



**М.Н. Абдукодырова  
М.В. Радкевич  
К.Б. Шипилова**

# **КАНАЛИЗАЦИЯ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**ТАШКЕНТ  
2022**



**М.Н. Абдукодырова, М.В.Радкевич, К.Б.Шипилова**  
**Канализация и очистка сточных вод**  
**/ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ /**

**Ташкент**  
**2022**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

---

**М.Н. Абдукодырова, М.В.Радкевич, К.Б.Шипилова**

# **КАНАЛИЗАЦИЯ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

**/ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ /**

Для студентов направления бакалавриата  
5450700– Инженерные системы водоснабжения

**Ташкент  
2021**

***Данное учебное пособие утверждено и рекомендовано к публикации в соответствии с приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан от 23 ноября 2021 года за № 500.***

Регистрационный номер 500-709

УДК 628.171:628.316.12(075.8)

\*\*\*

Учебное пособие предназначено для бакалавров обучающихся по направлению 5450700– Инженерные системы водоснабжения. Содержит сведения о системах водоотведения и составе сточных вод. Приведены материалы о назначении, условиях и принципах работы конструкций, методах расчета и проектирования водоотводящих сетей, насосных станций и очистных сооружений. Описаны методы и технологические схемы очистки сточных вод. Также даются задания для самостоятельной работы, проблемные вопросы для размышления, контрольные вопросы.

Учебное пособие может быть использовано при обучении бакалавров по направлениям 5630100 – Экология и охрана окружающей среды и 5630200 – Экологическая безопасность в водном хозяйстве, а также магистров по направлению обучения 5A630101 Охрана природы в сельском и водном хозяйстве.

\*\*\*

O'quv qo'llanma 5450700 – Suv ta'minoti muhandislik tizimlari yo'nalishida tahsil olayotgan bakalavrlar uchun mo'ljallangan. Drenaj tizimlari va oqava suvlarning tarkibi haqida ma'lumotni o'z ichiga oladi. Qurilishlarning maqsadi, shartlari va ishlash tamoyillari, drenaj tarmoqlari, nasos stantsiyalari va tozalash inshootlarini hisoblash va loyihalash usullari bo'yicha materiallar keltirilgan. Oqova suvlarni tozalash usullari va texnologik sxemalari tasvirlangan. Mustaqil ish uchun topshiriqlar, fikrlash uchun muammoli savollar, test savollari ham beriladi.

O'quv qo'llanma 5630100 - Ekologiya va atrof -muhitni muhofaza qilish va 5630200 - Suv xo'jaligida ekologik xavfsizlik yo'nalishlari bo'yicha o'qitiladigan bakalavrlarni, shuningdek 5A630101 Qishloq va suv xo'jaligida tabiatni muhofaza qilish yo'nalishlari bo'yicha o'qitiladigan magistrnlarni o'qitishda foydalanish mumkin.

\*\*\*

The tutorial is intended for bachelors in the area 5450700 - Engineering water supply systems. Contains information about drainage systems and wastewater composition. The materials on the purpose, conditions and principles of operation of structures, methods of calculation and design of drainage networks, pumping stations and treatment facilities are presented. Methods and technological schemes of wastewater treatment are described. Assignments for independent work, problem questions for reflection, test questions are also given.

The tutorial can be used for training bachelors in the areas of 5630100 - Ecology and environmental protection and 5630200 - Environmental safety in water management, as well as masters in the direction 5A630101 – Nature protection in agriculture and water management.

**Рецензенты:** **Абдуллаев Б.Д.** – д.г.-м.н., профессор  
**Аббасханов М.Н.** – PhD, директор ООО Тошкент  
шахар сув таъминоти

**©. ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТИИМСХ), 2021 г.**

## ВВЕДЕНИЕ

Системы водоотведения от населенных пунктов являются одной из важнейших отраслей городского хозяйства. В целях реализации Указа Президента Республики Узбекистан УП-6074 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы питьевого водоснабжения и канализации, а также повышению эффективности инвестиционных проектов в данной сфере» от 25.09.2020 года в настоящий момент интерес к вопросам строительства и реконструкции систем водоотведения с каждым годом возрастает, именно поэтому требуется подготовка квалифицированных кадров, которые способны решать проблемы, связанные с процессами водоотведения.

Данное учебное пособие предназначено для студентов технических специальностей, обучающихся по специальности «Инженерные системы водоснабжения», позволит приобрести теоретические знания по выбору систем и схем водоотведения, проектированию и строительству водоотводящих сетей и сооружений на них, а также знания по сокращению снижению вредного воздействия сточных вод на водоёмы за счет подбора очистных сооружений.

Цель изучения дисциплины – сформировать знания и навыки по проектированию, строительству и эксплуатации канализационных сетей и очистных сооружений. В учебном пособии подробно изложены вопросы проектирования, устройства и эксплуатации систем канализации городов, малых населенных пунктов и животноводческих комплексов. Освещены применяемые в Республике Узбекистан методы очистки сточных вод, а также современный зарубежный опыт удаления, транспортирования, очистки, обезвреживания и обеззараживания сточных вод, строительства и реконструкции систем водоотведения.

При составлении учебного были использованы современные литературные источники, учитывался опыт научно-исследовательских институтов. Учебное пособие охватывает все вопросы, входящие в курс «Канализация и очистка сточных вод» способы сбора и удаления сточных вод внутри и снаружи зданий и сооружений. В учебном пособии даны рекомендации по расчету и проектированию водоотводящих сетей в соответствии с требованиями СНиП (КМК) и других нормативных документов, действующих в Республике Узбекистан.

Отдельные главы учебника написаны: введение, главы I—V, XVII доцентом Абдукодировой М.Н, главы VI— XIV доктором технических наук, доцентом Радкевич М.В, XIII— XVI доктором философских наук (PhD) по техническим наукам, старшим преподавателем Шипиловой К.Б.

# Раздел 1. КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ

## Глава 1. Значение и задачи канализации

### 1.1. Введение

Охрана чистоты почвы, воды и воздуха на территориях городов, поселков, деревень и промышленных предприятий является главным условием их внешнего благоустройства, санитарного и эпидемиологического благополучия населения.

Исторически люди селились и вели хозяйственную деятельность вблизи водоемов, которые служили источником питьевой, поливной и технологической воды. Однако после использования человеком природные свойства воды изменяются, и часто вода становится опасной в санитарном отношении. Постепенно, с развитием городского хозяйства и промышленных объектов появилась необходимость в организованном отведении загрязненной использованной воды с помощью специальных гидротехнических сооружений.

О применении воды для удаления нечистот свидетельствуют археологические раскопки древних поселений Вавилонии, Ассирии, Финикии, Египта, Греции и Рима. Для отведения сточных вод в естественные проточные водоемы или для орошения сельскохозяйственных земель иногда строились крупномасштабные гидротехнические сооружения, выложенные кирпичом с обмазочной гидроизоляцией, обеспечивающие пропуск больших водных потоков. Литературные источники свидетельствуют о существовании каналов для отведения дождевых и бытовых сточных вод в Индии и Китае около 5–6 тыс. лет назад. За несколько тысячелетий до нашей эры в ассирийском Саргонском дворце был построен канал высотой 1,4 м и шириной 1,2 м. Древние греки в Афинах для отведения сточных вод построили канал шириной 4 м. Поражает высокое качество строительных работ. В Древнем Риме в VI веке до н. э. был построен большой закрытый водоотводящий канал с названием «Клоака Максима». Отдельные части этого канала использовались вплоть до начала XX столетия н. э. Нашествие варваров разрушило достижения древней цивилизации. Распространилось средневековое презрение к заботам о чистоте тела, что подорвало в общественном сознании значение санитарно-технических сооружений. Антисанитарное состояние средневековых городов способствовало распространению эпидемий чумы, проказы, оспы, тифа во всех странах Западной Европы.

Промышленное развитие и рост городов в Европе в XIX веке привели к интенсивному строительству водоотводящих каналов. Сильным толчком к развитию водоотведения городов стала эпидемия холеры 1831 года в Англии. В последующие годы в этой стране усилиями парламента были реализованы мероприятия по замене открытых каналов подземными и утверждены нормативы качества сточных вод, сбрасываемых в водоемы, организована биологическая очистка бытовых сточных вод на полях орошения.

Первые водоотводящие сооружения в России были построены в Новгороде в XII веке – бревенчатый канал перекрывался пластинами и берестой. В

XIV веке в Москве была проложена водосточная труба от центральной Ивановской площади до р. Москвы. В XV–XVI веках в Москве строили систему из деревянных труб и каналов из кирпича и камня, уложенных с небольшим уклоном.

Вплоть до конца XIX века распространенным приемником нечистот были выгребные ямы, это способствовало загрязнению воды питьевых колодцев домовладений. Во избежание засорений водоотводящих трубопроводов применяли грубые фильтры из булыжника.

В крупных городах Узбекистана до начала прошлого века очистка стоков не производилась. Нечистоты как правило сбрасывались непосредственно на улицы. В начале XX в распространение получили поглощающие ямы. Такие и в наши дни имеются в частном секторе. Особенность их в том, что содержимое уносится подземными водами. По действующим санитарным нормам и правилам все выгребные ямы должны быть забетонированы. При заполнении ямы содержимое должно вывозиться в специально отведенное место. Однако, это требование выполняется далеко не всегда.

Первые городские очистные сооружения построены в Ташкенте в тридцатые годы в районе Лабзака (сейчас это центр), вторые были на дальней окраине, за нынешним вузгородком. С вводом Саларских очистных сооружений в 1961 году и Бозсуйских в 1962-м ранее построенные станции стали не нужны. Ныне эти территории застроены.

Саларские очистные сооружения на тот момент были самыми современными и мощными во всей Центральной Азии.

Сейчас мощности этой станции уже недостаточно. Общий объем канализационных стоков Ташкента в 2020 году составил 500 млн. м<sup>3</sup>. Из них около 350 млн.м<sup>3</sup>— стоки хозяйственно-фекальные и промышленные. Очистка этих стоков осуществляется на трех станциях аэрации: Саларской, Бозсуйской и Бектемирской.

Через Саларскую станцию аэрации проходит до 830 тысяч м<sup>3</sup> в сутки, а в сезон дождей добавляются еще и ливневые стоки.

Фактическая мощность Бозсуйских, расположенных за пределами Ташкента на землях Зангиатинского района, — 770 тысяч м<sup>3</sup> в сутки.

Бектемирские очистные сооружения построены на левом берегу Чирчика в 1986 году. Проектная мощность невелика – всего 25 тысяч м<sup>3</sup> в сутки. По нормативам пропорция для принимаемых стоков: 30 % промышленных и 70% бытовых. Бектемирские сооружения предназначались для жилого микрорайона. Но в эпоху беспланового капитализма возникла промзона и 80 процентов принимаемых стоков – заводские. В результате на выходе из Бектемирской станции аэрации и при впадении стоков в реку Чирчик фиксируются хром и еще ряд опасных ингредиентов, включая синтетические поверхностно активные вещества (СПАВ).

## **1.2. Задачи и значение канализации**

В современном мире постоянно возрастает значимость пресной воды как природного ресурса. После бытового и промышленного использования вода

насыщается минеральными и органическими загрязнителями, а также возбудителями различных заболеваний. Такая вода называется *сточной водой* или *сточками*.

Сейчас для удаления сточных вод в населенных пунктах служит сложная инженерная система коммуникаций и сооружений – канализация.

***Канализацией называют комплекс трубопроводных сетей, сооружений и устройств, служащих для организованного сбора и выведения за пределы населенного пункта или промышленного предприятия загрязненных стоков, а также для их очистки и последующего сброса в водоем.***

Целью строительства канализации является защита подземных вод и водных объектов от загрязнения в интересах здоровья человека и защиты природы. Следует избегать неконтролируемого слива грязной воды в окружающую среду.

Системы канализации должны выполнять различные функции для достижения поставленных целей. Сточные воды улавливаются и собираются в местах их загрязнения. Загрязненная вода собирается по системе трубопроводов отводится в центральные сооружения.

Обработка и очистка сточных вод происходит локально на очистных сооружениях, на которых большая часть загрязняющих веществ удаляется из сточных вод. Очистка производится механически, химически и биологически. Наконец, очищенные сточные воды возвращаются в водный цикл по выпускам в реки. Незагрязненные дождевые и талые воды можно отводить без очистки. Если же дождевая или талая вода загрязнена, ее направляют на очистку совместно с другими сточными водами или отдельно.

### **1.3. Объекты канализования**

**Объектами канализования** являются здания жилого, общественного, производственного, служебного и специального назначения, оборудованные внутренним водопроводом и канализацией, а также вновь строящиеся, существующие и реконструируемые города, поселки городского типа, сельские и дачные поселки, курорты, промышленные предприятия, комбинаты и промышленные районы.

Внутренняя канализация служит для приема сточных вод в местах их образования и для отведения за пределы здания в наружную канализационную сеть. Наружная канализация предназначена для транспортирования сточных вод за пределы населенных пунктов или промышленных предприятий на



очистные сооружения, которые служат для обезвреживания сточных вод, выпуска очищенных вод в водоем без нарушения его естественного состояния и обработки осадка в целях дальнейшей его утилизации.

#### **1.4. Сточные воды и их классификация**

*Сточные воды* – это вода, которую необходимо отводить из населенных пунктов, изменившаяся после использования человеком. Как правило, она содержит вещества, которые нельзя безопасно вернуть в окружающую среду, поэтому такую воду необходимо обрабатывать и очищать.

В связи с увеличением населения в населенных пунктах, расширением промышленных и торговых площадей, а также повышением требований к качеству жизни, требования к канализационным системам неуклонно растут.

Неосторожное обращение с грязной водой создает угрозу для окружающей среды и здоровья человека из-за несоблюдения гигиены и нечистой питьевой воды. В природе в определенной степени может происходить самоочищение, в основном в поверхностных водах. Однако при большой плотности населения предел самоочищения быстро превышает.

Серьезные последствия может иметь загрязнение грунтовых вод, поскольку их самоочищение происходит в течение длительного времени, а как известно, грунтовые воды в первую очередь используются для питья.

*По происхождению* сточные воды могут быть подразделены на: бытовые, производственные и атмосферные.

Бытовые стоки генерируются в жилых и общественных зданиях, бытовых обслуживающих предприятиях (бани, прачечные и др.), организациях, а также в бытовых помещениях производственных предприятий.

