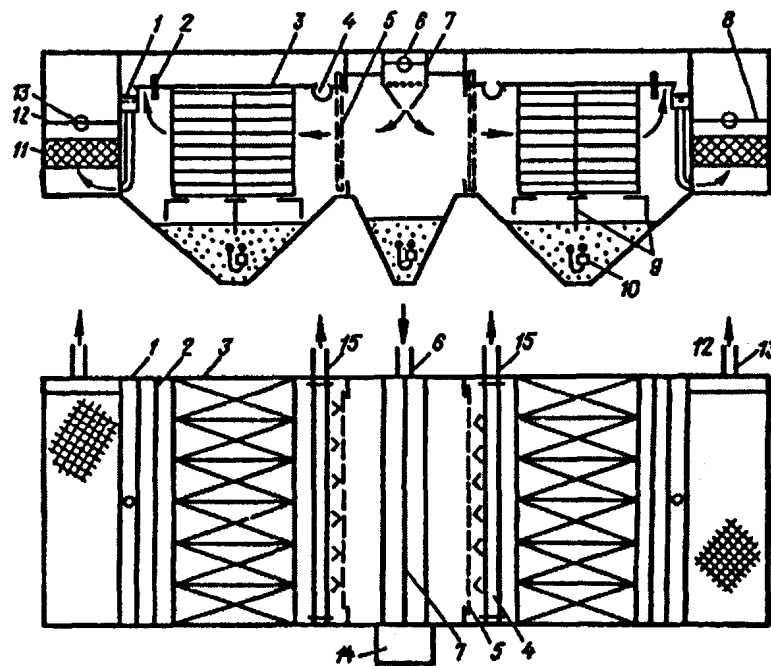


Рис.15.11. Комбинированное сооружение тонкослойный отстойник-фильтр:
 1 - водосборный лоток; 2 - полупогружная перегородка; 3 - блоки тонкослойных элементов; 4 - нефтесборная труба; 5 - щелевая распределительная перегородка с отражателями; 6 - подводящий трубопровод; 7 - распределительный лоток со съемной решеткой; 8 - камера очищенной воды; 9 - перегородки; 10 - гидроэлеватор; 11 - блоки фильтрующей загрузки; 12 - лоток сбора очищенной воды; 13 - отводящий трубопровод; 14 - контейнер для мусора; 15 - трубопровод для отвода нефтепродуктов

Применение полочных блоков интенсифицирует процесс очистки по сравнению с обычными отстойниками примерно в 6 - 8 раз, время отстаивания сокращается до 15 - 20

мин, что приводит к уменьшению строительного объема сооружения. Гидравлическая крупность частиц задерживаемых в тонкослойных отстойниках, $U_0 = 0,012$ мм/с. Эффект очистки от эмульгированных нефтепродуктов составляет более 80 %. Задержанные нефтепродукты накапливаются на поверхности, собираются нефтесборными трубами и отводятся в колодцы-сборники. Для предотвращения попадания нефтепродуктов и других плавающих веществ в водосборный желоб отстойной воды предусмотрены полупогруженные перегородки. Оседающие взвешенные вещества накапливаются в бункерах. Из водосборного желоба отстойника вода поступает в резервуар очищенной воды, оборудованный устройствами для установки блоков каскадных фильтров. Наполнителями для фильтров являются древесная стружка 25 см, сипрон 15 см, стекловолокно или активированный уголь. Соппротивление фильтра составляет около 5 Па, скорость фильтрации $v_f = 10$ м/ч. Эффект очистки воды на фильтрах по взвешенным веществам и нефтепродуктам 50 - 70 %. Очищенная вода после фильтров собирается в водосборный лоток и отводится из него по трубопроводу.

Осадок из песколовки и отстойников удаляется стационарными гидроэлеваторами на площадки для обезвоживания. При эксплуатации сооружения перед удалением осадка из отстойников удаляются нефтепродукты. Следует отметить, что большим преимуществом комбинированных сооружений для очистки дождевого стока с использованием принципа тонкослойного отстаивания воды перед фильтрами, помимо их компактности и высокой эффективности, является существенное снижение концентрации загрязнений, поступающих на фильтры, и увеличение в связи с этим фильтроцикла, что для подобных сооружений крайне важно. Расчет этих сооружений заключается в определении размеров и общего эффекта очистки каждого блока сооружения и производится в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Дифференциаторы нефтесодержащих стоков (рис. 15.12) - это комбинированные закрытые напорные сооружения, предназначенные для очистки сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Компактность аппарата достигается конструктивным включением в него шести блоков: гидроциклона (камеры хлопьеобразования); осветлителя со взвешенным слоем; тонкослойного блока; коалесцирующего фильтра первой ступени с гранулами 3 - 5 мм; флотатора; коалесцирующего фильтра второй ступени с гранулами диаметром 0,2 - 0,5 мм.

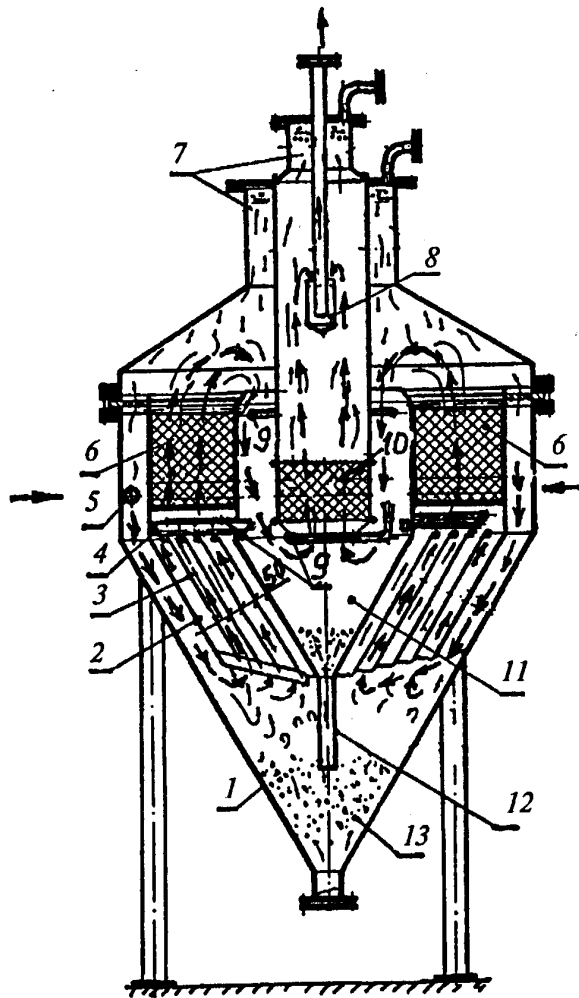


Рис.15.12. Дифференциатор нефтесодержащих стоков:

1 - внешняя стенка корпуса; 2 - то же, внутренняя стенка; 3 - блок тонкослойного отстаивания; 4 - коллектор для отвода уловленных нефтепродуктов во флотатор; 5 - подводящий трубопровод; 6 - коалесцирующий фильтр первой ступени; 7 - сборники нефтепродуктов; 8 - дефлектор; 9 - трубопровод подвода водовоздушной смеси; 10 - коалесцирующий фильтр второй ступени; 11 - флотатор; 12 - труба для отвода взвеси из флотатора; 13 - зона накопления осадка

Вода в аппарат подводится по касательной симметрично в четырех точках. Предварительно в подводящий коллектор вводится коагулянт. Приобретая вращательное движение в гидроциклоне, образованном внешней и внутренней стенками корпуса, вода направляется вниз, проходит взвешенный фильтр и поступает в блок тонкослойного отстаивания, образованный коаксиально расположенными пропиленовыми пластинами с отбортовкой в верхней части. При этом осадок сползает в осадочную зону, а нефтепродукты накапливаются в карманах под отбортовкой пластин, откуда по коллектору попадают во флотатор, где флотируются. Из тонкослойного блока основной поток воды попадает в коалесцирующий фильтр первой ступени из пропиленовых гранул $d = 3 - 5$ мм, где происходит укрупнение частиц. Для предотвращения образования пленки и флотации нефтепродуктов из загрузки, под нижнюю поддерживающую сетку фильтра подается водовоздушная смесь. Затем поток воды попадает во флотатор, где происходит

флотация оставшихся нефтепродуктов и нефтепродуктов из тонкослойного отстойника. Затем вода проходит через коалесцирующий фильтр второй ступени с загрузкой из полипропиленовых гранул $d = 0,2 - 0,5$ мм, где мелкодисперсные нефтепродукты коалесцируются и флотируются, так же, как и на фильтре первой ступени, после чего через дефлектор очищенная вода выводится из дифференциатора под остаточным напором. Нефтепродукты и осадок отводятся по мере накопления.

Производительность аппарата диаметром 1,4 м, 3 - 5 м³/ч; остаточное содержание нефтепродуктов от 5 до 22 мг/л, взвешенных веществ от 10 до 40 мг/л.

Физико-химическая очистка

Коагуляция. Используется для разрушения устойчивых суспензий и эмульсий веществ, загрязняющих воду, посредством введения коагулянтов. Широко применяется для интенсификации процессов механической очистки производственных сточных вод. При введении в воду коагулянтов образуются малорастворенные гидроксиды металлов в виде рыхлых хлопьев, сорбирующих на своей поверхности коллоидные растворенные в воде примеси. Гидравлическая крупность основной массы хлопьев гидроксидов $U_0 = 0,3 - 0,5$ мм/с, что позволяет эффективно извлекать их из воды методами отстаивания и фильтрации. В качестве коагулянтов используют сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$, а также сернокислое железо $FeSO_4$ или хлорное железо $FeCl_3$. Кроме них можно использовать известь CaO , алюминат натрия $NaAlO_2$, оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$, хлорид магния $MgCl_2$, сульфат магния $MgSO_4$. Дефицитность и высокая стоимость известных коагулянтов стимулируют поиск и замену их более дешевыми и доступными.