Производственные сточные воды включают в себя отработавшие технологические растворы, кубовые остатки, технологические и промывные воды, воды вакуум-насосов и охлаждающих систем; шахтные и карьерные воды; воды химводоочистки, воды от мытья оборудования и производственных помещений, а также от очистки и охлаждения газообразных отходов, очистки твердых отходов и их транспортировки.

Атмосферные (дождевые, ливневые) стоки образуются в процессе выпадения осадков на селитебных территориях, а также на территориях промышленных предприятий, заправочных станций и др.

Все категории сточных вод характеризуются различным количеством загрязнений, их химическим составом и физическим состоянием.

*По химическому составу* загрязнения сточные воды подразделяются на органические и минеральные. *По физическому состоянию* загрязнения сточных вод делятся в зависимости от степени их дисперсности: на растворенные, коллоидные и нерастворенные.

Основными характеристиками сточных вод являются:

- расход (л/с, м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/смену, м<sup>3</sup>/сут и т. д.);
- виды загрязняющих веществ и их концентрация (мг/л или г/м<sup>3</sup>).

Важной особенностью потоков сточных вод является неравномерность их образования и поступления в водоотводящие сети. Неравномерность обычно

определяется по поступлению сточных вод по часам суток в году. Эти показатели учитываются при проектировании систем канализации.

В бытовых сточных водах содержатся минеральные и органические загрязнения, которые могут быть в нерастворенном, растворенном и коллоидном состояниях. Относительно крупные нерастворенные загрязнения называют *взвешенными веществами*. Основную опасность представляют органические загрязнения, которых в бытовых стоках содержится 0,1–0,3 г/л. Концентрация растворенных органических загрязнений оценивается значениями биохимического потребления кислорода (БПК) и химического потребления кислорода (ХПК). Для бытовых сточных вод показатели БПК составляют 100...400 мг/л, ХПК = 150...600 мг/л, что соответствует высокой степени загрязнения. Такие воды без обработки загнивают через 12–24 ч при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В городах удельный расход бытовых вод составляет 0,3–2,0 л/с 1 га застроенной территории (10–60 тыс. м<sup>3</sup>/год). Их поступление в канализационную сеть в течение суток и в течение года неравномерно: днем расход воды превышает ночные показатели в 2–5 раз. Неравномерность расхода в течение года незначительна, разница по суткам составляет 1,1–1,2 раза.

Производственные стоки содержат различные концентрации загрязнений, характерных для конкретных отраслей промышленности.

В ливневых водах содержится большое количество нерастворенных минеральных загрязнений и некоторое количество органики. БПК ливневых вод достигает 50–60 мг/л. Образование ливневых вод очень неравномерно, их расход изменяется от нуля до максимального значения 300 л/с (период максимального выпадения осадков). В литературе широко применяется понятие «городские сточные воды». Под ним понимается смесь бытовых и производственных сточных вод. В реальных условиях в чистом виде бытовых вод не бывает. В сточных водах, поступающих от городов, всегда содержатся компоненты загрязнений, характерные для производственных сточных вод (нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли и др.). При решении задач отвода и очистки городских сточных вод это необходимо учитывать. Все указанные выше виды сточных вод требуют обязательной очистки при их отведении в открытые водоемы, так как в них содержатся различные загрязняющие вещества в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые.

## **1.5. Системы и схемы канализации**

### **1.5.1. Основные элементы водоотводящих систем**

Основными элементами *водоотводящих систем* являются:

- 1) внутренние системы водоотведения и внутриквартальные канализационные сети;
- 2) внешняя канализационная сеть;
- 3) регулирующие резервуары;
- 4) насосные станции и напорные трубопроводы;
- 5) очистные сооружения;
- 6) выпуски очищенных сточных вод и аварийные выпуски воды в водоем.

На рис. 1.1 представлена общая (без кварталов и проездов) схема водоотведения города.

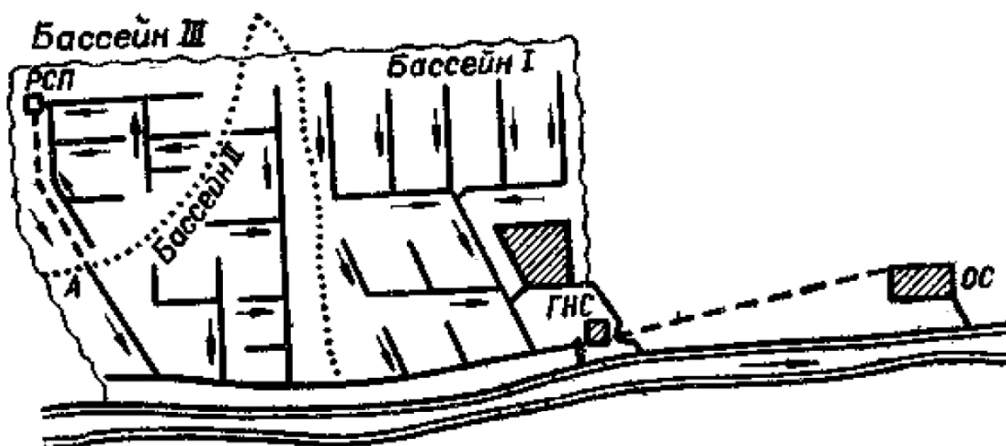


Рис. 1.1. Общая схема водоотведения населенного пункта

*Внутренняя система водоотведения* жилого дома включает в себя: приемники сточных вод (санитарные приборы) и внутреннюю водоотводящую сеть – отводные линии, стояки и выпуски из зданий.

*Внутриквартальная водоотводящая сеть* – это система подземных трубопроводов, проложенных около зданий между смотровыми колодцами по концам выпусков из зданий в соответствии с уклоном поверхности земли. Соединение с уличной сетью осуществляется с помощью участков труб, называемых соединительными ветками. Внутриквартальная сеть проектируется с расчетом на самотечное движение вод.

Для контроля работы внутриквартальных сетей в пределах квартала, на расстоянии 1,0–1,5 м от красной линии (границы квартала), устраивают контрольный колодец.

*Внешняя (наружная) канализационная сеть* (уличная сеть) – это система подземных трубопроводов, уложенных с уклоном в направлении движения воды к нижней стороне квартала, рассчитываемая на самотечное движение воды. К ней присоединяются внутриквартальные сети.

При составлении схемы сети водоотведения всю обслуживаемую территорию разбивают на бассейны канализования (рис. 1.1). *Бассейн канализования (водоотведения)* – часть канализуемой территории, ограниченная водоразделами. Сбор стоков по территории бассейнов канализования осуществляется с помощью коллекторов.

Коллектор бассейна канализования – трубопровод, предназначенный для приема и отвода воды от всего бассейна канализования или его части. Главный коллектор – трубопровод, принимающий воды от двух или нескольких бассейнов канализования (всей канализуемой территории). Отводной (загородный) коллектор – трубопровод, транспортирующий стоки к насосным станциям или на очистные сооружения.

Для сброса воды на коллекторах, проложенных вдоль реки, устраивают специальные сооружения – ливнеспуски.

*Регулирующие резервуары* представляют собой искусственные или оборудованные естественные емкости, предназначенные для аккумуляции сточных вод в период их наибольшего притока. Сброс воды из этих резервуаров осуществляется при снижении притока сточных вод. Обязательно устройство регулирующих резервуаров на ливневой канализации. На сетях, отводящих бытовые стоки, регулирующие резервуары объединяют с приемными камерами насосных станций.

*Очистные сооружения* представляют собой инженерный комплекс поэтапной очистки сточных вод от загрязнений.

*Выпуски сточных воды в водоем* – специальные сооружения, предназначенные для сброса очищенных сточных вод в водоем. Выпуски должны обеспечивать быстрое и интенсивное смешивание сточных вод с водой водоема, а их конструкция должна исключать разрушение самого выпуска потоком сбрасываемой сточной воды.

*Аварийные выпуски* устраивают на главных коллекторах, проложенных вдоль реки. Желательно устраивать их перед насосными станциями. Устройство аварийных выпусков должно быть согласовано с органами санэпиднадзора и рыбоохраны. Аварийные выпуски используются для сброса неочищенных стоков в реку только в чрезвычайных случаях – при авариях на коллекторах или насосных станциях.

Все элементы канализационной системы взаимосвязаны, при выходе из строя хотя бы одного элемента из них нарушается работа всей системы.

### **1.5.2. Внутренняя и наружная канализация**

Все канализационные сооружения любой системы и схемы канализации по своему назначению делятся на две основные группы.

*К первой группе относят* оборудование и сооружения, предназначенные для приема и транспортирования сточных вод: а) внутренние канализационные устройства; б) наружную канализационную сеть; в) насосные станции и напорные канализационные водоводы.

*Ко второй группе относят:* а) очистные станции, предназначенные для очистки, обезвреживания, обеззараживания сточных вод и для обработки осадка; б) выпуски очищенных вод в водоем.

Внутренние канализационные устройства в жилых и общественных зданиях состоят из приемников (санитарных приборов) — унитазов, писсуаров, раковин, умывальников, моек, трапов, ванн и пр., и из сети— отводных труб, стояков, выпусков и дворовой сети (рис. 1.2 и 1.3). Санитарные приборы (рис. 1.4) устанавливают в кухнях, туалетных и ваннных комнатах жилых, общественных и производственных зданий.

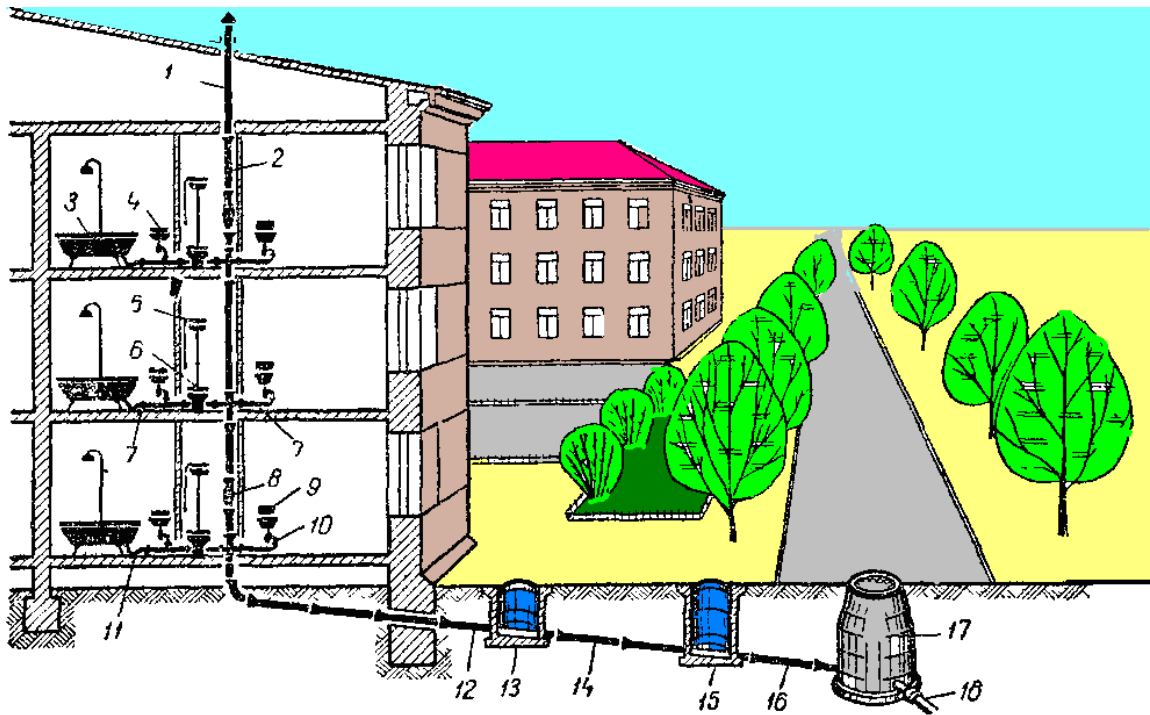


Рис. 1.2. Схема внутренней канализации

1 — вытяжная вентиляционная труба; 2— стояк; 3—ванна; 4 — умывальник; 5 — смывной бачок; 6 — унитаз, 7 — отводная труба; 8— ревизия; 9— мойка или раковина на кухне; 10— гидравлический затвор; 11 — напольный сифон; 12 — выпуск; 13 — смотровой колодец на дворовой сети; 14 — дворовая сеть; 15—контрольный колодец; 16 — соединительная ветка; 17—смотровой колодец на уличной сети; 18 — уличная сеть

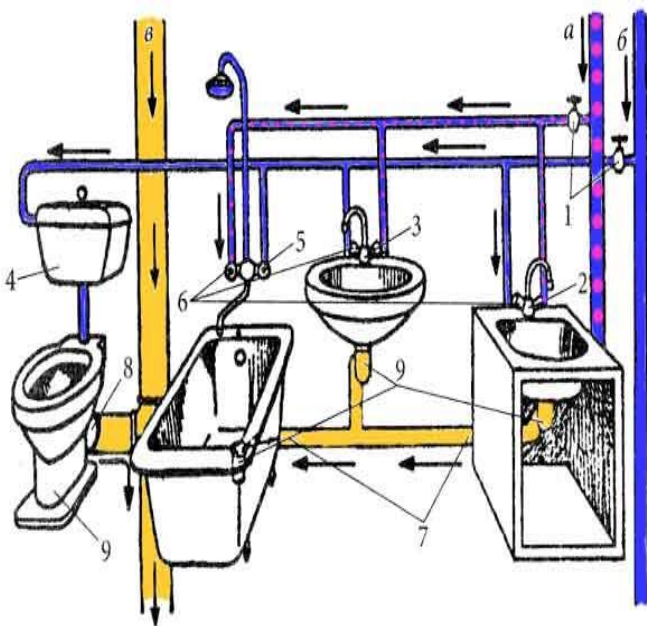


Рис. 1.3. Система канализации здания.

а — стояк подачи горячей воды; б — стояк подачи холодной воды; в — канализация: 1 — вентили на вводе (у стояков); 2 — кран подачи холодной воды на мойку; 3 — кран подачи холодной воды на умывальник; 4 — клапан бачка унитаза; 5 — кран подачи холодной воды в ванну; 6 — краны подачи горячей воды на мойку, умывальник и в ванну; 7 — отводы сточной воды; 8 — труба отвода унитаза; 9 — сифоны унитаза, ванны, мойки, умывальника.

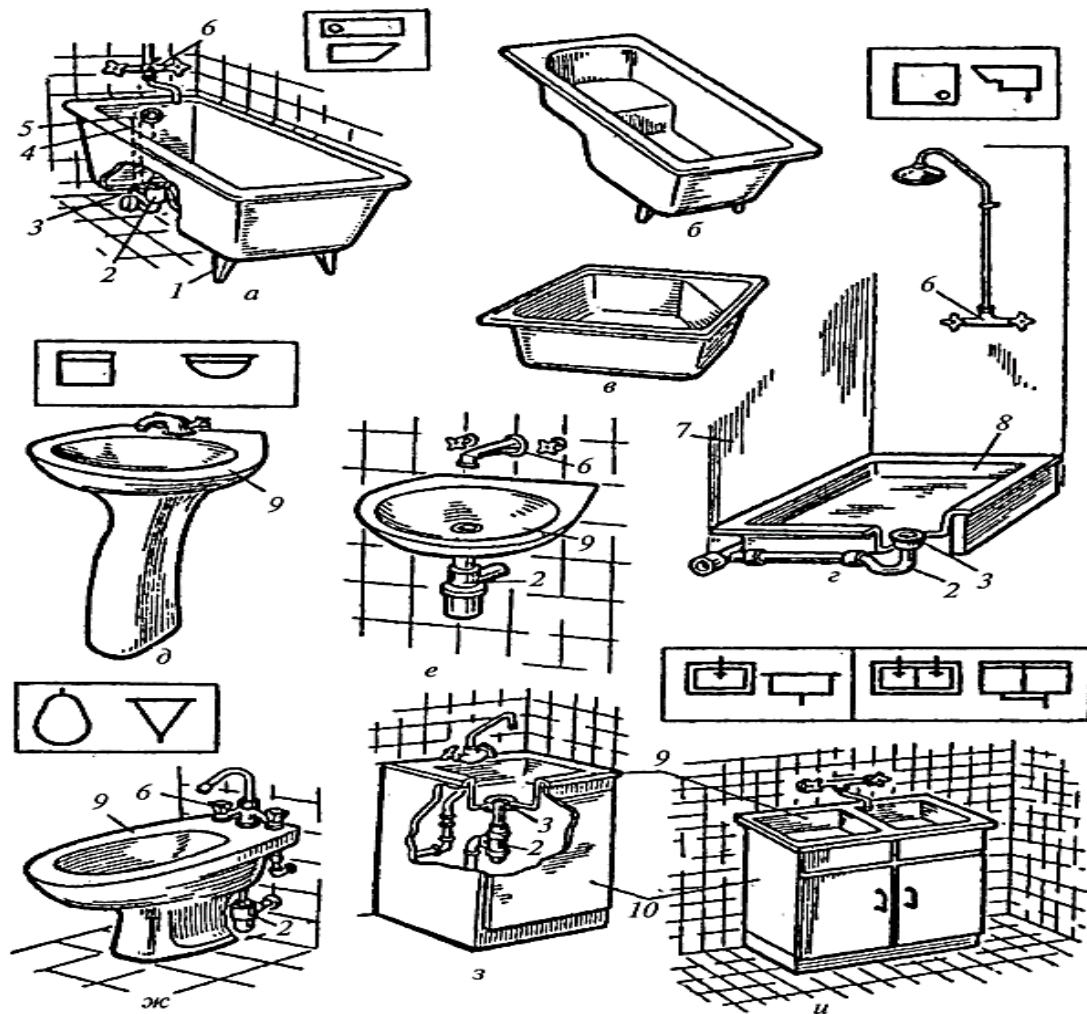
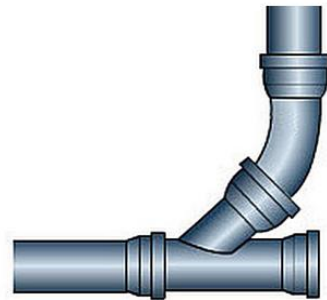


Рис. 1.4. Санитарные приборы

*a* — ванна; *б* — сидячая ванна; *в* — глубокий поддон; *г* — душ; *д* — умывальник на постаменте; *е* — умывальник; *ж* - биде; *з*, *и* — мойки; 1 — ножка; 2 — гидрозатвор; 3 — выпуск; 4 — переливная труба; 5 — перелив; 6 — смеситель; 7 — перегородка; 8 — поддон; 9 — чаша; 10 — подстолье

Сточные воды из приемников поступают в отводные трубы, а затем в стояки внутренней канализационной сети. Стояки прокладывают по стенам внутри отапливаемых помещений или в монтажных шахтах, блоках и санитарно-технических кабинах. Их выводят через чердачное помещение выше крыши. Вследствие обогрева стояков в отапливаемых помещениях в них создается тяга воздуха, что обеспечивает вентиляцию внутренней и наружной канализационной сети. Верхнюю часть стояка называют вытяжной трубой, на конце ее устанавливают дефлектор (флюгарку) (рис. 1.5).

Для осмотра и прочистки труб устанавливают ревизии и прочистки (рис. 1.6).



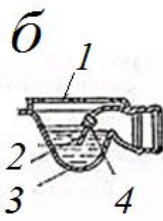
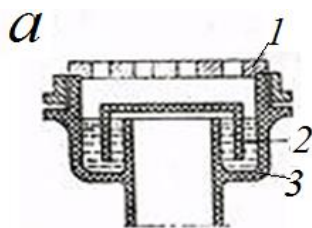
*а*

*б*

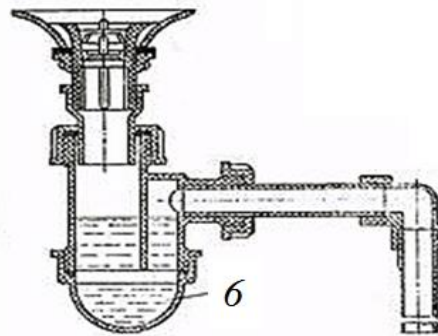
*в*

Рис. 1.5. Верхняя часть канализационного стояка с дефлектором

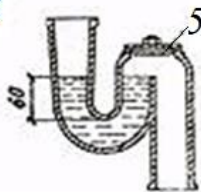
Рис. 1.6. Устройства для осмотра труб  
*а, б* – ревизии; *в* – прочистка



*д*



*в*



*г*

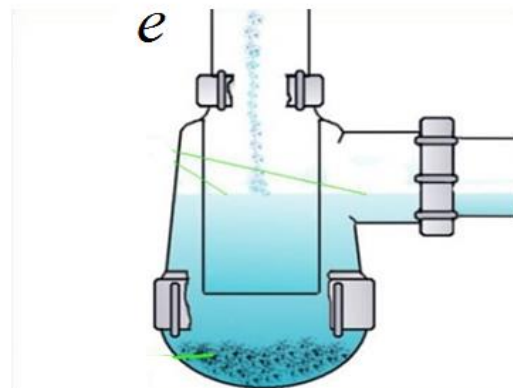
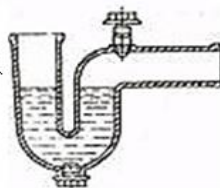


Рис. 1.7. Трапы и гидрозатворы:

- а* – прямой выпуск (трап); *б* – горизонтальный выпуск (трап);
- в, г* – U-образные гидрозатворы; *д* – пластмассовый гидрозатвор, *е* – бутылочный сифон
- 1 – съемная решетка; 2 – перегородка; 3 – корпус; 4 – пробка; 5 – крышка; 6 – съемная крышка.

Чтобы воздух и газы не проникали в помещение, между сетью и санитарными приборами предусматривают водяные затворы (гидрозатворы, сифоны). В унитазах и трапах гидрозатворы являются конструктивным элементом прибора, а под умывальниками, ваннами, мойками и раковинами устанавливают специальные фасонные части — сифоны. Одним сифоном можно обслужить

несколько приборов. Вода в нем автоматически заменяется свежей после каждого сброса новой порции воды в санитарный прибор. В гидрозатворах (рис. 1.7) постоянно присутствует слой воды высотой 50–70 мм, который образуется в изгибе трубопровода (U-образные гидрозатворы) или между двумя цилиндрами.

Незасоряемость сифонов обеспечивается большим проходным сечением и гладкой внутренней поверхностью (эмалированной или асфальтированной). Для прочистки гидрозатворов и примыкающих к ним участков предусматриваются отверстия, закрываемые крышками (сифоны-ревизии) или резьбовыми пробками. Бутылочные гидрозатворы (рис. 1.7, е) прочищают через съемную крышку. Гидрозатворы изготавливают из чугуна или пластмассы. Для умывальников выпускают бутылочные гидрозатворы из латуни.

### 1.5.3. Системы водоотведения городов

Отличие по составу и свойствам загрязнений бытовых и дождевых вод, а также бытовых и многих производственных сточных вод обуславливает разные методы их очистки, а также необходимость отдельного их отведения по самостоятельным водоотводящим сетям.

***Под системой канализации (водоотведения) понимается способ сбора и отведения сточных вод.***

Возможны различные решения системы водоотведения: путем совместного или отдельного водоотведения сточных вод различных видов или путем совместной или отдельной их очистки. В зависимости от этого проектируемые водоотводящие системы подразделяются на общесплавные, отдельные и комбинированные. В то же время отдельные системы классифицируются на полные отдельные, неполные отдельные и полуротдельные.

*Общесплавная система водоотведения* имеет одну водоотводящую сеть, предназначенную для отвода сточных вод всех видов: бытовых, производственных и дождевых. Особенностью общесплавной системы является наличие на главном коллекторе ливнеспусков, через которые часть смеси сточных вод сбрасывается в водоем.

Применение общесплавных систем целесообразно при наличии рядом с обслуживаемыми объектами рек с большими расходами воды, в которые допустим сброс значительных объемов неочищенных сточных вод.

*Полная отдельная система водоотведения* (рис. 1.8) имеет две или большее число водоотводящих сетей, каждая из которых предназначена для отвода сточных вод определенного вида. Она имеет сети для отвода: бытовых вод от города (бытовая сеть), производственных вод (производственная сеть) и дождевых вод (водостоки или дождевая сеть).



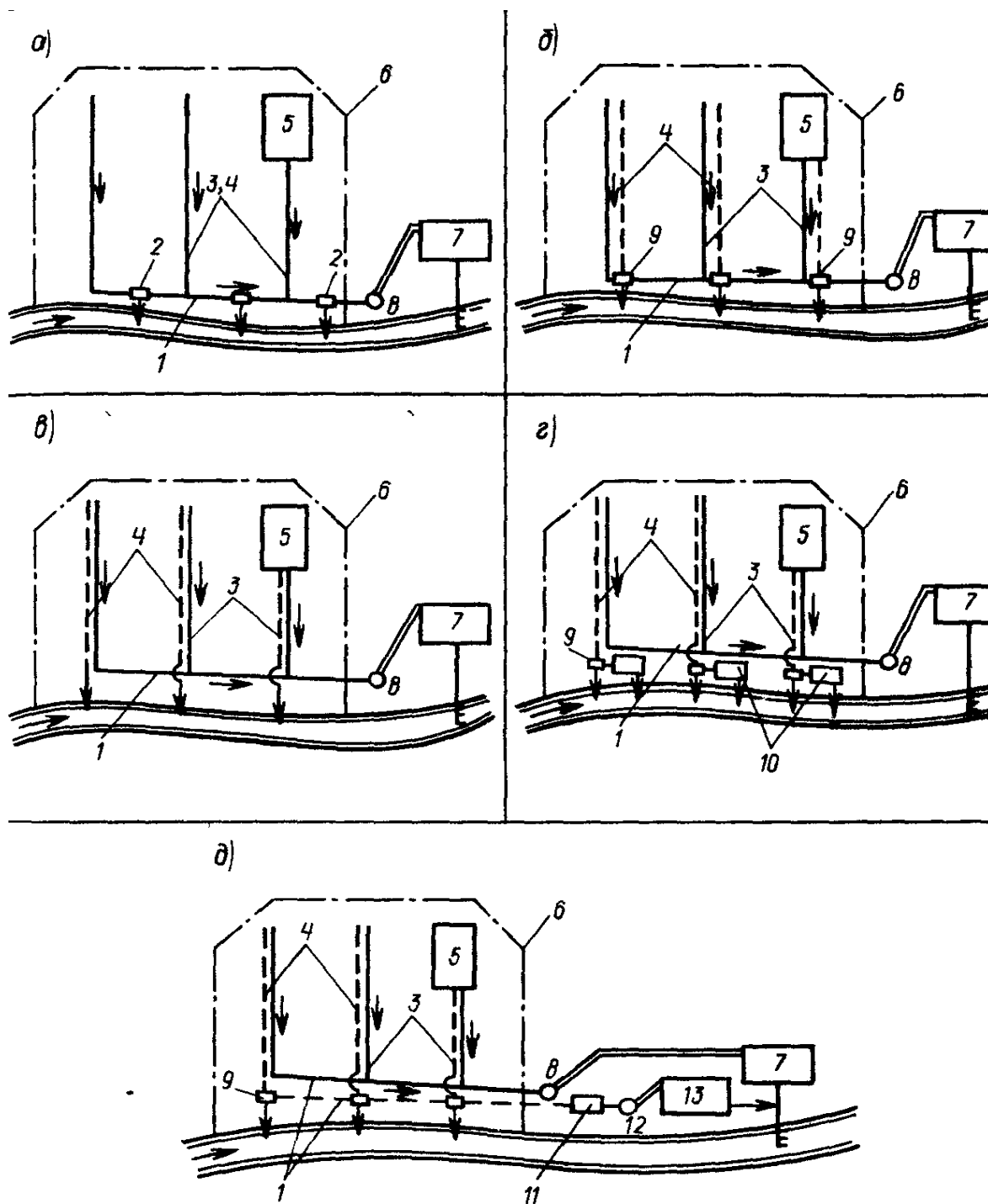


Рис. 1.8. Системы водоотседения:  
 а – общесплавная; б – полураздельная; в – полная раздельная; г – полная раздельная с локальной очисткой дождевых вод; д – полная раздельная с централизованной очисткой дождевых сточных вод  
 1 — главный водоотводящий коллектор; 2 — ливнеспуски, 3 — производственно-бытовая сеть; 4 — ливневая сеть, 5 — промышленные предприятия, 6 — граница города; 7 — городские очистные сооружения; 8 — главная насосная станция; 9 — разделительные камеры; 10 — локальные очистные сооружения поверхностного стока; 11 — регулирующий бассейн, 12 — насосная станция ливневых вод; 13 — центральные очистные сооружения поверхностного стока

При полной раздельной системе водоотведения проблема очистки поверхностного стока может решаться двумя путями: 1) созданием локальных очистных сооружений поверхностного стока на дождевой сети перед выпусками; 2) созданием централизованных очистных сооружений поверхностного стока за пределами обслуживаемого объекта и переброской на них дождевых вод по главному коллектору дождевой сети.