Применение коагуляции связано с приготовлением раствора реагента, дозирования и перемешивания его с водой. Для этих целей в схеме очистки производственных сточных вод предусматривается реагентное хозяйство, дозаторы и смесители. Проектирование и расчеты этих устройств осуществляется так же, как и в системах водоснабжения.

На ход процесса коагуляции существенно влияет температура воды, pH, присутствие растворенных солей и органических соединений. Оптимальная температура воды 15 - 20 °С, при понижении температуры до 5 - 10 °С образуются мелкие плохо оседающие хлопья. Оптимальные значения pH соответствуют минимальной растворимости образующихся гидроксидов и для сернокислого алюминия составляют 6,5 - 8,5, для хлорного железа 6 - 10, для сернокислого железа более 8. Для регулирования pH сточную воду перед введением коагулянта подкисляют, подщелачивают или разбавляют. Для этого могут быть использованы, образующиеся на предприятии кислые и щелочные сточные воды. Оптимальная доза коагулянта подбирается опытным путем. Для условий обработки производственных сточных вод на предприятиях железнодорожного транспорта она составляет обычно 100 - 300 мг/л. Для ускорения процесса коагуляции и получения более прочных и плотных хлопьев в дополнение к минеральным коагулянтам используются флокулянты, главным образом, полиакриламид (ПАА). Доза ПАА для обработки сточных вод составляет 2 - 10 мг/л.

Кроме обычной коагуляции для интенсификации процесса очистки сточных вод от хрома (рис.15.13), жиров, эмульгированных нефтепродуктов и мелкой взвеси в обычных и тонкослойных отстойниках и нефтеуловителях применяется электрокоагуляция. Процесс электрокоагуляции заключается в растворении под действием постоянного электрического тока металла электродов с образованием нерастворенных в воде хлопьев гидроксидов. В результате электрохимического взаимодействия образовавшихся хлопьев гидроксидов с коллоидальными, взвешенными и эмульгированными загрязнениями сточной воды возникают крупные, быстро оседающие агрегаты частиц, которые

задерживаются при отстаивании. Электрохимическое коагулирование сточной воды осуществляется в электрокоагуляторах (рис. 15.14). Электроды в них выполняются из листового алюминия или железа. Подвод постоянного электрического тока осуществляется от источников постоянного (выпрямленного) тока по монополярной схеме с реверсированием через 0,5 - 1,0 ч.

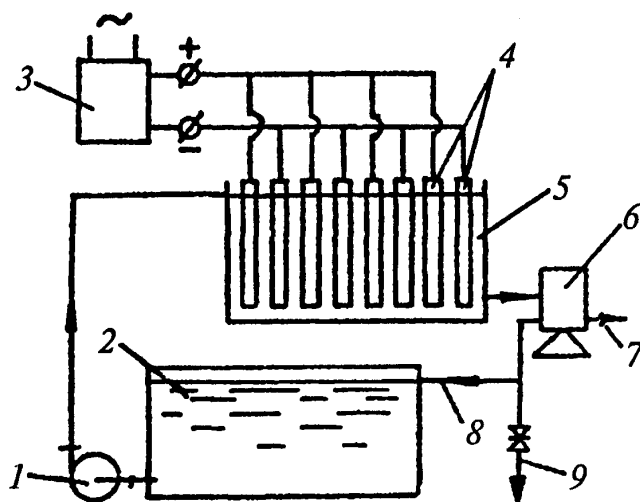


Рис.15.13. Схема установки для электрокоагуляционного метода очистки сточных вод от хрома:

1 - насос; 2 - ванна хромирования; 3 - источник постоянного тока; 4 - электроды; 5 - электрокоагулятор; 6 - центрифуга (сепаратор); 7 - обезвоженный осадок; 8 - подача очищенной воды на использование; 9 - сброс в канализацию

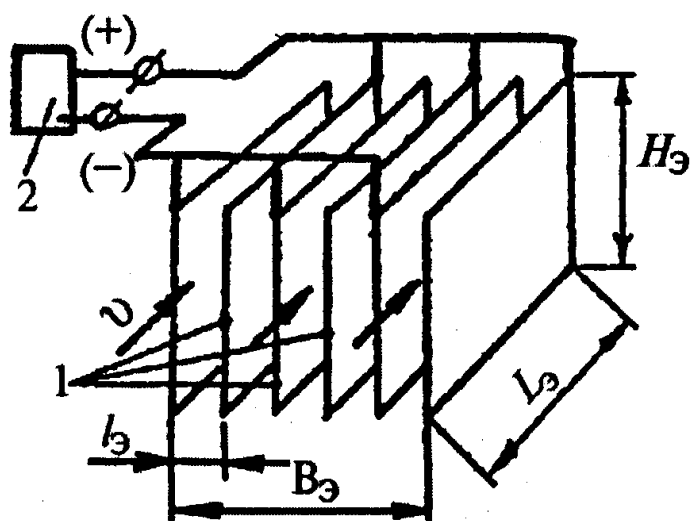


Рис.15.14. Схема электрокоагулятора:
1 - электроды; 2 - источник постоянного тока

Доза металла электродов D определяется методом пробного электрохимического коагулирования. или ориентировочно принимается по табл.15.3

Таблица 15.3

Необходимая доза металла D

Доза металла, мг/л	Исходная концентрация растворенных и эмульгированных нефтепродуктов C_n , мг/л		
	150	100	50
Алюминий	2 - 9	2 - 8	1,5 - 6
Железо	25 - 30	20 - 50	15 - 40

В табл. 15.3 минимальная доза соответствует скорости движения воды $v = 2$ мм/с, максимальная - скорости $v = 6$ мм/с, обеспечивая остаточную концентрацию нефтепродуктов после отстаивания $C_{отс} = 10 - 20$ мг/л.

Необходимая активная площадь электродов (m^2)

$$S = \frac{DQ}{k_3 \sigma}, \quad (15.31)$$

где Q - расход сточных вод, $m^3/ч$
 k_3 - электрохимический эквивалент; для алюминия $k_3 = 0,336$ г/А ч, для двухвалентного железа $k_3 = 1,042$ г/А ч;
 σ - поверхностная плотность тока; $\sigma = 6 - 20$ А/ m^2 .

Размеры электрокоагулятора принимаются такими, чтобы через него протекал весь расход обрабатываемых сточных вод. Обычно высота электрокоагулятора назначается $H_3 = H$, $B_3 = B$, а длина находится из соотношения

$$L_3 = \frac{S}{m_1 H_3}, \quad (15.32)$$

где m_1 - число электродов;
 H_3 - высота электрокоагулятора.

Расстояние между пластинами электродов l_3 рекомендуется в пределах 15 - 20 мм.

Сила тока в А, необходимая для поддержания требуемой интенсивности растворения металла,

$$I = \frac{DQ}{k_3}. \quad (15.33)$$

Падение напряжения между пластинами электродов $U = (1,5 - 2,0)\sigma$, В. Меньшие значения U соответствуют меньшему принятому расстоянию между пластинами электродов.

Требуемая мощность энергетического оборудования (кВ А)

$$N = \alpha \frac{IU}{1000}, \quad (15.34)$$

где α - коэффициент запаса мощности ($\alpha = 1,3 - 1,5$).

Флотация. Получила распространение для очистки производственных сточных вод от жиров, масел, смол, синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ) и других примесей. Сущность флотационной очистки состоит в том, что сточные воды искусственно насыщаются воздухом, на поверхности пузырьков которого адсорбируются частицы загрязнений и всплывают вместе с ними на поверхность воды, откуда удаляются. Длительность процесса флотации составляет около 20 мин, а содержание нефтепродуктов в стоках снижается до 20 - 40 мг/л.

На железнодорожном транспорте для очистки сточных вод депо, шпалопроточных и ремонтных заводов, пунктов подготовки вагонов и промывно-пропарочных станциях широко применяются флотационные установки с многокамерными, радиальными флотаторами, с флотаторами - отстойниками, работающие по принципу напорной флотации. Многокамерная флотационная установка (рис. 15.15) производительностью от 5 до 50 м³/ч включает многокамерный флотатор, работающий с коагуляцией и рециркуляцией воды, резервуар-усреднитель, реагентное хозяйство, устройства для насыщения воды воздухом, перекачивающие насосы и др. элементы.

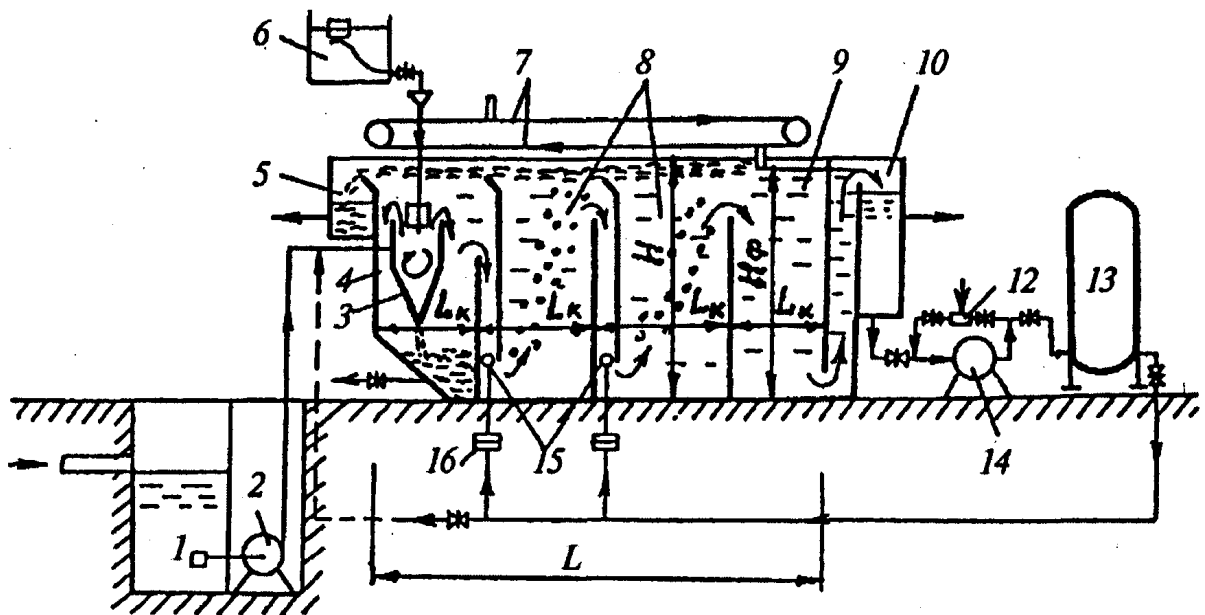


Рис.15.15.Схема многокамерной флотационной установки:

1 - приемный резервуар; 2 - насос; 3 - безнапорный гидроциклон; 4 - камера грубой очистки; 5 - нефтесборный карман; 6 - бак с коагулянт; 7 - скребки; 8 - камеры флотации; 9 - отстойная камера; 10 - карман для сбора очищенной воды; 11 - подача воды в оборотную систему на доочистку или сброс в канализацию; 12 - эжектор для насыщения рециркуляционной воды воздухом; 13 - напорный бак; 14 - рециркуляционный насос; 15 - перфорированные трубы для подачи рециркуляционной воды; 16 - диафрагма для снижения напора

Многокамерный флотатор представляет собой открытый прямоугольный в плане металлический резервуар, разделенный поперечными направляющими перегородками на четыре последовательно расположенные камеры, в каждой из которых вода находится от 4 до 6 мин. Общая продолжительность очистки воды - 20 мин. Вода во флотатор подается из резервуара усреднителя, емкость которого принимается равной объему притока сточных вод за время t от 5 - 10 до 20 - 30 мин.

Первая камера грубой очистки сточных вод, две последующие камеры флотации, четвертая камера - камера отстаивания. После усреднения в резервуаре - усреднителе сточная вода подается в вихревой смеситель, расположенный в камере грубой очистки флотатора. Сюда же из дозатора поступает раствор коагулянта и часть циркулирующей воды, насыщенной воздухом. Вихревой смеситель, работающий по принципу открытого гидроциклона обеспечивает хорошее перемешивание и благоприятствует образованию хлопьев и их укрупнению. Хлопья коагулянта с адсорбированными на их поверхности грубодисперсными частицами загрязнений подхватываются пузырьками воздуха, выделяющимися из циркулирующей воды, и быстро поднимаются на поверхность. Очищенная от грубодисперсных примесей вода поступает сначала в первую, а затем во вторую камеры флотации. Перед каждой камерой флотации к очищаемой воде через дырчатые распределительные трубы добавляется около 15 - 20 % циркулирующей воды, насыщенной воздухом. Диафрагма, установленная перед дырчатыми распределительными трубами обеспечивает необходимый перепад давления для выделения растворенного воздуха. Выделяющиеся в камерах флотации пузырьки воздуха адсорбируют на своей поверхности мелкодиспергированные и эмульгированные частицы загрязнений и поднимают их на поверхность воды. Таким образом, в многокамерном флотаторе процесс флотации повторяется трижды, что повышает эффект очистки воды. Пройдя очистку в камерах флотации сточная вода перетекает в отстойную камеру флотатора, где окончательно освобождается от мелких пузырьков воздуха с адсорбированными на них загрязнениями. Из отстойной камеры вода отводится через щель под нефтеудерживающей полупогруженной перегородкой и сливается в сборный карман. Часть очищенной воды (30 - 50 %) забирается насосом и нагнетается в напорный бак. В процессе нагнетания воды она насыщается воздухом из атмосферы с помощью эжектора. В напорном баке поддерживается давление 0,3 - 0,4 МПа, вследствие чего воздух растворяется в воде. Из напорного бака вода, насыщенная воздухом, поступает на рециркуляцию во флотатор. Загрязнения, всплывающие на поверхность воды во флотаторе в виде пены, сгребаются скребковым механизмом в нефтесборный карман, откуда удаляются на обезвоживание. Подогрев пены в кармане с целью облегчения ее удаления производится с помощью пара, циркулирующего по змеевику.

Флотатор монтируется на общей раме и устанавливается в закрытом отапливаемом помещении с вытяжной вентиляцией.

Расчет многокамерной флотационной установки заключается в определении параметров основных ее элементов.

Объем каждой камеры многокамерного флотатора (m^3) определяется по формуле

$$W_k = \frac{(Q + Q_p)t_k}{60\eta_o}, \quad (15.35)$$

где Q - часовая производительность установки, м³/ч;
 Q_p - расход циркулирующей через камеру воды, м³/ч, обычно принимают $Q_p = (0,15 - 0,2)Q$ на каждую камеру. При подаче воды во флотатор гидроэлеватором величина Q_p для камеры грубой очистки принимается равной расходу воды, необходимой на питание гидроэлеватора;
 t_k - продолжительность пребывания воды в камере, мин; для камеры грубой очистки и камеры отстаивания рекомендуется принимать $t_k = 6$ мин, а для каждой из камер флотации $t_k = 4$ мин;
 η_o - коэффициент объемного использования флотатора; $\eta_o = 0,6$.

Рабочая глубина флотатора (м) определяется по формуле

$$H_\phi = 0,06 v_{\text{восх}} t_k, \quad (15.36)$$

где $v_{\text{восх}}$ - скорость восходящего движения воды в камере флотатора, мм/с; принимается в пределах 6 - 8 мм/с, причем большее значение берется для флотаторов большей производительности.

Ширина флотатора B (м) принимается равной ширине первой камеры

$$B = B_1 \sqrt{\frac{W_1}{H_\phi}}, \quad (15.37)$$

а затем уточняется конструктивно.
 Для каждой камеры флотатора (м)

$$L_k = \frac{W_k}{H_\phi B}. \quad (15.38)$$

Длина флотатора L (м) принимается равной суммарной длине всех камер. Полная глубина флотатора

$$H = H_\phi + a, \quad (15.39)$$

где $a = 50 - 100$ мм.

Высоту переливных поперечных перегородок между камерами флотатора принимают на 100 - 200 мм меньше высоты H , а расстояние между ними из условия размещения дырчатых распределительных труб - 100 - 150 мм. Скорость движения воды в трубах 0,8 - 1 м/с, а в отверстиях 0,5 - 0,6 м. Шаг отверстий 100 - 200 мм. Распределительные трубы располагают на высоте около 0,7H над дном флотатора.

Вихревой смеситель, расположенный в камере грубой очистки, рассчитывается на пребывание воды в нем в течение 15 - 20 с. Диаметр смесителя (мм) определяется по формуле

$$d_{\text{см}} = 70\sqrt{Q} . \quad (15.40)$$

Высота смесителя $H_{\text{см}} \approx 0,6H$, его низ располагается на 100-200 мм выше дна флотатора.

Производительность рециркуляционного насоса принимается $0,5Q$ при подаче воды во флотатор насосом и Q при подаче воды во флотатор гидроэлеватором. Напор насоса должен быть менее 0,35 - 0,4 МПа.

Объем напорного бака W_6 (м^3) определяется по формуле

$$W_6 = \left(\frac{1}{60} - \frac{1}{30} \right) Q_{\text{р сум}} , \quad (15.41)$$

где $Q_{\text{р сум}}$ - суммарный расход циркулирующей воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Высота бака H_6 принимается 1 - 1,2 м.

Флотаторы-отстойники (рис.15.16) представляют комбинированные сооружения, состоящие из круглого в плане радиального отстойника с встроенной в него круглой в плане подвесной флотационной камерой. Они применяются для совместной очистки атмосферных вод с территории железнодорожной станции и производственных вод предприятий, расположенных на этой станции, а также промывочно-пропарочных станций и в пунктах промывки грузовых вагонов, стоки которых загрязнены одновременно всплывающими и оседающими примесями.

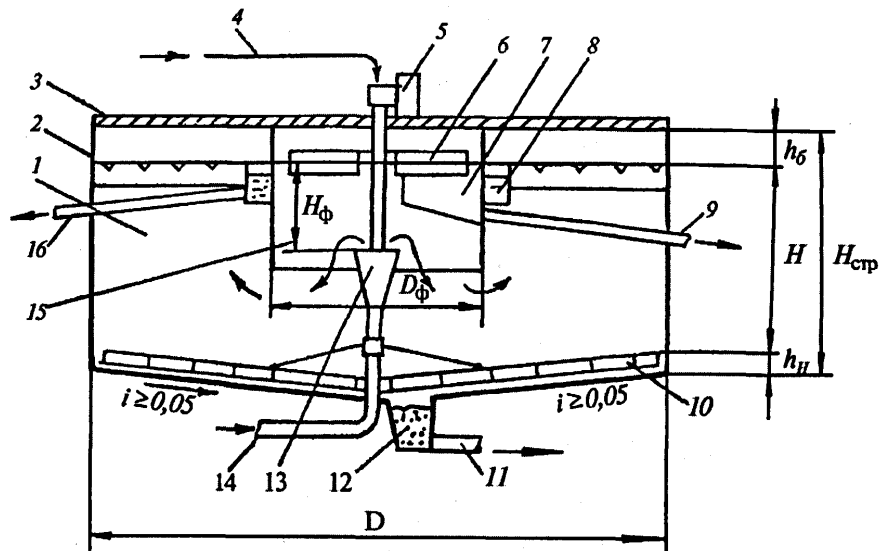


Рис.15.16. Флотатор-отстойник:

1 - отстойная камера; 2 - водосборный лоток с зубчатым водосливом; 3 - мостик обслуживания; 4 - трубопровод рециркуляционной воды; 5 - электропривод; 6 - верхние скребки для сбора всплывших загрязнений (пены); 7 - сборный карман для всплывших загрязнений (пены); 8 - кольцевой водосборный лоток; 9 - трубопровод для удаления

всплывших загрязнений; 10 - донные скребки; 11 - трубопровод для удаления осадка; 12 - приямок для осадка; 13 - водораспределитель; 14 - трубопровод для подачи воды на очистку; 15 - камера флотации; 16 - трубопровод очищенной воды

Принцип работы сооружения состоит в следующем. Сточная вода поступает в водораспределитель. Сюда же подается рециркуляционная вода, предварительно насыщенная в напорном баке воздухом. При выходе из распределителя смесь очищаемой и рециркуляционной воды попадает в подвесную флотационную камеру, где находится около 20 мин. При этом частицы легких примесей прилипают к пузырькам воздуха, выделяющимся из рециркулирующей воды, и быстро всплывают на поверхность воды в камере флотации, образуя там пену. Из камеры флотации вода перетекает в отстойную камеру, где тяжелая взвесь, содержащаяся в воде, оседает на дно отстойника. Очищенная вода сливается через зубчатый водослив в радиально расположенные сборные лотки, откуда поступает в кольцевой сборный лоток, размещенный вокруг подвесной камеры флотации, и отводится из него. Для сгребания пены и осадка предусмотрены верхние и нижние донные скребки с приводом.