*Неполная раздельная система водоотведения* имеет лишь одну водоотводящую сеть, предназначенную для отвода загрязненных бытовых и производственных сточных вод и называемую производственно-бытовой сетью. Отвод дождевых вод в водоем предусматривается по открытым лоткам, кюветам и канавам. Устройство неполной раздельной системы водоотведения возможно лишь для небольших объектов.

При небольших расходах воды в ливневой канализации весь расход дождевого стока перепускается в главный коллектор производственно-бытовой сети.

При больших расходах воды в дождевой сети (в период сильных ливней) менее загрязненные дождевые воды отводятся в водоем без очистки.

*Комбинированная система водоотведения* совмещает в себе общесплавную и полную раздельную системы, возникает обычно при расширении старых населенных пунктов.

Каждая из перечисленных выше систем водоотведения имеет достоинства и недостатки (табл. 1.1).

Полураздельная система (рис. 1.9) водоотведения объединяет достоинства общесплавной и полной раздельной систем, но не имеет их недостатков: в водоем сбрасывается только наименее загрязненная часть дождевого стока, а загрязненная часть подвергается очистке.

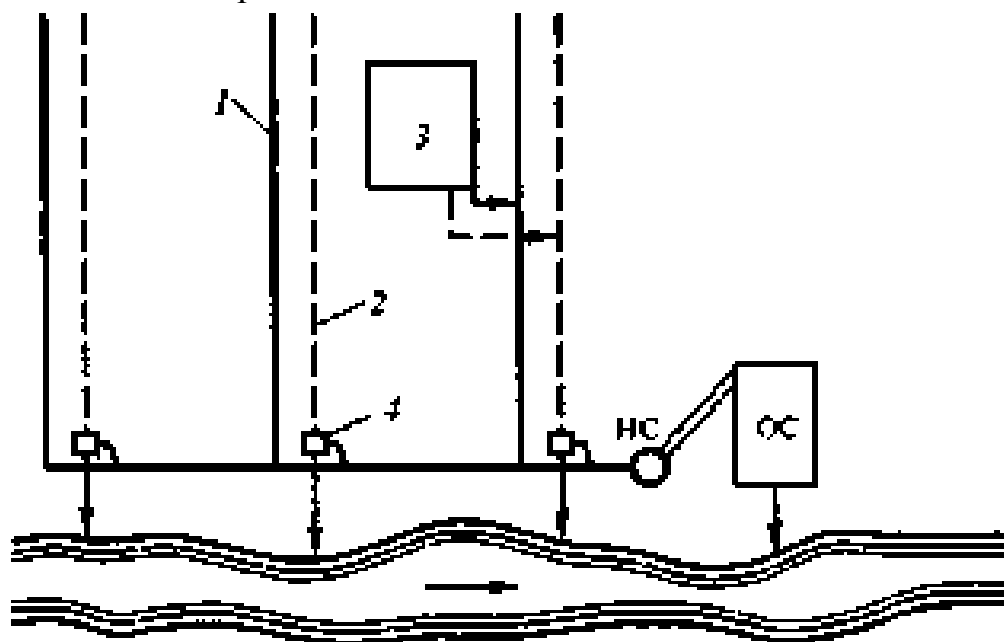


Рис. 1.9. Схема полураздельной системы водоотведения:  
1 – производственно-бытовая сеть; 2 – ливневая сеть;  
3 – промышленное предприятие; 4 – разделительные камеры

## Достоинства и недостатки общесплавных и отдельных систем канализации

Достоинства	Недостатки
<b>Общесплавная система</b>	
1) протяженность и стоимость одной сети значительно меньше, чем для нескольких сетей полной отдельной системы; 2) при проектировании объем сброса сточных вод в водоем может устанавливаться с учетом расхода воды в реке и ее самоочищающей способности; 3) меньшая степень застроенности подземных частей улиц и проездов, меньшее число смотровых колодцев в проездах; 4) значительно меньшая эксплуатационная стоимость по сравнению с полной отдельной системой.	1) крупные капитальные затраты в начале строительства сети, состоящей из труб большего диаметра; 2) большая стоимость строительства и эксплуатации насосных станций и очистных сооружений; 3) сброс в водоем через ливнепуски смеси сточных вод, иногда с высокими показателями загрязнений; 4) возможность подтопления сети водоотведения через ливнеотводы и ливнепуски в паводковый период.
<b>Полная отдельная система</b>	
1) небольшие затраты на строительство бытовой сети (первая очередь строительства); 2) небольшая по сравнению общесплавной системой стоимость строительства и эксплуатации очистных сооружений	весь объем дождевых вод сбрасывается без очистки в водоем

*Выбор системы канализации необходимо осуществлять на основании технико-экономического сравнения систем, равноценных в санитарно-эпидемиологическом отношении*

Производственные сточные воды пищевых и подобных им производств могут отводиться по бытовой сети.

Специфические промышленные стоки требуют предварительной специальной очистки на локальных очистных сооружениях для повторного использования или последующего сброса в городскую канализацию.

При разработке системы водоотведения городов и промышленных предприятий необходимо учитывать:

- возможное сокращение расходов загрязненных стоков за счет организации замкнутых систем водоснабжения;
- возможность подачи использованной воды в другие технологические процессы с более низкими требованиями к качеству;
- необходимость очистки наиболее загрязненной доли поверхностных стоков.

При применении полной отдельной системы канализации очистка поверхностного стока может осуществляться только с помощью локальных очистных сооружений на дождевой сети.

Основными критериями при выборе той или иной системы канализации являются размеры капитальных вложений (в том числе на 1 м<sup>3</sup> суточного расхода сточных вод в целом по всей системе и отдельно по очистным сооружениям), годовых эксплуатационных расходов, а также себестоимости отвода и очистки 1 м<sup>3</sup> стоков. Однако решающим критерием выбора оптимального варианта являются санитарно-гигиенические требования.

#### **1.5.4. Системы водоотведения малонаселенных мест и отдельно расположенных объектов**

При благоустройстве сельских населенных пунктов их оснащают технически совершенными системами канализации.

Как правило, для малых населенных пунктов применяют неполную раздельную систему, отводящую наиболее загрязненную часть сточных вод. Дождевые воды отводятся естественным путем по кюветам, канавам и тальвегам. Следствием этого является затопление проездов и подземных помещений при интенсивном выпадении осадков.

Иногда используется полураздельная система канализации. Это вариант раздельной системы, в котором применяются дополнительно сбросные камеры, которые автоматически направляют первые, наиболее загрязненные порции дождевых вод, в сеть загрязненных бытовых и промышленных стоков вод, а затем – на очистные сооружения. Последующие условно чистые дождевые воды выпускаются непосредственно в водоемы. По санитарным показателям полураздельная система превосходит полную раздельную и общесплавную системы, позволяя снизить степень загрязнения водоемов, а в экономическом смысле очистные сооружения полураздельной системы более компактны и имеют меньшую строительную стоимость. Для очистки стоков в малых системах канализации используют решетки с ручной очисткой, фильтрующие колодцы, песколовки, поля фильтрации, двухъярусные отстойники, биологические пруды, биофильтры. Эти сооружения будут более подробно рассмотрены в разделе «Очистка сточных вод»

#### **1.5.5. Системы канализации промышленных предприятий**

На ряде предприятий может образовываться до 10 различных видов стоков, различных по расходу, составу и концентрации загрязнений, поэтому правильный выбор системы водоотведения является сложной и важной задачей.

На промышленных предприятиях кроме производственных образуются бытовые и дождевые стоки. Поэтому так же, как и в населенных пунктах, для предприятий можно применять общесплавную и раздельную системы канализации. Раздельные системы могут включать в себя несколько самостоятельных сетей от различных производственных участков, либо предусматривать организацию частичного или полного оборотного водоснабжения.

Общесплавные системы канализации (рис. 1.10, а) могут применяться на предприятиях с небольшим расходом воды, с объемом поверхностного стока приблизительно равным расходу производственных и бытовых стоков, причем

производственные загрязнения по санитарным показателям допускаются к непосредственному отведению на городские очистные сооружения.

При наличии сильно загрязненных стоков целесообразно применение раздельной системы с локальными очистными сооружениями. Такая же система необходима при наличии в производственных стоках ценных компонентов. Например, пищевые жиры в стоках мясокомбинатов, необходимо улавливать и утилизировать.

- Раздельная система канализации с частичным оборотом производственных стоков (рис. 1.10, б) применяется, если на предприятии имеются и загрязненные, и условно чистые стоки, которые можно вернуть в производство охлаждения и частичной очистки.

- Раздельная система канализации с полным оборотом производственных стоков (рис. 1.10, в) применяется при большом расходе этих стоков или при недостатке воды в источнике водоснабжения. Дождевые воды при этом очищают отдельно или объединяют с ливневыми стоками города.

- Раздельная система канализации с полным оборотом всех стоков (бессточная система) целесообразна для крупных промышленных предприятий, использующих водоемкие технологии, а также при недостаточном для технического водоснабжения расходе воды в источнике водоснабжения.

Основной проблемой при очистке и повторном использовании дождевых вод является необходимость их сбора, накопления и равномерной подачи на очистку, для чего необходимы значительные площади. Очищенные поверхностные и бытовые стоки могут покрывать больше 50 % потребности промышленных предприятий в воде, поэтому бессточные системы водопользования весьма перспективны.

Итак, при выборе системы производственной канализации необходимо учитывать следующие возможности:

- совместной и раздельной очистки отдельных видов (от отдельных цехов) сточных вод;

- извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;

- повторного использования производственных сточных вод без очистки или после частичной очистки в системе оборотного водоснабжения или для технических нужд другого цеха или производства;

- использования для производственных целей очищенных бытовых и дождевых вод;

- использования производственных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур.

Кроме того, необходимо учитывать мощность водоема, в который предполагается сброс очищенных сточных вод, количество воды в нем, вид водопользования и его самоочищающую способность.

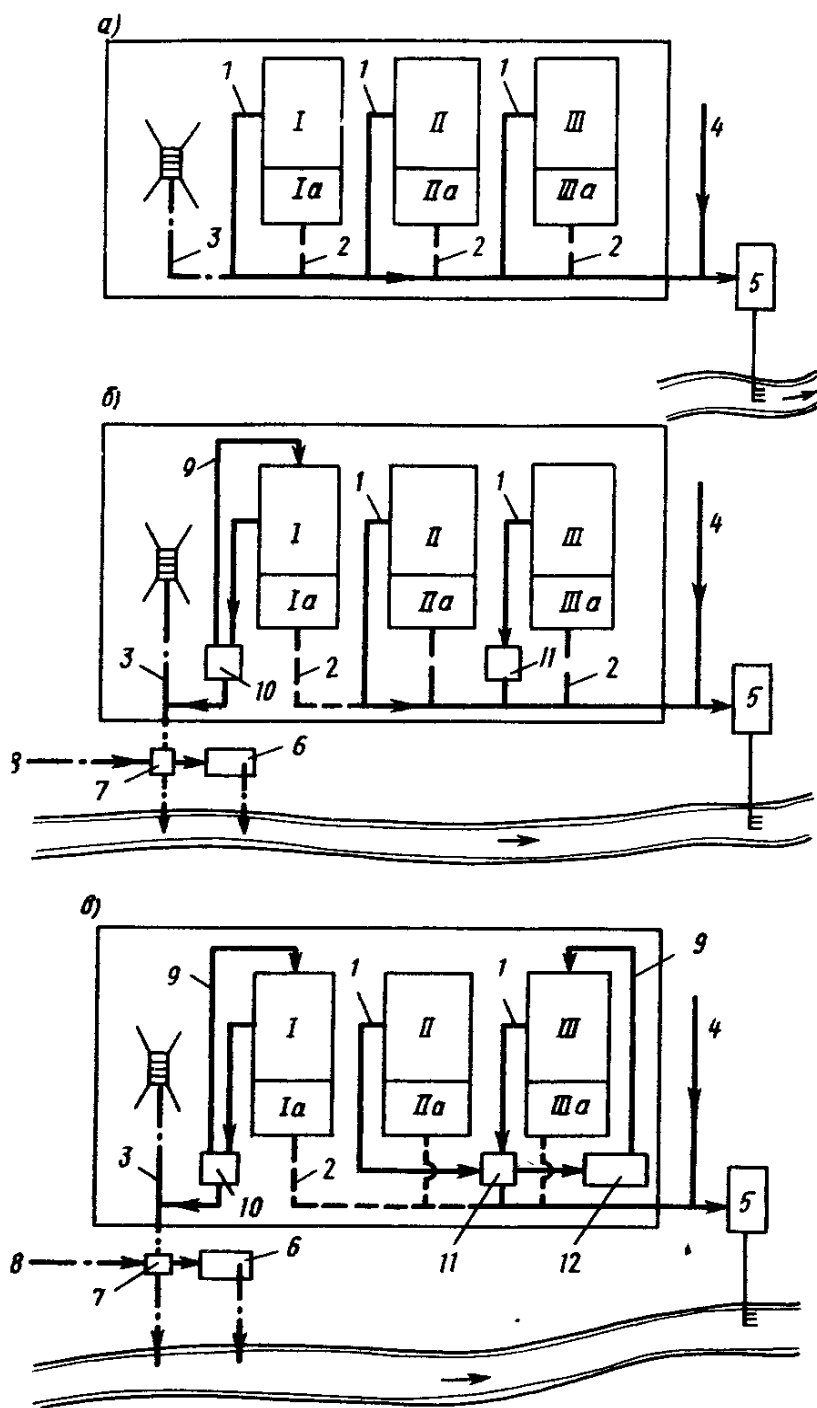


Рис. 1.10. Система водоотведения промышленных предприятий:

I, II, III — производственные отделения цехов, Ia, IIa, IIIa — бытовые помещения;

1 — производственные воды от отдельных цехов; 2 — бытовые стоки от отдельных цехов; 3 — ливневые стоки с территории завода; 4 — городские стоки; 5 — городские очистные сооружения, 6 — локальные очистные сооружения ливневых сточных вод; 7 — разделительная камера, 8 — ливневые стоки города; 9 — возврат воды в производство; 10 — установка охлаждения воды; 11 — локальные очистные сооружения производстве сточных вод; 12 — центральные очистные сооружения производственных стоков

Рассмотренные системы канализации являются общим приближенным решением. В усло-

виях конкретного предприятия возможно создание нескольких систем очистки, объединяющих различные виды сточных вод. Может создаваться несколько оборотных централизованных систем. В общем случае замкнутая система водопользования промышленного предприятия состоит из:

- локальных оборотных (замкнутых) систем;
- централизованных замкнутых системы;
- охлаждающих локальных или централизованных оборотных систем, а также систем последовательного использования воды в двух или нескольких технологических операциях с передачей воды из одной системы в другую.