Объем флотатора-отстойника (m^3) определяется по формуле

$$W = Q t, \quad (15.42)$$

где Q - максимальный приток сточных вод, $m^3/ч$;
 t - время пребывания в сооружении, ч.

Время t определяется по формуле

$$t = t_o + t_{\phi}, \quad (15.43)$$

где t_{ϕ} - время пребывания воды в камере флотации; $t_{\phi} = 10 - 20$ мин;
 t_o - время пребывания воды в отстойной камере; $t_o = 1,5 - 2$ ч.

Рабочая высота флотатора-отстойника H принимается в пределах от 1,5 до 3 м.
Площадь зеркала флотатора-отстойника F (m^2)

$$F = \frac{W}{H}. \quad (15.44)$$

Диаметр флотатора-отстойника определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}. \quad (15.45)$$

Объем флотационной камеры (m^3)

$$W_{\phi} = Q t_{\phi} . \quad (15.46)$$

Высота флотационной камеры H_{ϕ} принимается равной 1 - 1,2 м, площадь зеркала и диаметр находятся по зависимостям (15.44) и (15.45).

Принимая высоту нейтрального слоя $h_n=0,3$ м и высоту борта $h_b \geq 0,3$ м. Определяют строительную высоту флотатора-отстойника

$$H_{стр} = h_b + H + h_n . \quad (15.47)$$

Радиальные флотаторы (рис. 15.17). Радиальные флотаторы используются для очистки больших объемов сточных вод более 100 м³/ч. По конструкции они аналогичны флотаторам-отстойникам, но флотационная камера расположена в нижней их части и нет донных скребков. В практике применяются флотаторы и флотаторы-отстойники глубиной до 3 м и диаметром до 15 м.

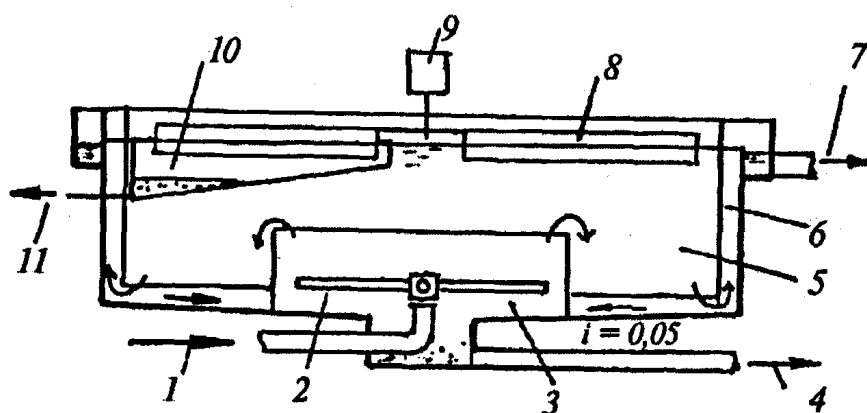


Рис.15.17. Радиальный флотатор:

1 - подача сточной воды; 2 - вращающийся водораспределитель; 3 - флотационная камера; 4 - отвод осадка; 5 - отстойная камера; 6 - кольцевая перегородка; 7 - отвод очищенной воды; 8 - пеносборные скребки; 9 - электропривод скребков; 10 - пеносборный лоток; 11 - отвод пены

Импеллерные флотаторы. Кроме напорной флотации на предприятиях железнодорожного транспорта для извлечения нефтепродуктов, смолы, масла, жира, мелких механических примесей применяют импеллерную флотацию (пенную сепарацию), при которой насыщение воды пузырьками воздуха осуществляется механическим путем с помощью турбинки. Количество вводимого таким путем воздуха составляет 10 - 40 м³/ч на 1 м² площади сепаратора, что ускоряет процесс извлечения загрязнений. Однако эффективность их ниже, чем напорных флотаторов. Для применения на предприятиях железнодорожного транспорта разработана конструкция самовсасывающего сепаратора с высотой всасывания до 5 м (рис. 15.18). Такие сепараторы используются на шпалопропиточных заводах дополнительно к обычным смоло-маслоуловителям, а также для предварительной очистки перед сбросом сточных вод от отдельных цехов и технологических установок. Они рассчитываются с учетом степени диспергирования воздуха зависящей от окружной скорости импеллера 12 - 15 м/с. Флотационная камера квадратная со стороной $6 D_{и}$, где $D_{и}$ - диаметр импеллера ($D_{и} \leq 750$ мм). Высота камеры H_{ϕ}

обычно 1,5 - 3 м, продолжительность флотации $t = 20 - 30$ мин, удельный расход воздуха до $40 - 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади камеры.

Пропускная способность Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) флотатора

$$Q = \frac{36D_{\text{к}}^2 H_{\text{ф}}}{0,025t} \quad (15.48)$$

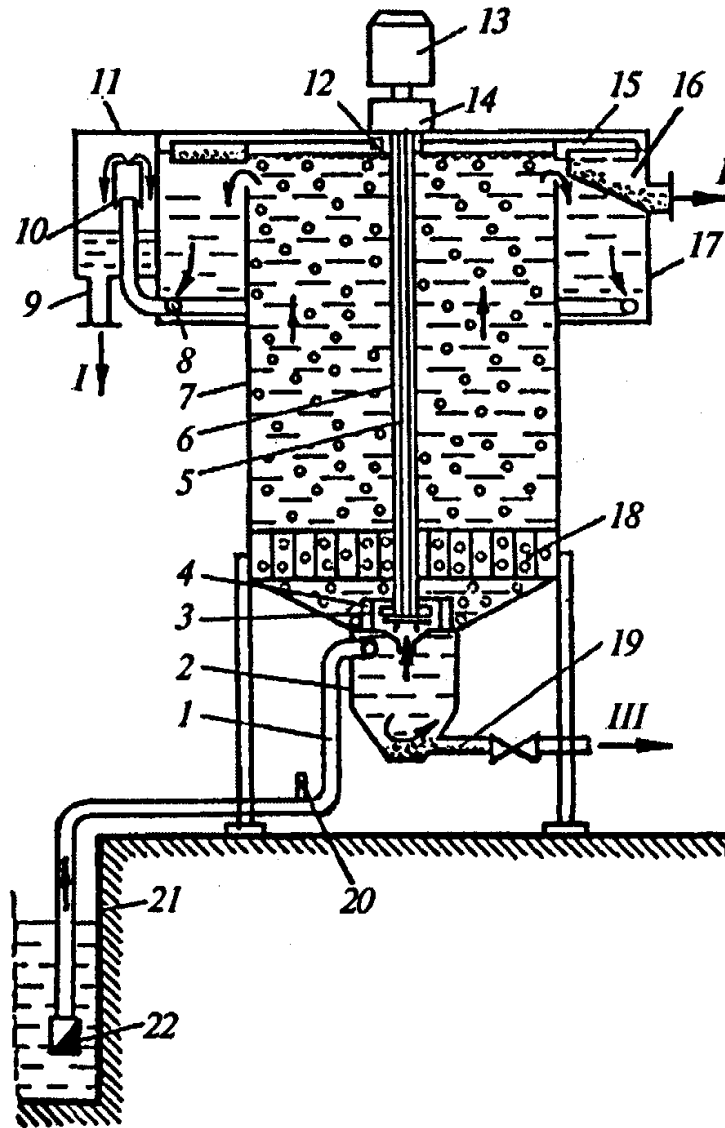


Рис.15.18. Самовсасывающий пенный сепаратор:

1 - всасывающая труба; 2 - грязевой приемок; 3 - лопастное колесо; 4 - статор; 5 - вал; 6 - труба; 7 - флотационная камера; 8 - водосборный кольцевой трубопровод; 9 - отводящий патрубкок; 10 - регулятор уровня; 11 - приемный карман; 12 - воздушный патрубкок; 13 - электропривод; 14 - редуктор; 15 - скребки; 16 - пеносборный желоб; 17 - отстойная камера; 18 - успокоительная решетка; 19 - впускной патрубкок для осадка; 20 - патрубкок для ввода реагентов; 21 - приемный колодец; 22 - обратный клапан

В практике очистки сточных вод применяется флотационная очистка с подачей воздуха через пористые материалы и электрофлотация с помощью пузырьков газов, образующихся при электролизе, главным образом катодного водорода.

Ионный обмен. Применяется для очистки производственных сточных вод от мышьяка, фосфора, хрома, цинка, свинца, меди, ртути и др. металлов, ПАВ, радиоактивных веществ с утилизацией ценных примесей и последующим обратным использованием воды. Ионный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов (рис. 15.19) обеспечивает 100 % эффект очистки от ионов цинка, меди, никеля. Рабочий цикл осуществляется до момента появления в фильтрате ионов удаляемого металла сверх допустимых пределов, после чего производится регенерация загрузки катионита. При повышении содержания солей в оборотном цикле (по сухому остатку) > 1500 мг/л производится продувка системы со сбросом до 3 % воды в бак для нейтрализации. Безвозвратные потери пополняются водопроводной водой, конденсатом, дисциллятом. Регенерирующие растворы нейтрализуются едким натром или едким калием. Образующийся осадок гидроокисей утилизируется или вывозится в контейнерах в отведенные места.