## 1.6. Схемы канализации

### 1.6.1. Канализация и ее основные сооружения

Каждая система канализации может осуществляться с помощью различных технических приемов трассировки сетей и коллекторов, определения глубины их заложения, количества насосных станций, числа и расположения очистных сооружений и т. д.

*Схемой канализации называется технически и экономически обоснованное проектное решение принятой системы канализации, учитывающее местные условия и перспективы развития объекта канализования.*

С такими препятствиями, как реки, овраги, автомобильные и железные дороги, организуется пересечение коллекторов с помощью дюкеров, переходов, эстакад. Коллекторы прокладываются с уклоном по пониженной части рельефа, по тальвегам<sup>1</sup> рек и оврагов. Если необходим подъем сточных вод на более высокие отметки, устраивают канализационные насосные станции, перекачивающие воду по напорным водоводам.

В зависимости от назначения канализационные станции подразделяют на:

- а) местные – перекачивают сточные воды от одного или нескольких отдельных, неблагоприятно расположенных зданий или жилых кварталов;
- б) районные – перекачивают сточные воды от отдельных районов или бассейнов канализования;
- в) главные – перекачивают основную часть или весь объем сточных вод канализуемого объекта.

На схеме канализации города, имеющего промышленное предприятие ПП (см. рис. 1.11), из бассейна канализования 1, расположенного на пониженных отметках, невозможно отводить сточные воды в главный коллектор самотеком. Поэтому в самой нижней точке этого бассейна устроена районная насосная станция РНС, перекачивающая стоки по напорному трубопроводу в верхнюю часть (точка А) ближайшего самотечного главного коллектора. В данную схему канализации включена также главная насосная станция ГНС, перекачивающая все сточные воды на очистную станцию ОС.

Очистные станции выполняют функции очистки сточных вод и обработки осадка. Они состоят из комплекса очистных и вспомогательных сооружений,

<sup>1</sup> **Тальвег** (нем. Talweg, от Tal «долина» и Weg «дорога») — линия, соединяющая наиболее пониженные участки дна реки, долины, балки, оврага и др. вытянутых форм рельефа.

связанных между собой в единую технологическую систему инженерными коммуникациями. Состав очистных сооружений выбирается в зависимости от вида, характера и концентрации загрязнений, а также от требований к качеству очищенных стоков водам по местным условиям.

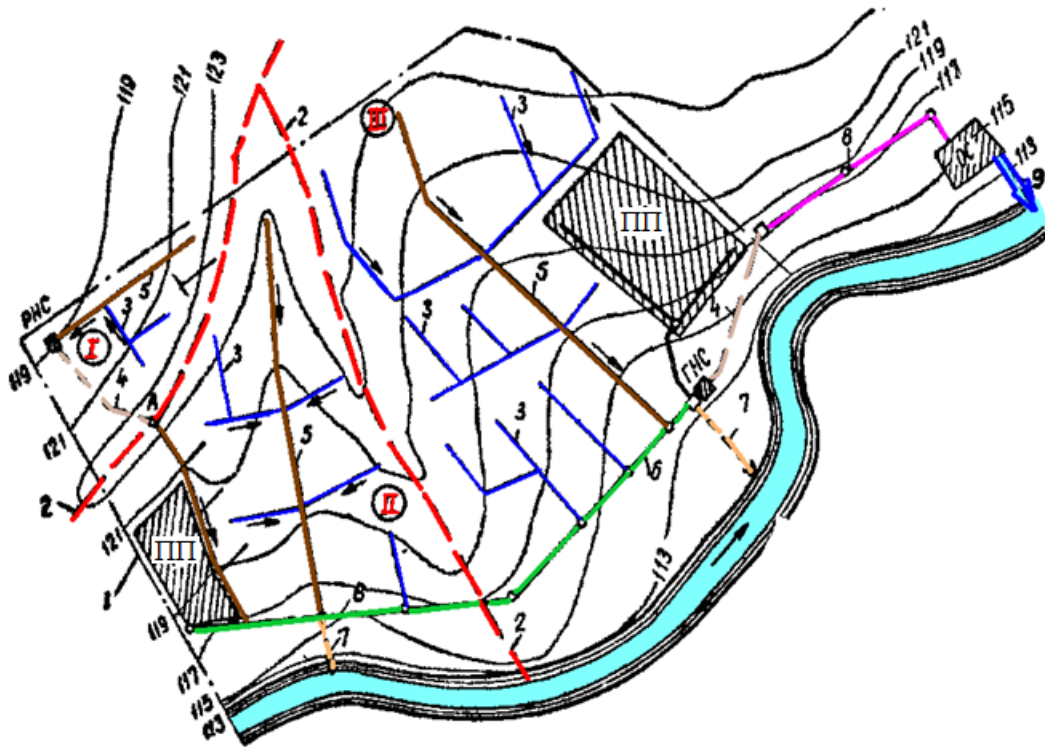


Рис. 1.11. Общая схема и основные сооружения канализации населенного пункта

I—III — бассейны канализования; 1—граница города; 2—границы бассейнов канализования; 3—уличная сеть; 4—напорные водоводы; 5 — коллекторы; 6—главный коллектор; 7 — аварийные выпуски; 8—загородный или отводной коллектор; 9—выпуск в водоем

### 1.6.2. Схемы канализации населенных пунктов и промышленных предприятий

Схемы канализационной сети городов, населенных пунктов или промышленных предприятий зависят от рельефа местности, грунтовых условий, места расположения очистных станций, концентрации и разновидностей загрязнений сточных вод, а также планировочных факторов и других условий (наземных и подземных препятствий и др.).

Поскольку местные условия очень разнообразны, затруднительно принимать типовые схемы канализационных сетей. На рис. 1.12 показана приближенная классификация схем.

В первоначальный период появления канализации, когда расход сточных вод был мал, а требования к их очистке не были строгими, коллекторы прокладывались по кратчайшему направлению перпендикулярно водоему, если это



позволял рельеф местности. Такую схему канализационной сети называли *перпендикулярной* (рис. 1.12, а). В настоящее время такая схема применяется на местности с выраженным уклоном в сторону водоема для отведения ливневых и условно чистых производственных стоков.

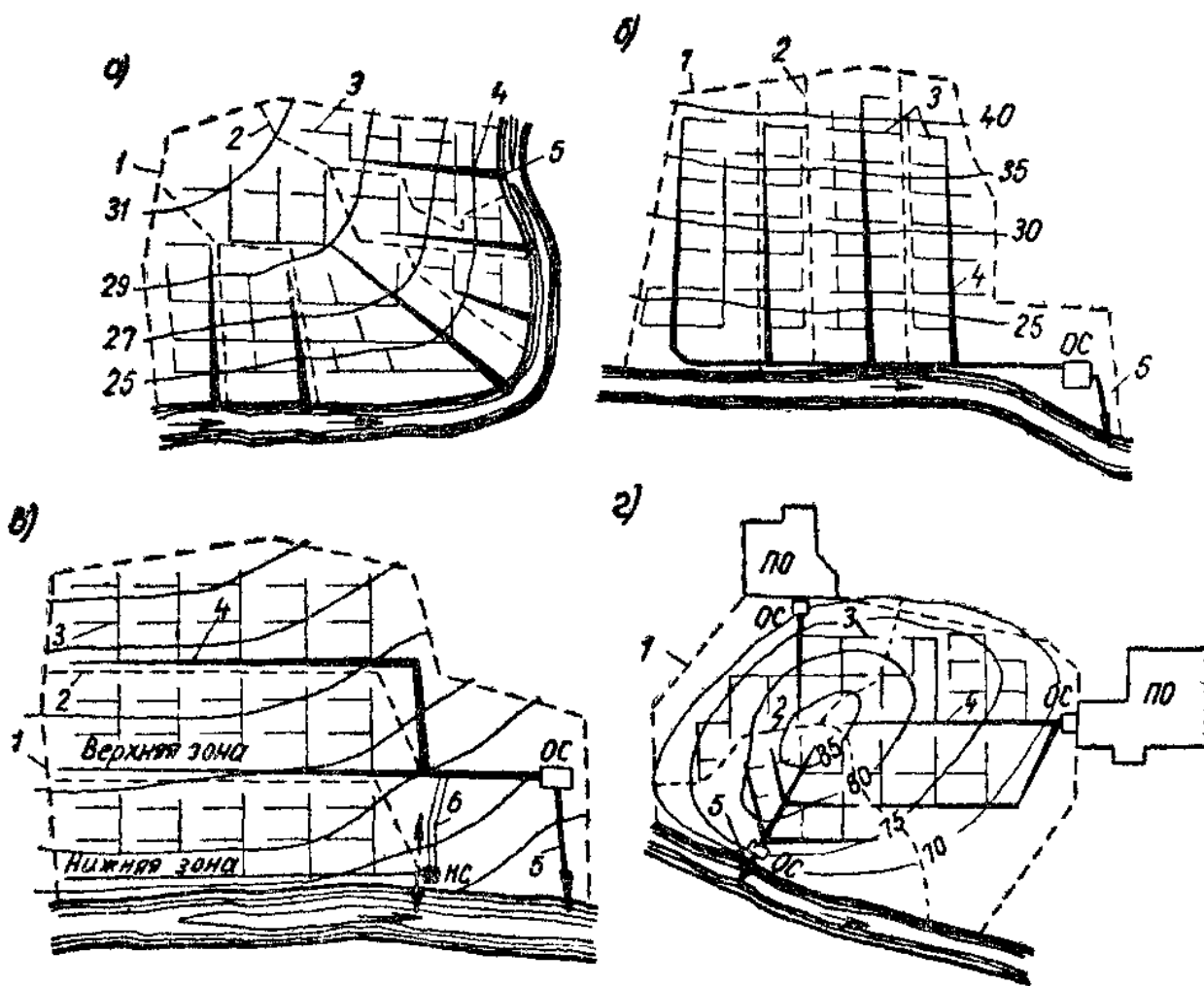


Рис. 1.12. Схемы канализации

1 — граница города, 2—границы бассейнов канализования; 3—уличная сеть; 4 — коллекторы; 5— выпуски, 6 — напорный водовод; ОС — очистные станции; НС — насосные станции; ПО — поля орошения

Для отведения всех категорий стоков при наличии хорошо выраженного уклона к реке применяют похожую схему, в которой коллекторы перпендикулярной схемы перехватываются главным коллектором, который прокладывается параллельно водотоку и отводит сточные воды на очистную станцию. Такая схема называется *пересеченной* (рис. 1.12, б).

Если территория состоит из нескольких отдельных террас, расположенных на разных высотных отметках, то каждая терраса канализуется самостоятельно. Такая схема называется *поясной* или *зонной* (рис. 1.12, в). Из верхних зон сточные воды самотеком поступают на очистную станцию, а из нижней зоны перекачиваются насосом.

Схема, показанная на рис. 1.12, г, называется радиальной или децентрализованной. Такая схема имеет несколько очистных станций.

Схемы канализации промышленных предприятий организуются аналогично схемам канализации населенных пунктов. Но из-за разнообразного состава производственных сточных вод и различной концентрации загрязнений бывает целесообразно устройство на промышленном предприятии нескольких самостоятельных канализационных сетей.

Схемы канализации городов и промышленных комплексов могут быть централизованными, децентрализованными и районными (региональными).

При централизованной схеме сточные воды всех бассейнов канализования направляются на единственную для всего города очистную станцию, которая располагается ниже города по течению реки.

Децентрализованные схемы канализационной сети применяют в крупных городах при наличии сильно пересеченного либо слишком плоского рельефа. В таких случаях районная канализация устраивается с самостоятельными очистными сооружениями.

Если район густо населен, и в нем имеются близко расположенные населенные пункты и предприятия, применяются районные (региональные) схемы канализации. В таких схемах устраивают только одну, очень мощную очистную станцию вместо множества маломощных очистных сооружений. Таким путем снижают капитальные и эксплуатационные затраты на очистку сточных вод, обеспечивают защиту открытых водоемов от загрязнений в густонаселенных районах и рациональное использование его водных ресурсов. На практике установлено, что эффективность совместной очистки смеси бытовых и производственных сточных вод, а также надежность контроля на крупных районных очистных станциях значительно выше, чем на отдельных мелких сооружениях.

### **1.6.3. Принципы выбора схемы канализации**

При разработке любой схемы канализации должны учитываться:

а) расходы сточных вод всех категорий и концентрация загрязнений в них как на первую очередь строительства, так и на расчетный срок развития объекта канализования;

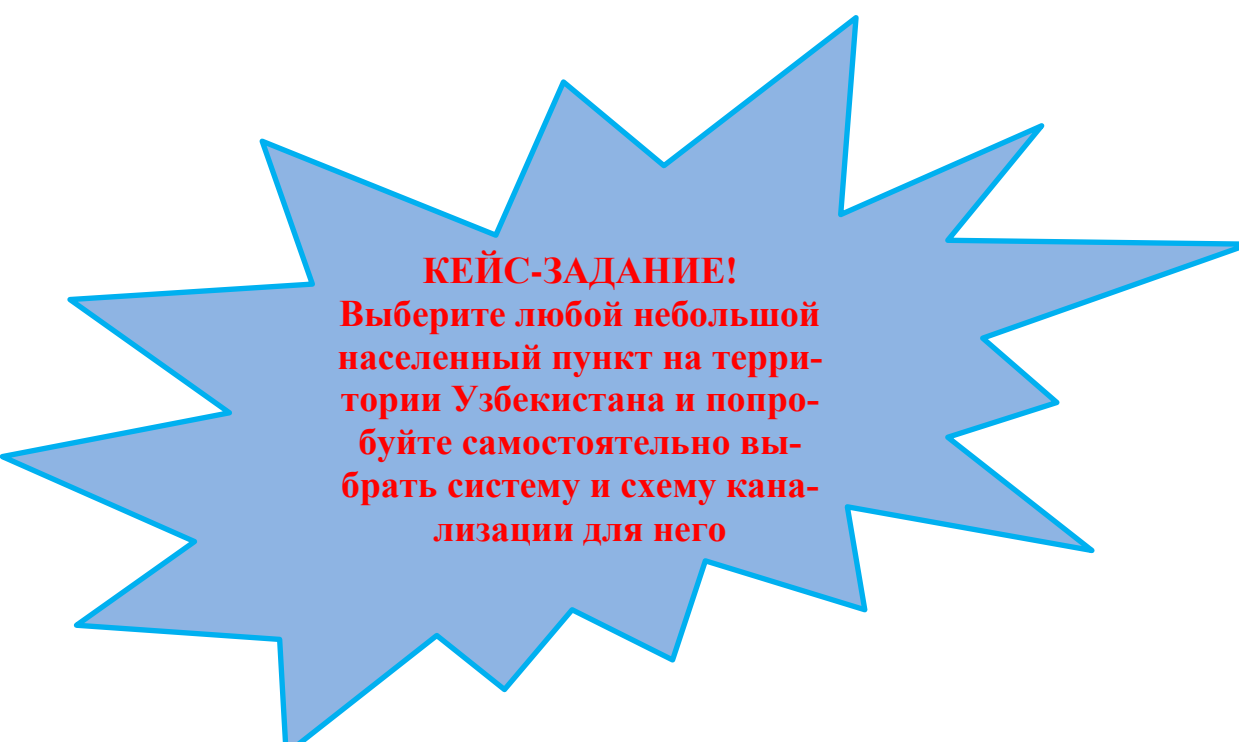
б) возможное уменьшение объемов и концентрации загрязненных промышленных стоков при условии внедрения рациональных технологий и организации замкнутых систем водопользования;

в) целесообразность извлечения и использования ценных компонентов, содержащихся в промышленных стоках;

г) возможность совместной очистки загрязненных бытовых и промышленных вод;

д) возможность полного или частичного объединения сетей для бытовых, производственных и атмосферных сточных вод;

е) ориентировочный прогноз изменения качества воды в источниках водоснабжения в результате сброса очищенных и атмосферных сточных вод от всех объектов, располагающихся выше по течению.



**КЕЙС-ЗАДАНИЕ!**  
**Выберите любой небольшой населенный пункт на территории Узбекистана и попробуйте самостоятельно выбрать систему и схему канализации для него**

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Что такое канализация? Объекты канализования.
2. Классификация сточных вод
3. Типы систем канализации.
4. Принципы выбора систем канализации.
5. Опишите возможности применения различных систем канализации
6. Основные сооружения канализации.
7. Опишите схему внутренней канализации
8. Наружная система канализации.
9. Что такое коллектор? Виды коллекторов.
10. Схемы канализации населенных пунктов и промышленных предприятий
11. Принципы выбора схемы канализации

## Глава 2. Расчет расходов коммунально-бытовых и производственных сточных вод

### 2.1. Факторы, определяющие объем и режим поступления сточных вод

При проектировании планировки населенных мест производится совместное решение архитектурно-строительных, инженерно-технических, санитарных и экономических задач с учетом очередей строительства и перспектив развития населенного пункта. Как правило, первая очередь строительства составляет 8–10 лет, а полное развитие – 20–25 лет. На первую очередь строительства предусматривается организация водоотведения территории жилой застройки с большой плотностью населения, а также застройки с крупными зданиями общественного, коммунального и лечебного назначения. При выборе схемы канализации учитывают и территорию промышленных предприятий.

Капиталовложения на строительство канализационных сетей определяются диаметром трубопроводов, который зависит от расчетных расходов, определяемых по количеству населения. Расчетное население определяют для каждой очереди строительства в соответствии с проектом планировки. Количество жителей, проживающих в конкретном районе города, зависит от типа и этажности зданий, от степени благоустройства жилой застройки. На предприятиях учитывают максимальное число работающих за смену.

### 2.2. Нормы водоотведения

Объем сбрасываемых сточных вод в расчете на человека в сутки, как правило, возрастает с увеличением размера населенного пункта вследствие различий в образе жизни и большого вклада других источников стокообразования. Объем сточных вод зависит от географического положения и уровня развития города, региона и страны.

*Подумайте, как может влиять на объемы сточных вод размер платы за потребление питьевой воды?*

Объем бытовых стоков во многих сельских районах не превышает 150 л/сут на 1 жителя в сухую погоду, а в небольших городах с несколькими десятками тысяч жителей он составляет около 200 л/сут. В крупных городах Европы и США, где значительный объем воды идет на мытье улиц, этот показатель превышает 300-400 л/сут на человека. Нередкие случаи, когда из-за плохого состояния трубопроводов с общесплавную сеть могут стекать чистые поверхностные воды или дренировать грунтовые воды (паразитная вода), что приводит к увеличению показателей стока. Это приводит к убыткам, поскольку расчет очистных сооружений основан на величине загрязняющей нагрузки, а также заданной гидравлической мощности.

Для определения размеров сооружений канализационной системы требуются значения расчетных расходов, которые вычисляются по величине удельного водоотведения.

*Удельное водоотведение городских бытовых вод* – это среднесуточный (в течение года) расход отводимых сточных вод (л/сут) на одного человека, пользующегося канализацией. Это значение принимается в зависимости от степени благоустройства жилой застройки зоны и местных условий.

Согласно строительным нормам КМК 02.04.03-97 «Канализация. Наружные сети и сооружения» расчетное удельное среднесуточное водоотведение бытовых сточных вод отзданий жилого назначения следует принимать равным удельному среднесуточному водопотреблению (по КМК 2.04.02-97 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»), исключая расход воды на полив территорий и зеленых насаждений. В табл. 2.1 и 2.2 приведены значения указанных норм для жилых и общественных зданий населенных пунктов.

Нормы водоотведения в мегаполисах могут отличаться от норм, указанных в данных таблицах. Например, для г. Ташкента нормы водоотведения установлены отдельно постановлением хокима (табл. 2.3).

Таблица 2.1

Удельные нормы водоотведения в населенных пунктах на 1 жителя

Степень благоустройства районов жилой застройки	Удельное водоотведение в населенных пунктах на 1 жителя среднесуточное (за год), л/сут. $q_1$
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией:	
с централизованным горячим водоснабжением	230 - 290
с ванными и местными водонагревателями	150 - 200
с домовым водоразбором без канализации	95 - 120
с уличным водоразбором	40 - 50

Таблица 2.2

Удельные нормы водоотведения в населенных пунктах для общественных зданий

Поселки города с населением, тыс. чел	Удельное водоотведение в общественных зданиях на 1 жителя среднесуточное (за год) л/сут, $q_2$
ПГТ и малые города (от 10 до 50)	40-50
Средние города (от 50 до 100)	50-55
Большие города (от 100 до 250)	55-60
Крупные города (от 250 до 500)	60-65
Крупнейшие города (свыше 500)	65-70

Табл. 2.3

## Нормы водопотребления и водоотведения для г. Ташкента

№	Степень благоустроенности	Норма расхода воды на 1 чел. (л/сут)	Норма сброса сточных вод на 1 чел. (л/сут)
1.	С забором из уличных колонок (кранов)	49	-
2.	С забором воды из дворовых колонок (кранов), с промывной уборной.	155	-
3.	С внутренним водопроводом, с раковиной, унитазом, ванной (баней) или душем с местными водонагревательными приборами.	277	-
4.	С внутренним водопроводом, с раковиной, унитазом, ванной (баней) или душем с местными водонагревательными приборами.	389	389
5.	Жилые дома и общежития секционного типа, с водопроводом, канализацией с централизованным горячим водоснабжением.	330	660
6.	В общежитиях (коридорная система) с водопроводом, канализацией с централизованным горячим водоснабжением.	171	342

Нормы водоотведения городских бытовых стоков не учитывают расходы, поступающие от курортных зон, санаториев и т.п. Эти расходы следует рассчитывать отдельно.

Для определения расхода бытовых сточных вод от промышленных предприятий нормы могут быть приняты по табл. 2.4.

Таблица 2.4.

Удельное водоотведение и коэффициент часовой неравномерности водоотведения бытовых вод от промышленных предприятий

Цеха	Удельное водоотведение, л/(чел·сут)	Коэффициент часовой неравномерности
Горячие (с тепловыделением более 80 кДж/чел·сут)	45	2,5
Холодные	25	3,0

На предприятиях отдельно учитываются расходы воды от пользования душем (продолжительностью 45 мин после смены), принимается 500 л/ч на одну душевую сетку. Число душевых сеток принимают в зависимости от санитарной характеристики производственного процесса и числа работающих в смену (пользующихся душем).

*Удельный расход производственных сточных вод* – это объем воды ( $m^3$ ), отводимый на единицу (кг,  $m^3$ , штуку) вырабатываемой продукции или перераба-

тываемого сырья. Значение удельного расхода производственных стоков зависит от вида выпускаемого товарного продукта и характеристик технологического процесса.

### 2.3. Учет неравномерности водоотведения. Графики водоотведения

Объем бытовых сточных вод колеблется в течение суток. В небольших поселках чаще отмечают два пиковых расхода сточных вод, в крупных населенных пунктах — только один.

Общественное развитие приводит к преобладанию последнего типа изменений расхода. Чем короче канализационная сеть и чем меньше населения подключено к ней, тем больше суточные колебания. Похожее действие может оказывать множество установленных в сети канализации промежуточных станций подъема сточных вод.

Помимо суточных колебаний все чаще отмечаются заметные недельные и даже сезонные вариации объема сточных вод, в том числе и в крупных городах. Эти вариации, прямо связанные с отпускными сезонами, отражают массовый отъезд горожан в места зимнего и летнего отдыха.

Колебания расхода учитываются коэффициентами неравномерности, позволяющими определять наибольшие возможные расходы, или *расчетные расходы*.

На практике для проектирования водоотводящих сооружений применяют суточный, часовой и общий коэффициенты неравномерности.

*Коэффициент суточной неравномерности* ( $K_1$ ) — это отношение максимального суточного расхода сточных вод к среднесуточному расходу за год.

$$K_1 = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{mid}}}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\max}$  и  $Q_{\text{mid}}$  — значения максимального и среднего суточного расходов за год.

С помощью коэффициента суточной неравномерности оценивают колебания притока только городских бытовых стоков. Значение этого коэффициента обычно равно 1,1–1,3.

*Коэффициент часовой неравномерности* ( $K_2$ ) — это отношение максимального часового расхода к среднесуточному расходу сточных вод в сутки с максимальным водоотведением.

$$K_2 = \frac{Q_{\max(m)}}{Q_{\text{mid}(m)}}, \quad (2.2)$$

где  $Q_{\max(m)}$  и  $Q_{\text{mid}(m)}$  — значения максимального и среднего часового расхода в сутки с максимальным водоотведением.

*Общий максимальный коэффициент неравномерности* ( $K_{\text{gen.max}}$ ) рассчитывают перемножением суточного и часового коэффициентов.

$$K_{\text{gen.max}} = K_1 \cdot K_2. \quad (2.3)$$

Его можно определить и по следующим формулам:

$$K_{\text{gen.max}} = \frac{24q_{\text{mid(m)}} \cdot q_{\text{max(m)}}}{24q_{\text{mid}} \cdot q_{\text{mid(m)}}}, \text{ или } K_{\text{gen.max}} = \frac{q_{\text{max(m)}}}{q_{\text{mid}}}, \quad (2.4)$$

где  $q_{\text{mid}}$  – среднечасовой расход в сутки со средним водоотведением, м<sup>3</sup>/сут.

Как видим, общий коэффициент неравномерности является отношением максимального часового расхода в сутки с максимальным водоотведением к среднечасовому расходу в сутки со средним водоотведением. Этот показатель широко применяется при определении расчетных расходов городских бытовых вод. Известно, что общий коэффициент неравномерности в большой степени зависит от среднего расхода сточных вод (табл. 2.5).

Для производственных сточных вод коэффициенты неравномерности могут принимать самые разнообразные значения в зависимости от характера производства и вида технологических процессов. Поэтому в процессе проектирования канализации коэффициенты неравномерности следует принимать по эксплуатационным данным для существующих аналогичных предприятий.

Табл. 2.5.

Значения общих коэффициентов неравномерности притока бытовых сточных вод от города (Согласно КМК 02.04.03-97)

Общий коэффициент неравномерности притока сточных вод	Средний расход сточных вод, л/с								
	5	10	20	50	100	300	500	1000	5000 и более
Максимальный $K_{\text{gen.max}}$	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6	1,55	1,5	1,47	1,44
Минимальный $K_{\text{gen.min}}$	0,38	0,45	0,5	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71

*Примечание: промежуточные значения определяются интерполяцией.*

Если промышленные предприятия размещаются в населенном пункте, расчетные расходы можно найти, просто просуммировав максимальные расходы сточных вод от всех объектов канализования.

Для установления истинного суммарного максимального расчетного расхода сточных вод необходимо отображать колебания расходов по часам суток, как для населенных пунктов, так и для производственных объектов.

Если приток сточных вод (в процентах) считать равномерным, то за каждый час суток он бы составил  $100/24 = 4,17 \%$ , на практике же такого явления не встречается. Удобнее всего распределение расхода стоков по часам суток изображать в виде ступенчатого графика (рис. 2.1). Наиболее точными эти графики получаются, если базой для их построения служат суммарные таблицы притоков сточных вод от населенных пунктов и производственных предприятий, причем для последних должно быть учтено распределение сточных вод по часам смены.