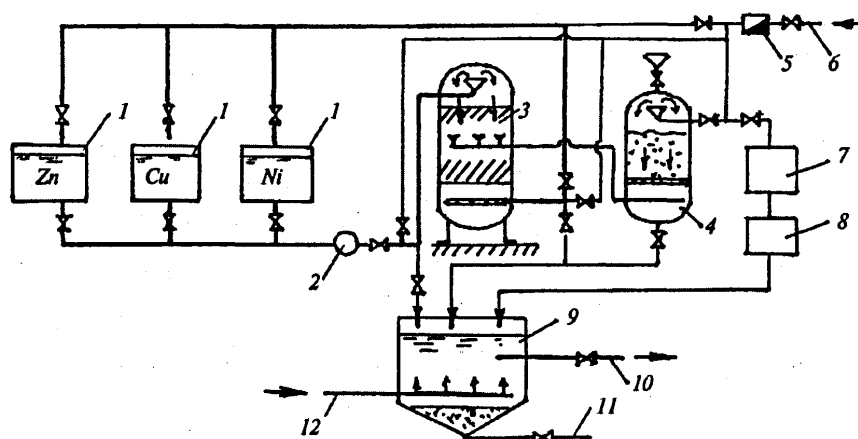


Рис.15.19. Ионный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов:

1 - ванна для промывки деталей; 2 - насос; 3 - натрий-катионитовый фильтр; 4 - солерастворитель; 5 - водомер; 6 - водопровод; 7 - бак раствора щелочи; 8 - дозатор раствора щелочи; 9 - емкость для нейтрализации стоков и осаждения гидроокиси цинка, меди и никеля; 10 - выпуск в канализацию; 11 - отвод осадка; 12 - подвод сжатого воздуха

Кроме приведенных выше методов физико-химической очистки на транспортных предприятиях применяют экстракцию для извлечения тетраэтилсвинца (ТЭС) из сточных вод от промывки цистерн из-под этилированного бензина, адсорбцию при фильтровании (см. фильтры) с использованием различных сорбентов (торф, шлак, зола, опилки) и активированного угля для доочистки сточных вод от фенолов, конденсата пара от масел и т. д. ($\Xi = 90 - 95 \%$), аэрацию для извлечения летучих веществ и окисления органических загрязнений воздухом (сероводород, хлор, аммиак) с помощью градилен, барботаж, неглубоких прудов. Применяются также обратный осмос, эвапорация, выпаривание небольших количеств высококонцентрированных сточных вод.

Нейтрализация. Применяется при обезвреживании кислых и щелочных стоков. Осуществляется методами смешения, реагентным и фильтрационным методами. При наличии на предприятии кислых и щелочных стоков применяется метод смешения, при котором стоки взаимно нейтрализуются. При необходимости осуществляется корректировка рН введением кислоты или щелочи. Для небольших расходов сточных вод применяются нейтрализаторы периодического действия (рис. 15.20). В случае присутствия в стоках соединений хрома для его осаждения в воду вводят железный купорос или бисульфит натрия.

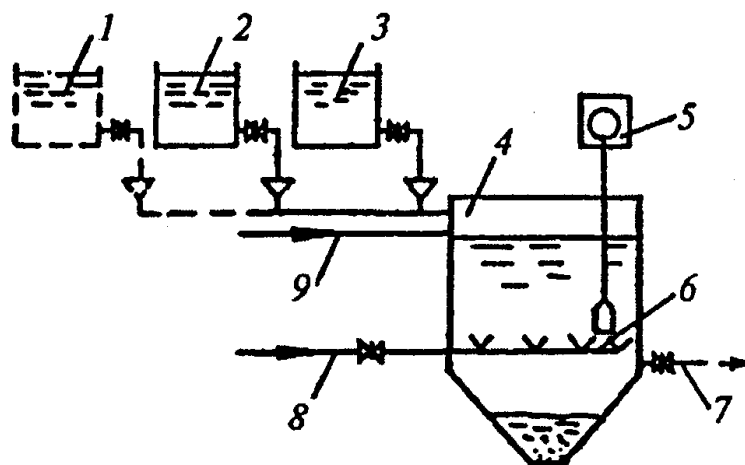


Рис.15.20. Схема нейтрализатора периодического действия:

1 - бак бисульфита натрия; 2 - бак щелочи; 3 - бак кислоты; 4 - резервуар-отстойник; 5 - pH-метр; 6 - барботер; 7 - трубопровод очищенной воды; 8 - трубопровод сжатого воздуха; 9 - трубопроводы подачи кислых и щелочных стоков

При большом объеме сточных вод используют установки непрерывного действия. При реагентном методе (рис. 15.21), применяют смеситель, камеру реакции, отстойники. Для приготовления раствора реагентов необходимо реагентное хозяйство, устройства для дозирования и контроля за результатами нейтрализации. При нейтрализации кислых стоков с содержанием серной кислоты до 5 мг/л используют фильтры-нейтрализаторы с загрузкой из дробленого известняка, доломита, мрамора, мела. Применяются вертикальные и горизонтальные фильтры-нейтрализаторы, в которых загрузка меняется раз в 7 - 10 дней по мере ее истощения. Аналогичные фильтры независимо от концентрации могут применяться при нейтрализации других кислот.

Озонирование. Относится к методам окисления. Вступая в реакцию с органическими и минеральными веществами, озон разрушает их и превращает в нетоксичные соединения. Озонирование используется для очистки сточных вод от растворенных фенолов, ПАВ, ТЭС, цианидов, красителей, нефтепродуктов, а также для обеззараживания и дезодорации воды. Предварительно вода должна быть очищена от нерастворенных примесей. Озонаторная установка (рис. 15.22) состоит из блока подготовки воздуха, генератора озона и контактного устройства.

Производительность генератора озона (кг/ч)

$$G = aCQ, \quad (15.49)$$

где Q - расход обрабатываемой воды, м³/ч;
 C - концентрация загрязнений, г/м³;
 a - расход озона на окисление 1 г загрязнений; $a = 1 - 2$ г/г для окисления нефтепродуктов и фенолов и $3 - 5$ г/г при окислении ПАВ.

В зависимости от состава сточной воды время обработки воды $t = 20 - 60$ мин, число барботажных колонн $n \geq 2$, глубина воды в колонне при одноступенчатой схеме $H = 4 - 6$ м, а при двухступенчатой $H = 3 - 4$ м.

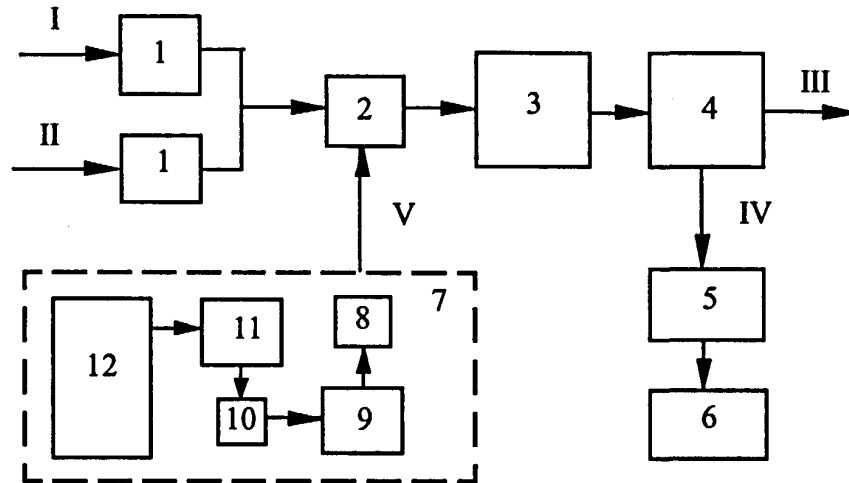


Рис.15.21. Схема нейтрализации кислых стоков реагентным способом: 1 - усреднитель; 2 - смеситель; 3 - контактный резервуар нейтрализатор; 4 - отстойник; 5 - сооружения для обезвоживания осадка; 6 - накопитель обезвоженных осадков; 7 - реагентное хозяйство; 8 - дозаторы; 9 - растворные баки; 10 - насос; 11 - устройство для растворения реагента; 12 - склад реагентов; I, II - подача кислых и щелочных стоков; III - выпуск нейтрализованной сточной воды; IV - выпуск осадка; V - подача реагента

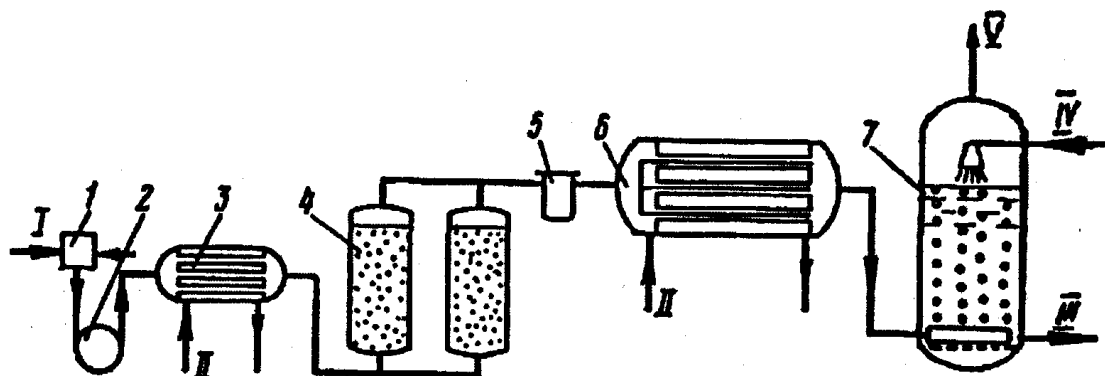


Рис.15.22. Схема озонаторной установки: 1, 5 - пылевые фильтры; 2 - воздуходувка; 3 - холодильник; 4 - адсорберы; 6 - генератор озона; 7 - барботажная колонна; I - воздух, II - охлаждающая вода; III - подача сточной воды; IV - очищенная сточная вода; V - отработанный воздух.