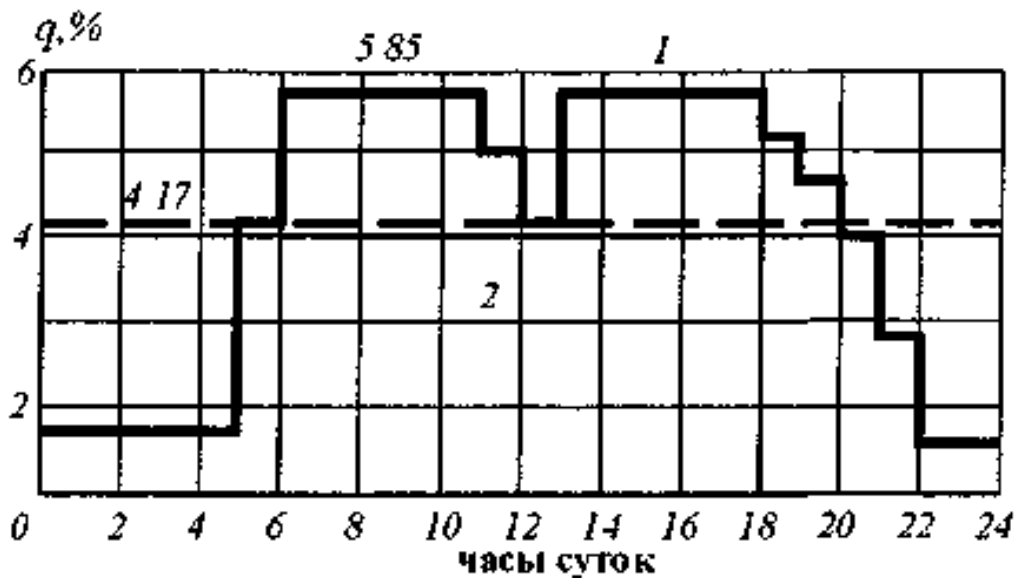


Рис. 2.1. Ступенчатый график притока сточных вод

При расположении на рассматриваемой территории районных насосных станций их режим работы также необходимо учитывать при построении такого графика.

При построении графиков для производственных предприятий необходимы технологические проектные данные или же эксплуатационные данные существующих аналогичных предприятий.

## 2.4. Расчетные расходы сточных вод

Расчетный расход сточных вод – это объем сточных вод, который должны быть способны пропускать канализационные сооружения в течение всего расчетного срока эксплуатации.

Для выполнения проекта канализации достаточно определять средний суточный расход, а также максимальные суточный, часовой и секундный расходы.

### 2.4.1. Расчетные расходы коммунально-бытовых стоков

Расходы бытовых сточных населенных пунктов определяются по формулам:

$$\text{средний суточный расход } Q_w = \frac{N \cdot q_n}{1000}; \quad (\text{м}^3/\text{сут}) \quad (2.5)$$

$$\text{максимальный суточный расход } Q_w^{\max} = \frac{N \cdot q_n \cdot K}{1000}; \quad (\text{м}^3/\text{сут}) \quad (2.6)$$

$$\text{средний часовой расход } Q_h = \frac{N \cdot q_n \cdot K}{24 \cdot 1000}; \quad (\text{м}^3/\text{ч}) \quad (2.7)$$

$$\text{максимальный часовой расход } Q_h^{\max} = q \cdot K; \quad (\text{м}^3/\text{ч}) \quad (2.8)$$

$$\text{средний секундный расход} \quad q_{\text{mid.s}} = \frac{q_n \cdot N}{86400}; \quad (\text{л/с}) \quad (2.9)$$

$$\text{максимальный секундный расход} \quad q_{\text{max.s}} = q_{\text{mid.s}} \cdot K, \quad (\text{л/с}) \quad (2.10)$$

где  $q_n$  – норма водоотведения на одного жителя, л/сут (см. табл. 2.1, 2.2, 2.3);

$N$  – расчетное число жителей;  $K$  – коэффициент общей неравномерности.

#### 2.4.2. Расчетные расходы стоков промышленных предприятий

Расчетные расходы производственных сточных вод определяют по формулам:

$$Q_{\text{mid}} = q_n \cdot M; \quad \text{м}^3/\text{сут} \quad (2.11)$$

$$Q_{\text{max.ct}} = q_n \cdot M_{\text{max}}; \quad \text{м}^3/\text{смена} \quad (2.12)$$

$$q_{\text{max.s}} = \frac{q_n \cdot M_{\text{max}} \cdot K_2}{t \cdot 3,6}; \quad \text{л/с} \quad (2.13)$$

где  $q_n$  – удельный расход сточных вод,  $\text{м}^3$ , на единицу производимого товара;

$M$  – количество производимой продукции в сутки, (т,  $\text{м}^3$ , штуки и т.д.);

$M_{\text{max}}$  – то же в смену с максимальной выработкой;

$t$  – продолжительность смены, ч.

Расчетные расходы бытовых сточных вод для промышленных предприятий определяют по смене с наибольшим числом работающих следующим образом:

$$Q_w = \frac{25N_1 + 45N_2}{1000}; \quad (2.14)$$

$$Q_h = \frac{25N_1 + 45N_2}{1000 \cdot 8}; \quad (2.15)$$

$$q_{\text{max}} = \frac{25N_3 \cdot K_2 + 45N_4 \cdot K_2}{T \cdot 3600}, \quad (2.16)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – число людей, работающих в сутки, при норме водоотведения 25 и 45 л на человека;  $N_3$  и  $N_4$  – число работающих в смену с максимальным числом работников, при норме водоотведения 25 и 45 л;  $K_2$  – коэффициент часовой неравномерности;  $T$  – продолжительность смены, ч.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Объясните понятия «расчетный срок действия канализации» и «расчетное население»
2. Коэффициенты неравномерности водоотведения
3. Закономерности поступления сточных вод. Приведите график и объясните его
4. Виды расчетных расходов сточных вод?
5. Как определяются расчетные расходы коммунально-бытовых стоков?
6. Какие виды расчетных расходов сточных вод определяются для промышленных предприятий?

## Глава 3. Проектирование наружных канализационных сетей

### 3.1. Проектирование канализационных сетей

Как правило, на практике встречаются две задачи: проектирование новых или реконструкция существующих систем канализации. Проектные решения должны соответствовать современным требованиям, быть ориентированными на внедрение индустриальных методов строительства, эффективных элементов и материалов. Принятые проектные решения определяют объем строительно-монтажных работ, технико-экономические показатели проектируемых сооружений.

Разработка проекта канализации осуществляется на основании проекта районной планировки либо планировки и застройки населенного пункта, а для канализации промышленного предприятия — генплана предприятия.

Проектирование канализационной сети осуществляется в следующем порядке:

- 1) территория города разбивается на бассейны канализования;
- 2) выбирается и согласовывается с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора и рыбного надзора площадка для строительства станции очистки и место выпуска очищенных стоков в водоток.

Очистную станцию следует размещать с учётом долговременных перспектив развития и роста населения и жилой застройки городов, чтобы в будущем очистные сооружения не оказались в селитебной зоне.

В процессе проектирования канализационной сети следует принимать минимальное ее заглубление и ориентироваться на самотечный режим движения бытовых и производственных стоков. Осуществляют первые этапы трассировки, определяют районы, требующие перекачки сточных вод, и выбирают места размещения насосных станций, после чего разрабатывают принципиальную схему городской канализации по бассейнам канализования.

Границы бассейнов канализования наносятся на план местности с высотными отметками. При наличии водоразделов границы бассейнов устанавливаются по ним, если рельеф местности плоский, то границы бассейнов устанавливают так, чтобы охватить самотечной сетью возможно большую территорию при обеспечении наиболее целесообразной глубины заложения главного коллектора. Определяют направление движения стоков по каждому бассейну канализования.

Перекачка сточных вод предусматривается только тогда, когда их самотечное транспортирование нецелесообразно из-за слишком глубокого заложения сети, неудовлетворительных условий грунта и пр., а также если невозможно подавать сточные воды на очистную станцию самотеком.

### 3.2. Трассировка канализационной сети.

**Трассировка – это вычерчивание канализационной сети в плане.**

Трассировка является ответственным этапом составления схемы канализации и во многом определяет стоимость канализации.

Трассу сети выбирают в зависимости от многих факторов:

- рельефа местности и вертикальной планировки;
- принятой системы канализации и количества канализационных сетей;
- перспектив развития и очередности строительства;
- условий грунта;
- характера застройки;
- ширины улиц и интенсивности движения по ним;
- насыщенности подземными сооружениями;
- места расположения производственных объектов.

При трассировке канализации нужно обеспечить поступление всего стока с высоких участков в более низкие по возможности самотеком и с минимальной протяженностью сети.

Применяемые схемы трассировки показаны на рис. 3.1.

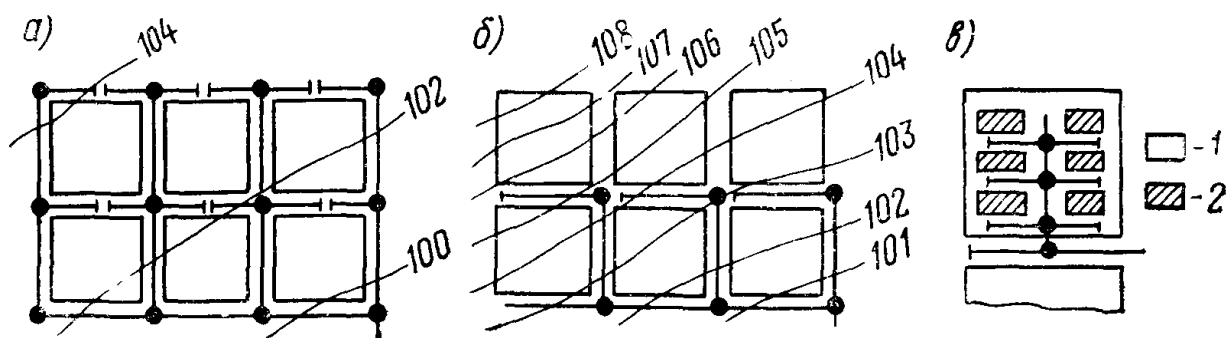


Рис. 3.1. Схемы трассировки уличных сетей:

*а* – объемлющая; *б* – по пониженной стороне квартала; *в* – черезквартальная;  
*1* – кварталы; *2* – дома

1. **Объемлющая трассировка** (рис. 3.1, а) — уличные сети проводятся вокруг квартала со всех его сторон. Такая схема применяется при плоском рельефе местности, а также для кварталов большой площади и слабо застроенных.

2. **Трассировка по пониженной стороне квартала** (рис. 3.1, б) — уличные сети проходят только с пониженных сторон канализуемых кварталов. Схема применяется для местностей с заметным снижением высоты.

**3. Чрезквартальная трассировка** (рис. 3.1, в) — уличные сети прокладывают внутри кварталов. Это позволяет заметно сократить длину сети, но затрудняет процесс эксплуатации.

При трассировке на схеме не указываются все колодцы, но должны быть нанесены расчетные точки, в которых изменяется расход стоков, уклон и диаметр труб.

Трассировка канализационной сети производится в следующем порядке:

- 1) прокладывают трассу главного и отводного коллекторов, подающих воду на очистные сооружения;
- 2) трассируют коллекторы бассейнов канализования;
- 3) наносят на схему уличную сеть.

Направление и количество главных и отводных коллекторов зависит от числа и расположения очистных сооружений и выпуска сточных вод.

Трассу главного коллектора проводят по тальвегам и набережным водотоков, с обеспечением возможности подсоединения различных боковых входов без лишнего заглубления главного коллектора. Если местность имеет плоский рельеф, трассировку коллектора выполняют по середине бассейна. Трассу крупных коллекторов целесообразно прокладывать по проездам с небольшим количеством подземных сетей и сооружений. Желательно не прокладывать длинные параллельные коллекторы с малым расходом стоков.

В жилой застройке трассы всех коллекторов должны проходить в зеленых или технических зонах проездов. Обычно для проекта канализации выполняют несколько возможных схем трассировки и при равных санитарно-технических показателях выбирают наилучший вариант по результатам технико-экономического анализа.

На стадии выполнения рабочих чертежей составляются планы канализационных сетей в масштабе 1:500, на которых указываются все смотровые колодцы с точным расстоянием от известных точек местности.

Канализационные линии следует трассировать прямолинейно. При необходимости выполнения поворота или присоединения их делают под углом, равным или большим  $90^\circ$ . В точках поворотов и присоединений, изменений уклона линии или диаметра трубопровода должны предусматриваться колодцы.

В настоящее время трассировка и начертание сети в плане выполняется с помощью программного обеспечения.

Наиболее часто применяются программы Renga, ZwCAD, ИнжКАД, позволяющие в значительной степени автоматизировать работу проектировщиков, автоматически генерировать всю необходимую документацию (планы, профили, таблицы, объем земляных работ). Для выполнения автоматизированного проектирования необходимо выполнить подготовку: сканировать, калибровать и склеить растровую подоснову; для прокладки трассы сети указать на подоснове все точки трассы, их отметки и характеристики, в том числе колодцы, камеры, углы поворота и т.д.; сформировать исходные данные (в программе ав-

томатически осуществляется поиск координат и отметок точек взаимных пересечений сетей); произвести взаимную вертикальную увязку инженерных сетей.

Каждая программы имеет свои достоинства. Инструмент программы Renga «Автоматическая трассировка» самостоятельно трассирует коллекторы и выполняет подключение к ним оборудования в соответствии с заданными инженером правилами. В режиме «Конструктор систем» проектировщик задает последовательность соединения объектов, а программа параллельно выполняет построение соответствующей трассы, на которую автоматически назначаются заданные проектировщиком типы труб и фитингов.

В программе ИнжКАД содержатся обширные базы по пересекаемым коммуникациям, сортаментам труб, спецификациям оборудования и др. При трассировке инженерных сетей программа определяют запретные зоны для прокладки проектируемой сети в соответствии с требованиями СНиП. Технология проектирования профиля в программе ИнжКАД позволяет:

- задать минимальную глубину заложения сети в точке строительства, сечения, точки сети;
- вычислить отметки трассы;
- откорректировать результаты расчета;
- оформить рабочие чертежи;
- нанести геологические скважины.

### **3.3. Расположение канализационных трубопроводов в поперечном профиле проездов**

Размещать канализационные сети в поперечном профиле улиц необходимо в соответствии с расположением других коммуникаций и сооружений во избежание аварий при строительстве и ремонте. Пример рационального расположения подземных коммуникаций на перекрестке показан на рис. 3.2.