Площадь сечения F_K (m^2) барботажной колонны для обработки воды озоном

$$F_K = \frac{Qt}{60nH} \quad (15.50)$$

Озон вводится через пористые трубы, размещаемые у дна с шагом 0,4 - 0,5 м. Применяется также ввод озono-воздушной смеси с помощью эжектора, струйных смесителей, механических смесителей с перемешиванием лопастными мешалками в последовательно расположенных камерах. При конструировании и эксплуатации установок необходимо учитывать сильную токсичность и реакционную активность озона.

15.5. Схемы очистки сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта

В зависимости о расхода сточных вод, состава и концентрации загрязнений, требуемого качества воды применяются различные схемы очистки и доочистки производственных сточных вод, различных состав очистных сооружений (рис. 15.23).

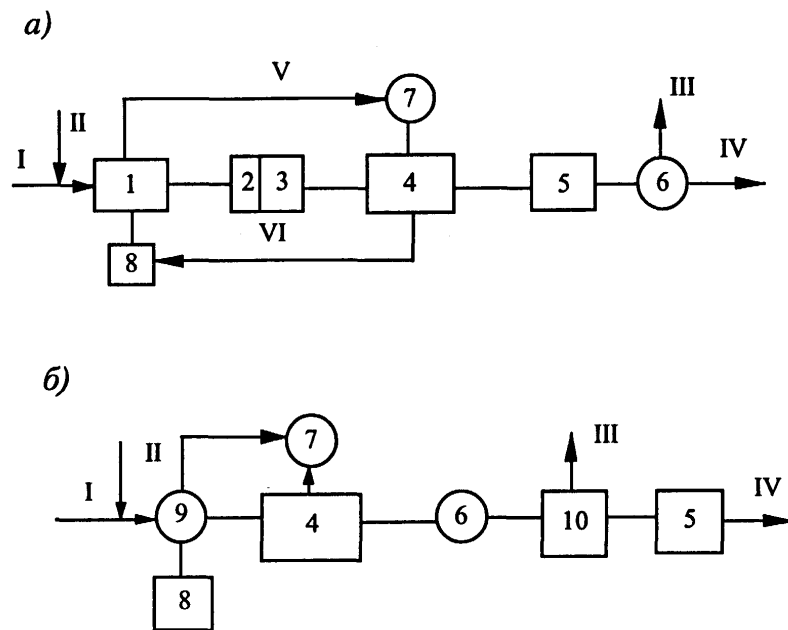


Рис.15.23. Схемы очистки производственных сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта:

- а - локомотивные и вагонные депо; б - пункты обмывки пассажирских вагонов и электросекций; в - пункты подготовки грузовых вагонов;
 г - промывочно-пропарочные станции; д - шпалопропиточные заводы;
 1 - нефтеловушка; 2 - приемный резервуар-усреднитель; 3 - насосная станция; 4 - флотатор; 5 - фильтр; 6 - резервуар очищенной воды; 7 - разделочный резервуар нефтепродуктов; 8 - сооружения для обезвоживания осадка; 9 - приемный резервуар-отстойник; 10 - насосная станция подачи сточных вод на доочистку и обратное использование; 11 - решетка; 12 - предотстойник; 13 - отстойник; 14 - биологический пруд; 15 -

песколовка; 16 - реагентное хозяйство; 17 - флотатор-отстойник; 18 - накопитель поверхностного стока; 19 - приемный колодец; 20 - пенный сепаратор (смоло-маслоуловитель); 21 - аэротенк; 22 - вторичный отстойник; 23 - смеситель; 24 - озонаторная установка; 25 - пруд; 26 - отстойник бытовых стоков; I - производственные стоки; II - поверхностные стоки; III - очищенные стоки на оборотное использование; IV - сброс очищенных стоков; V - уловленные нефтепродукты на обезвреживание; VI - осадок на обезвреживание и утилизацию; VII - бытовые стоки; VIII - хлор; IX - озоно-реагентная смесь; X - реагенты

Очистные сооружения локомотивных и вагонных депо (рис. 15.23, а), как правило, рассчитываются на прием и очистку общего стока производственных и поверхностных вод, за исключением охлаждающей воды и технологических моющих растворов. Последние сбрасываются на общие очистные сооружения периодически для поддержания требуемого качества воды в оборотных циклах или при опорожнении систем перед осмотром или ремонтом.

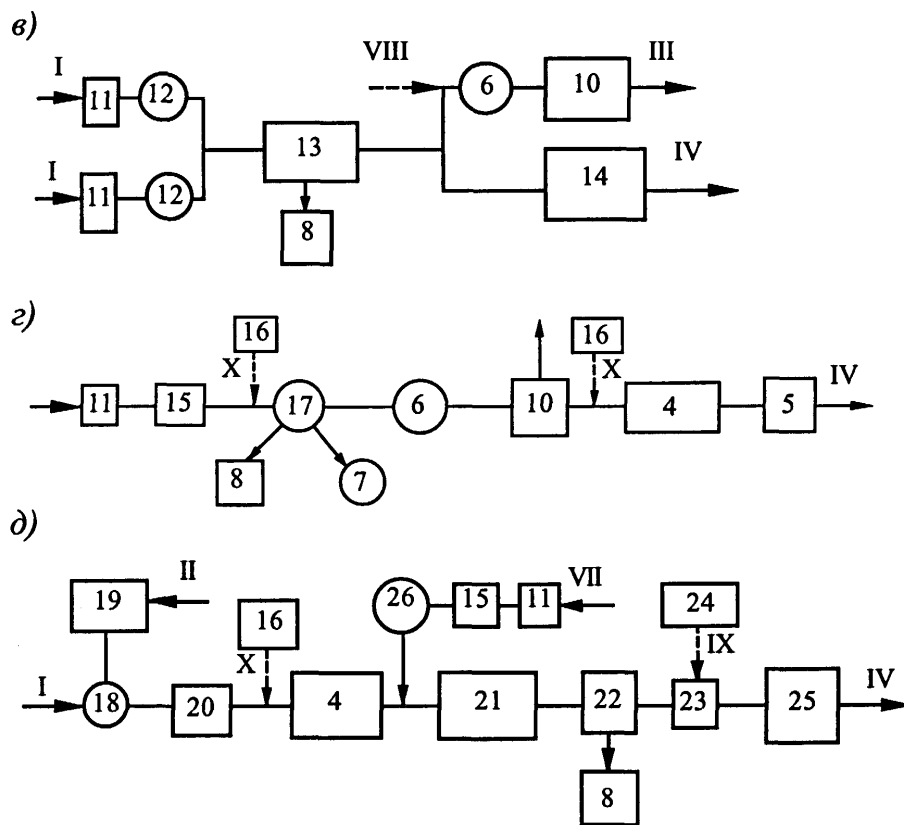


Рис.15.23. (продолжение). Схемы очистки производственных сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта:

Для отдельно расположенных пунктов обмывки локомотивов, вагонов и электросекций могут быть устроены самостоятельные оборотные или прямоточные системы и очистные сооружения для обмывочных вод (рис. 15.23, б). Для обезвреживания

бактериальных загрязнений, находящихся в обмывочной воде предусматривается достаточный объем резервуара и мощность подогревателя очищенной воды для поддержания ее температуры не ниже 70 °С в течении 30 мин. Схема очистных сооружений пунктов подготовки грузовых вагонов, где сточные воды могут содержать до 10 - 12 г/л минеральных и других примесей (рис. 15.23, в) включает двухступенчатое отстаивание. На первой ступени за 3 - 5 мин. выделяются быстрооседающие примеси, на второй - мелкая минеральная и органическая взвесь с последующей доочисткой воды перед сбросом в прудах дополнительного отстаивания или другими способами, а при оборотном использовании возникает необходимость обеззараживания оборотной воды и интенсификации отстаивания воды с применением коагуляции.

Рекомендуемая схема очистки сточных вод промывочно-пропарочных станций (ППС) (рис. 15.23, г) включает две группы сооружений: сооружения для очистки оборотной воды и сооружения доочистки неиспользуемой сбросной воды. Набор сооружений может быть различен (нефтеловушки, тонкослойные нефтеловушки, флотаторы и т.п.). Во вторую группу входит многокамерный флотатор с предварительной реагентной обработкой очищаемой воды, механические фильтры с песчаной загрузкой, а при необходимости сорбционные фильтры, могут быть использованы биологические пруды для глубокой доочистки воды. Отдельно на ППС очищаются стоки, содержащие тетраэтилсвинец.

На дезинфекционно-промывочных станциях обрабатываются сточные воды от промывки вагонов для перевозки животных, мяса, шерсти и т.д., содержащие минеральные, органические и бактериальные загрязнения. Наиболее опасные бактериально загрязненные стоки предварительно выдерживаются в автоклавах при температуре 120°С и хлорируются большими дозами хлора. Схема очистных сооружений обычно включает решетки, песколовки, отстойники, биофильтры или азротенки, смеситель и контактный резервуар для хлорирования, песковые и иловые площадки. Воду с иловых площадок направляют на хлорирование.

На шпалопропиточных заводах применяется многоступенчатая схема очистки сточных вод (рис. 15.23, д). Бытовые воды после механической очистки очищают совместно с производственными в азротенках. При выпуске сточных вод в поверхностные водные объекты для удаления из сточной воды фенолов она подвергается озонированию. Высококонцентрированные фенольные стоки, образующиеся при отстаивании обводненного антисептика, сжигают или выпаривают. При выпуске сточных вод в водоотводящие системы населенных пунктов схема местных очистных сооружений шпалопропиточных заводов упрощается.

На локомотивно- и вагоноремонтных заводах образуются несколько видов производственных сточных вод (см. рис. 15.1): условно чистых от охлаждающего оборудования; содержащих механические примеси (газоочистка, гидрозолоудаление и др.); содержащих механические примеси и нефтепродукты; краскосодержащие воды; кислые, щелочные и загрязненные солями металлов стока от гальванических цехов и аккумуляторных; отработанные моющие растворы, содержащие ПАВ, щелочи, тонкоэмульгированные нефтепродукты и примеси. При решении общей схемы канализации этих предприятий предусматриваются отдельные локальные системы отведения и очистки однотипных сточных вод с максимальным использованием очищенной воды в обороте. Для достижения требуемого качества очистки стоков на локальных сооружениях применяются сооружения и методы химической и биологической очистки с утилизацией или обеззараживанием образующихся осадков и извлечении ценных веществ. Разработаны бессточные (замкнутые) системы водопользования для вагоноремонтных заводов с очисткой и доочисткой производственных и атмосферных

вод, включающие (без учета оборотных контуров охлаждения) пять самостоятельных локальных циклов, обеспечивают уменьшение водопотребления на 85 - 90 % и экономию щелочей до 40 т. в год.

Во всех схемах очистки сточных вод от предприятий железнодорожного транспорта приходится предусматривать дорогостоящие сооружения доочистки при отведении предварительно очищенных стоков за пределы предприятия, что создает экономические предложения для ее оборотного использования в технологических процессах.

16. Эксплуатация систем водоотведения

Основными задачами эксплуатации систем водоотведения является обеспечение надежной бесперебойной, качественной и экономичной работы всего комплекса сооружений.

Сооружения водоотведения принимаются в эксплуатацию специальными комиссиями (государственными или местными), которые назначаются по окончании строительства. Предварительно рабочие комиссии, состоящие из представителей заказчика, СЭС, пожарного надзора, служб водоснабжения санитарно-технических устройств, эксплуатирующей организации, профсоюзов в соответствии с действующими правилами приемки в эксплуатацию законченных объектов железнодорожного транспорта, проверяют соответствие выполненных работ проекту, действующим СНиП, правилами техники безопасности, санитарным и экологическим нормам, действующим техническим условиям, инструкциям и другим документам по строительству и эксплуатации железных дорог. При этом проверяют и испытывают всю систему канализационных сооружений: прямолинейность участков и расстояния между колодцами (отклонения не более $\pm 0,1$ м), уклоны, отметки лотков (отклонения не более $\pm 0,005$ м), герметичность сооружений по величине утечек, которые нормируются для напорных, самотечных и емкостных сооружений. В насосных станциях и на очистных сооружениях проверяют работу всех устройств, насосно-силового оборудования, вентиляторов, дробилок, решеток и т.п., правильность работы контрольно-измерительных приборов, автоматики и т.д.

По результатам деятельности рабочих комиссий составляются акты об окончании строительных работ с указанием дефектов, подлежащих устранению. Приемочная комиссия на основании ознакомления со всем комплексом сооружений водоотведения и результатами деятельности рабочих комиссий оценивает качество строительных работ и составляет акт о вводе сооружений в эксплуатацию. После подписания акта о вводе в эксплуатацию все сооружения переходят в ведение эксплуатирующей организации.

На железнодорожном транспорте сети и сооружения бытовой канализации находятся в ведении отделов водоснабжения и санитарно-технических устройств отделений железных дорог, а сети и сооружения производственной канализации - в ведении предприятий, которые они обслуживают.

Эксплуатацию бытовой канализации осуществляют специальные подразделения (цехи) водоснабжения и канализации, имеющие штат эксплуатационных и ремонтных рабочих, зависящий от производительности очистных сооружений, протяженности сети, количества и степени автоматизации насосных станций. Для выполнения ремонтных работ имеются стационарные мастерские с соответствующим оборудованием, а также передвижные мастерские на железнодорожном и автомобильном ходу, ассенизационные машины, мобильная землеройная техника.

Сети и сооружения производственной канализации обычно находятся в ведении главного механика или главного энергетика предприятия. Эти сооружения в зависимости

от производительности, сложности технологического процесса очистки сточных вод, сменности работы, местоположения и др. условий обслуживаются специальным эксплуатационным штатом или по совместительству дежурными мастерами или слесарями по оборудованию.

Качество работы очистных сооружений контролируется по результатам анализов сточных вод, которые проводятся лабораториями предприятий, СЭС или лабораториями при очистных сооружениях.

Руководитель службы эксплуатации сооружений водоотведения устанавливает режим эксплуатации объектов и режим работы обслуживающего персонала. Рабочие места должны быть обеспечены инструкциями по эксплуатации отдельных сооружений, насосно-силового оборудования, хлораторных и озонаторных установок и т. п., в которых указывается порядок их эксплуатации, последовательность операций при пуске и остановке сооружений, при аварии. периодичность проведения ремонтов. Рабочие места обслуживающего персонала оборудуются освещением, отоплением, вентиляцией, водопроводом и канализацией, защитными устройствами приспособлениями, медикаментами. На рабочих местах должны быть вывешены инструкции по технике безопасности и противопожарной безопасности. Рабочие обеспечиваются соответствующей спецодеждой и обувью.

Эксплуатация канализационных сетей. Заключается в периодическом осмотре, проверке условий работы и технического состояния, профилактической очистке и промывке, устранении засоров и ликвидации аварий, текущем ремонте, ведении технической документации по эксплуатации.

В процессе эксплуатации канализационной сети возможны различные нарушения ее работы. связанные с закупоркой или уменьшением сечения труб за счет отложения осадка, налипания нефтепродуктов, коррозии стенок труб лотков и колодцев из-за попадания со сточными водами кислот и щелочей, физического разрушения отдельных элементов. С целью выявления и устранения этих нарушений осуществляются периодические осмотры, промывка и очистка канализационной сети. Профилактическая промывка и прочистка сети осуществляется в соответствии с планом работ - обычно один раз в год. Промывают и очищают трубы водой с помощью резиновых шаров, ершей, кошек. В последнее время широко применяется механизированная промывка сети струями воды высокого давления с помощью специальных машин. Колодцы от отложений очищаются с помощью ассенизационных машин или вручную. При сильном загрязнении труб плотными осадками, вязкими нефтепродуктами применяют специальные ерши, протаскиваемые по трубопроводу с помощью лебедок. Для разогрева нефтепродуктов в отдельных случаях применяют пар.

Эксплуатация насосных станций. Заключается в обеспечении нормальной бесперебойной работы и исправного состояния оборудования. При ручном управлении агрегатами в задачу персонала входит пуск и остановка насосов, дробилок, очистка решеток, смазка и осмотр оборудования, ведение журнала работы насосной станции, профилактический ремонт. При автоматизированном управлении необходим периодический контроль за работой оборудования, регулировка зазоров в подшипниках, смена масла, текущий ремонт. Не более, чем через 10 000 ч работы насоса производится полная ревизия, капитальный ремонт со снятием крышки, вала и колес, восстановлением всех изношенных деталей. В последнее время осуществляется переход на дистанционный диспетчерский контроль рабочих параметров и технического состояния насосных агрегатов и управления ими не требующий присутствия персонала непосредственно на насосных станциях.

Эксплуатация очистных сооружений. Заключается в поддержании оптимального режима их работы, технического обслуживания и регулярного контроля за процессом очистки сточных вод. Для обеспечения нормальных условий работы сооружений необходимо обеспечивать нормативную нагрузку и равномерное распределение расхода между отдельными сооружениями, контролировать расход и режим его поступления на очистную станцию, регулировать подачу сжатого воздуха, пара и реагентов, регулярно вести наблюдения за работой и состоянием всех элементов сооружений, своевременно обнаруживать и устранять неисправности. Нормальную работу очистной станции могут нарушить перегрузки по расходу, резкие колебания состава и количества загрязнений, попадания в бытовые воды токсичных веществ (нефтепродукты, кислоты, щелочи), перебои электроэнергии, недостаточный контроль за ходом процесса очистки сточных вод. Важным вопросом для нормальной работы сооружений является вопрос удаления осадка (минеральных примесей, тяжелых смол и т.п.) и всплывающих веществ (жиры, масла, легкие смолы, нефтепродукты). Несвоевременное их удаление может приводить к нарушению нормальной работы сооружений. Для установок, расположенных за пределами зданий важным этапом их нормальной эксплуатации является подготовка к изменению сезонных условий. В холодное время года необходимо утеплять сооружения, перекрывая их и открытые лотки щитами, обеспечивать подогрев нефтепродуктов в нефтеловушках, смоло-маслоуловителях, флотаторах и флотаторах-отстойниках и т.п.

Для сооружений биологической очистки одной из главных задач эксплуатации является поддержание благоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов, обеспечивая своевременную подачу воздуха в биофильтры и аэротенки в необходимом количестве, исключая перегрузки по расходу и прогнозируя необходимый технологический режим работы в зависимости от изменения состава и свойств поступающих стоков, обеспечивать подачу в аэротенки активного ила требуемого качества и в необходимом количестве. Особый контроль за работой сооружений биологической очистки необходим при температуре сточных вод ниже + 10°C. Нельзя допускать поступления в аэротенки и на биофильтры плавающих и грубоэмульгированных нефтепродуктов и смол, которые тормозят жизнедеятельность микроорганизмов. Нарушение нормального хода процессов биологической очистки может потребовать значительного стабилизационного периода для вывода их на нормальный режим работы сроком до нескольких месяцев.

Контроль за работой очистных сооружений. Технологический контроль за работой очистных сооружений и отдельных сооружений очистной станции осуществляется для оперативного управления работой очистных установок и для оценки эффективности работы всего комплекса очистных сооружений. Качество очистки сточных вод оценивается по данным химических и бактериологических анализов, которые проводятся лабораторией очистных сооружений, а также службами СЭС и бассейновой инспекцией. Периодичность и места отбора проб, а также показатели качества сточных вод, подлежащие определению устанавливаются в зависимости от местных условий при согласовании с местными органами санитарного надзора. При очистке бытовых сточных вод в исходной пробе обычно определяют количество взвешенных веществ, температуру. В отстаиваемой воде кроме того обычно определяют прозрачность, окраску, азот аммонийных солей и БПК. При поступлении производственных стоков устанавливают ХПК, содержание нефтепродуктов, фенолов, ПАВ. После биологической очистки кроме перечисленных показателей определяют нитриты, нитраты, растворенный кислород, после хлорирования - остаточный хлор (не менее 0,5 - 1 мг/л).

В производственных сточных водах контролируют pH, содержание нефтепродуктов, масел, смол, фенолов, солей тяжелых металлов, железо, хлориды и др. элементы, характерные для стоков данного предприятия.

Регулярное сопоставление результатов контроля поступающих и прошедших очистку сточных вод дает возможность оценить эффективность работы очистных сооружений и вовремя устранить возникающие неполадки. Эксплуатация сооружений водоотведения должна осуществляться с соблюдением Правил техники безопасности и производственной санитарии при эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений на железнодорожном транспорте и транспортном строительстве.

Приложение 1

Нормы водопотребления для основных технологических процессов железнодорожных предприятий [2]

Наименование технологического процесса	Удельная норма водопотребления, м ³
Механизированная обмывка с учетом оборота воды:	
локомотива,	0,2
вагона	0,2
Ручная обмывка:	
локомотива	1,0
пассажирского вагона	0,5

Наименование технологического процесса	Удельная норма водопотребления, м ³
Внутренняя влажная уборка пассажирского вагона	0,2
Промывка отопительной и водяной систем пассажирского вагона	3,0
Промывка радиаторов, топливных и водяных баков рефрижераторной 5-вагонной секции	1,5
Обмывка узлов и деталей одной секции вагона локомотива в моечных машинах и выварочных ваннах	1,0
Промывка деталей одной секции локомотива или вагона в гальванических отделениях	0,2
Промывка и заправка аккумуляторов одной секции локомотива или вагона	0,2
Опрессовка водяной системы и деталей дизеля одной секции тепловоза или котла цистерны	1,0
Реостатные испытания тепловозов на жидкостных нагрузочных реостатах, мощностью, л.с.:	
1000	2 - 3
2000	6 - 8
3000	10 - 12
4000	12 - 15
Экипировка одного пассажирского вагона в транзитных поездах и поездах своего формирования	1,0
Наименование технологического процесса	Удельная норма водопотребления, м ³
Экипировка одного рефрижераторного поезда или секции:	
23 - вагонный	4,9
21 - вагонный	7,6
12 - вагонный	4,9
5 - вагонный	1,4
5 - вагонный	6,0
5 - вагонный БМ 3	3,5
Экипировка одной секции тепловоза	0,1
Проверка на водонепроницаемость одного контейнера	0,5
Наружная обмывка цистерны без учета поступления пара	1,5
Внутренняя обработка цистерны без учета поступления пара	1,5
Внутренняя промывка одного крытого вагона:	
ручная	1,0
механизированная	2,0
Внутренняя промывка одного рефрижераторного вагона:	
ручная	2,0
механизированная	3,0
Наружная обмывка одного вагона любого типа:	
ручная	0,7
машинная	2,0
Ручная обработка одного вагона:	
1-ой категории	0,7

Наименование технологического процесса	Удельная норма водопотребления, м ³
II-ой категории	0,9
III-ей категории	1,2
Механизированная обработка одного вагона:	
I-ой категории	1,5
II-ой категории	2,0
Очистка, ремонт и сварка рельсов с учетом оборота воды, км/пути	20,0
Пропитка шпал, тыс.м ³	90,0
Приготовление щебня и гравия с учетом оборота воды, м ³	2,5
Охлаждение компрессорной установки, компрессор/ч.	0,1 - 0,2
Получение пара в котельной, т	1,3

Приложение 2

Порядок расчета производственно-бытовой сети водоотведения ¹⁾ на персональной ЭВМ IBM -PC

Для расчета используется программа SB - 1, составленная в ПГУПСе Н.А.Черниковым, В.Н.Соколовым.

¹⁾ Раздел составлен к.т.н. Н.А. Черниковым.

Составляется расчетная схема сети, применительно к правобережному начертанию системы водоотведения населенного пункта, представленного на рис. 12.4.

Узлы нумеруются натуральным рядом чисел начиная с единицы, без пропусков, желательно по ходу движения воды. Последний по ходу движения воды узел должен быть обозначен последним номером.

Информация об участках заносится на расчетную схему по определенному шифру, где:

NV - номер участка; определяется по номеру вышерасположенного узла (по ходу движения воды) ;

L - длина участка; определяется по плану сети в соответствии с масштабом;

F - площадь водоотведения, прилегающая к расчетному участку, га. Расчет производится по программе SB-1.

Программа позволяет произвести гидравлический расчет самотечных производственно-бытовых сетей водоотведения, состоящих максимально из 300 участков.

При проектировании находят значения диаметров, расходов воды на участках, скоростей движения воды, наполнений, уклонов укладки труб и глубины их заложения.

Результаты расчета выводятся на дисплей и на принтер в виде таблиц.

Перед расчетом в оперативную память ЭВМ вводится программа с винчестера (жесткого магнитного диска) или дискеты (гибкого магнитного диска).

Далее пользователь должен вводить информацию, строго отвечая на вопросы ЭВМ. Вопросы отображаются на дисплее. Ответы на вопросы (исходная информация) набираются на клавиатуре и также отображаются на дисплее. При вводе информации в табличной форме числа отделяются друг от друга нажатием клавиши "ENTER". В конце строки также нажимается клавиша "ENTER". До ее нажатия вводимую информацию можно изменить, возвратив курсор на место ошибки. Некоторые ошибки ввода обнаруживает программа. Об этих ошибках выводится информация на дисплей и на дисплее даются рекомендации для их исправления.

Отвечайте на вопросы ЭВМ с помощью клавиши "ENTER"!

Будьте внимательны! Желаем успеха!

Расчет новой сети - 1 или использование последних данных - 2 ? 1.

Число участков? 11.

Число узлов? 12.

Решается задача о бытовой сети водоотведения на 11 участков и 12 узлов.

Гидравлическая крупность загрязнений, м/с? 0.08

Для производственно-бытовой сети гидравлическая крупность загрязнений находится в пределах $0,07 \leq \omega \leq 0,09$ м/с; для производственной сети - в соответствии с характером загрязнений.

Общее число жителей?

Принимается число жителей, проживающих в канализуемой части населенного пункта. Средняя норма водоотведения, л/(чел.сут) ? 190. Минимальная глубина заложения, м ? 0.95. Максимальная глубина заложения лотков, м ? 8.

Ввод информации об узлах сети

№ п/п	Номер узла расчета	Z _{зем} , М	Q, л/с
Введите значения под соответствующим названием			
1	1	23.5	21.25
2	2	23.5	0
3	3	23.5	0
4	4	23.4	0
5	5	23.1	3.33
6	6	20.6	0
7	7	20.5	0
8	8	20.4	0
9	9	20.35	0
10	10	20.2	0.25

№ п/п	Номер узла расчета	$Z_{зем}, M$	$Q, л/с$
11	11	23.5	0.9
12	12	20.0	0

Есть ошибка при вводе? да - 1, нет - 0 ? 0

Ввод информации об участках сети

Номер участка п/п	Номера узлов		L м	F га
	начального	конечного		
Введите значения под соответствующим обозначением				
1	1	2	120	1.4
2	2	7	120	0.64
3	3	2	120	1.4
4	4	9	120	0.64
5	5	4	190	1.4
6	6	7	120	1.08
7	7	8	190	1.08
8	8	12	20	0
9	9	8	190	1.08
10	10	9	190	1.08
11	11	4	190	1.4

Есть ошибка при вводе? да - 1, нет - 0? 0.

Материалы труб, имеющиеся в сортаменте:

Тип труб	Материал	Тип труб	Материал
1	чугун	5	железобетон, фальцевые
2	асбестоцемент	6	бетон, раструбные
3	керамика	7	полимержелезобетонные
4	железобетон, раструбные	8	полиэтилен

Применяемый тип труб? 3

Сортамент керамических труб:

200 250 300 350 400 450 500 600

Назначьте минимальный и максимальный диаметры труб из сортаментов, имеющихся в наличии D_{min}, D_{max} ? 200, 600

Далее производится гидравлический расчет сети, вывод результатов расчета на экран дисплея и (при необходимости) распечатки исходных и результатов расчета.

Аналогично производится подготовка сети к расчету дождевой сети по программе SD-1, составленной теми же авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамов Н.Н., Поспелова М.М., Сомов М.А. Расчет водопроводных сетей. - М.: Стройиздат, 1983. - 304 с.
- Береза А.И., Коробов Ю.И. Водоснабжение на железнодорожном транспорте / Учебное пособие для вузов. - М. : Транспорт, 1991. - 344 с.
- Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов / С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, В.И.Калицун. - М. : Стройиздат, 1996. - 591 с.
- Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учебник для вузов / С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов: Под ред. С.В.Яковлева. - М. : Стройиздат, 1990. - 511 с.
- Водоснабжение и канализация на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж. д. транспорта / М.М.Белявский, Е.П.Воронина, В.С.Дикаревский и др. Под ред. В.С.Дикаревского - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Транспорт, 1980. - 279 с.
- Дикаревский В.С., Краснянский И.И. Напорные водоводы железнодорожного водоснабжения. - М. : Транспорт, 1978. - 350 с.
- Дикаревский В.С., Караваев И.И. Водоохранные сооружения на железнодорожном транспорте. - М. : Транспорт, 1986. - 211 с.
- Иванов Е.Н. Противопожарное водоснабжение. М. : Стройиздат, 1987. - 297 с.

- Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения / Учебн. для вузов. - М. : Стройиздат, 1987. - 336 с.
- Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции / Учебн. для вузов. М. : Стройиздат, 1986. - 320 с.
- Кульский Л.А. Технологические основы и технология кондиционирования воды. Киев : Наукова думка, 1983. - 527 с.
- Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод. М. : Высшая школа, 1987. - 479 с.
- Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. Учебн. для вузов. - М. : Стройиздат, 1995. - 688 с.
- Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения. М. : Стройиздат, 1988. - 389 с.
- Тугай А.М. Водоснабжение. Водозаборные сооружения. Киев : Вища школа, 1984. - 199 с.
- Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. - М. : Стройиздат, 1996. - 116 с.
- Якубчик П.П. Насосы и насосные станции. Учебное пособие. - СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения, 1997. - 110 с.