Прокладка нескольких трубопроводов в одной траншее (рис. 3.3) позволяет уменьшить стоимость строительства сетей приблизительно на 3—7% по сравнению с раздельной прокладкой.

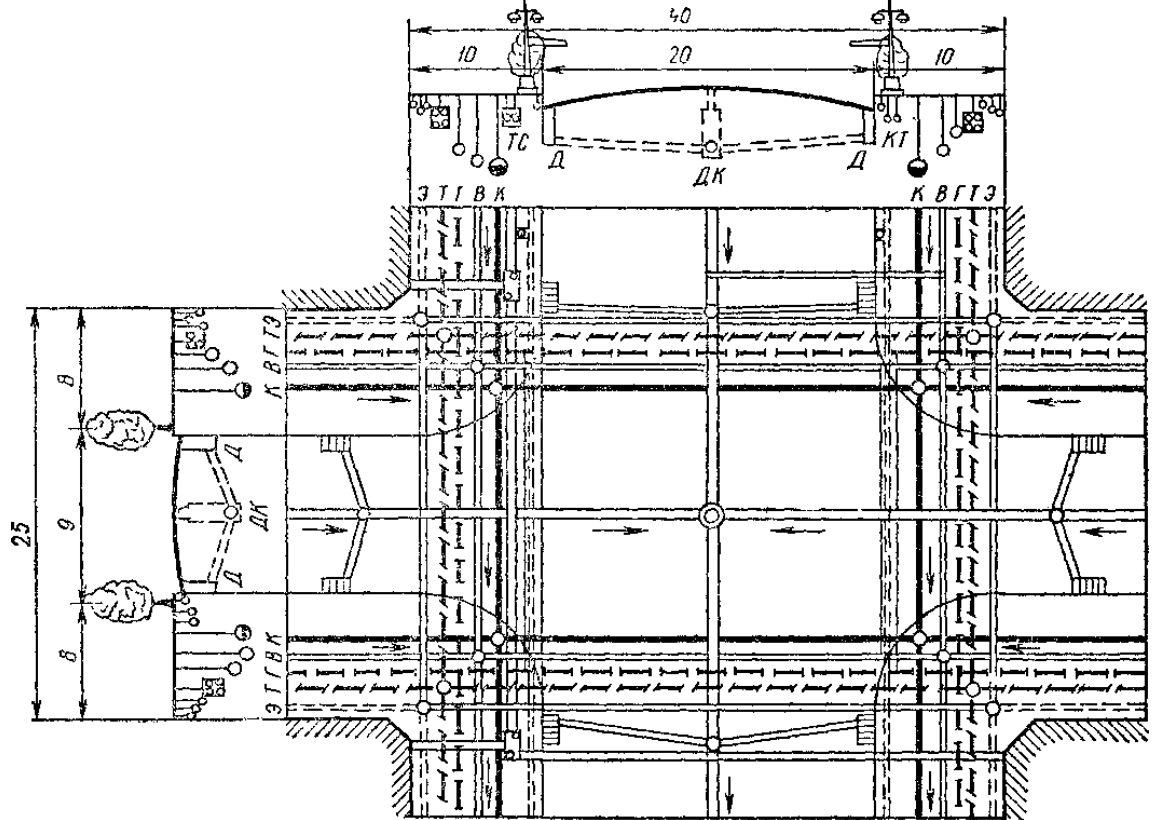
Относительно зданий и подземных сооружений канализационные сети располагают так, чтобы обеспечивалась возможность выполнения укладки и ремонта сетей, защита соседних коммуникаций при авариях, а также чтобы исключался подмыв фундаментов зданий и подземных сооружений при повреждениях канализационных трубопроводов и исключалось попадание стоков в водопроводные сети.

Расстояние в плане от напорных канализационных трубопроводов до обрезов фундаментов зданий, путепроводов, туннелей и сооружений должно быть не менее 5 м, а от безнапорных — не менее 3 м.

Расчетное расстояние определяется по формуле

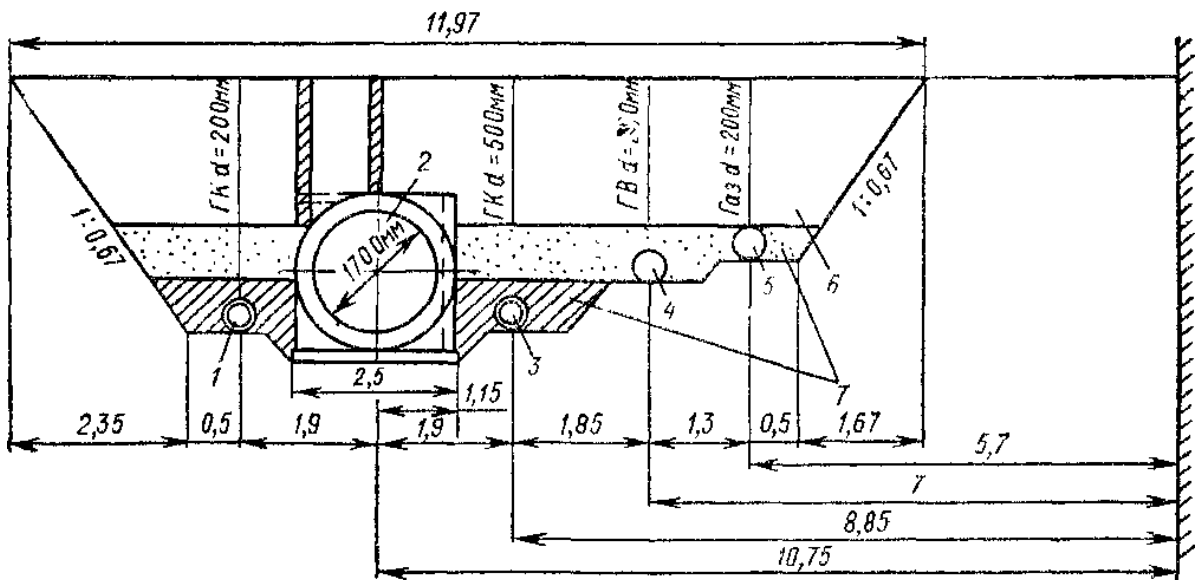
$$L = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{b}{2} + 0,5, \quad (3.1)$$

где  $h$ —расстояние между подошвой фундамента и лотком труб, м;  $\alpha$ —угол естественного откоса грунта, град;  $b$  — ширина траншеи, м.



**Рис. 3.2. Рациональное размещение подземных сетей**

Э — электросеть; Т — телефон, Г — газопровод; В — водопровод; К — канализация; Д — дождеприемники, ДК — дождевая канализация; ТС — тепловая сеть



**Рис. 3.3. Совместная прокладка подземных трубопроводов**

1 и 3 — бытовая канализация; 2 — дождевая канализация; 4 — водопровод; 5 — газопровод; 6 — местный грунт; 7 — местный грунт и привозной горный песок

Минимальное расстояние от канализационных сетей до подземных силовых кабелей должно быть 0,5 м; до кабелей связи—1 м; до теплопроводов—1—1,5 м; до опор и мачт наружного освещения, контактной сети и сети связи—1,5 м; до линий высоковольтных передач напряжением <35 кВ — 5 м, напряжением 35 кВ—10 м; до деревьев ценных пород — 2 м.

Расстояние в свету между наружными стенками трубопроводов и колодцев или камер должно быть не менее 0,15 м.

При прокладке канализационных труб параллельно газопроводам расстояние в плане между стенками трубопроводов по СНиП должно быть не менее: при газопроводах низкого давления до 5 кПа—1 м; среднего до 0,3 МПа—1,5 м; высокого 0,3—0,6 МПа—2 м, 0,6—1,2 МПа—5 м.

При параллельной прокладке канализационных труб на одном уровне с водопроводными расстояние между стенками трубопроводов должно быть не менее 1,5 м при водопроводных трубах диаметром до 200 мм и не менее 3 м при трубах большего диаметра. Если канализационные трубы укладываются на 0,5 м выше водопроводных, то расстояние (в плане) между стенками трубопроводов в водопроницаемых грунтах должно быть не менее 5 м.

Если канализационные сети прокладываются траншейным способом параллельно трамвайным и железнодорожным путям, расстояние в плане от бровки траншей до оси рельса внутризаводских и трамвайных путей должно быть не менее 1,5 м, до оси ближайшего железнодорожного пути — не менее 4 м (но во всех случаях не менее чем на глубину траншеи от подошвы насыпи), до бордюрного камня автомобильных дорог—не менее 1,5 или 1 м до бровки кювета либо подошвы насыпи.

Канализационные трубопроводы при пересечении с питьевым водопроводом должны укладываться ниже водопроводных труб, на расстояние между стенками труб по вертикали не менее 0,4 м. Это требование может не соблюдаться при укладке водопроводных линий из металлических труб в кожухах (футлярах). Длина защищенных участков в каждую сторону от места пересечения должна быть в глинистых грунтах не менее 3 м, а в фильтрующих грунтах — 10 м.

При насыщенном подземном хозяйстве под магистральными улицами в крупных городах или под проездами с насыщенным движением все инженерные сети, кроме газопроводов, следует прокладывать в железобетонных туннелях. Этот способ упрощает эксплуатацию и позволяет осуществлять ремонт коммуникаций, не вскрывая проезжую часть улиц.

### **3.4. Глубина заложения канализационных сетей**

Сроки строительства и расходы на устройство канализационной сети во многом определяются глубиной заложения канализационных труб. Поэтому очень важным вопросом является установление минимальной глубины, которая является целесообразной по техническим и экономическим условиям для



прокладки канализационной сети. Заглубление сети необходимо для предотвращения промерзания и механических повреждений, а также для обеспечения присоединения других трубопроводов и канализуемых объектов.

Замерзание воды в канализационной сети менее вероятно, чем в водопроводной, так как сточные воды имеют температуру не ниже 10—14° С. За счет этого вокруг трубопровода возникает пояс подогретого грунта.

Наименьшая глубина заложения труб принимается по опыту эксплуатации канализаций в данном районе. Уменьшить глубину заложения можно при выполнении утепления труб.

Если нет эксплуатационных данных для условий конкретной местности, то наименьшая глубина заложения  $H$  лотка труб принимается для труб диаметром до 500 мм—на 0,3 м, а для труб больших диаметров—на 0,5 м меньше максимальной глубины промерзания грунта в данном районе, но не меньше 0,7 м до верха трубы:

$$H = h_{\text{пром}} - (0,3 \dots 0,5) > (0,7 + d), \quad (3.2)$$

где  $h_{\text{пром}}$ — нормативная глубина промерзания грунта, принимаемая по СНиП для суглинистых грунтов, м (для супеси и песчаного грунта, нормативную глубину промерзания принимают с коэффициентом 1,2).

Начальную глубину заложения уличной сети  $H$  рассчитывают в зависимости от глубины заложения дворовой или внутриквартальной сети (рис. 3.4):

$$H = h + i(L + l) + Z_1 - Z_2 + \Delta, \quad (3.3)$$

где  $h$  — наименьшая глубина заложения сети в самом удаленном или невыгодно расположенном колодце, м;  $i$  — уклон дворовой или внутриквартальной линии;  $L+l$  — длина дворовой или внутриквартальной канализационной линии от смотрового колодца уличной сети до наиболее отдаленного дворового колодца, м;  $Z_1$  и  $Z_2$ —отметки поверхности земли у колодца уличной сети и у наиболее удаленного колодца дворовой или внутриквартальной сети, м;  $\Delta$  — разница в отметках между лотками дворовой линии и уличной сети, м.

Для предохранения сети от повреждений тяжелым автотранспортом минимальную глубину заложения уличной сети следует принимать не менее 1,5 м до верха трубы.

Максимальная допускаемая глубина заложения коллекторов определяется материалом труб, гидрологическими условиями местности, способом производства работ и экономическими условиями. Наибольшая глубина заложения самотечных коллекторов при производстве работ открытым способом не должна превышать 7–8 м для сухих грунтов, 5 м для водонасыщенных грунтов.

При обосновании технико-экономической целесообразности прокладка коллекторов больших диаметров (800 мм и более) производится и на больших глубинах тоннельным (щитовым) способом. Обоснованием могут послужить следующие условия:

- необходимость самотечного отвода сточных вод из далеко расположенных районов;
- необходимая глубина заложения превышает 7–8 м;
- тяжелые для открытых траншейных работ гидрогеологические и геологические условия;
- насыщенность территории подземными и наземными сооружениями, транспортными магистралями и др;
- стесненные условия для производства работ на поверхности.

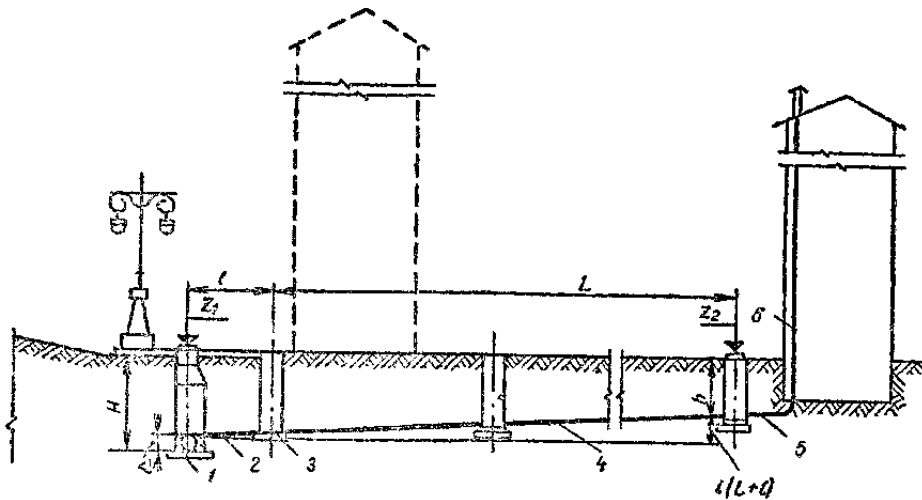


Рис. 3.4. Определение начальной глубины заложения уличной сети  
 1 — колодец уличной сети; 2 — соединительная ветка; 3 — контрольный колодец; 4 — дворовая сеть; 5 — выпуск; 6 — стояк

### 3.5. Определение расходов для расчетных участков сети

Канализационная сеть и коллекторы разбиваются на расчетные участки.

**Расчетным называется участок сети между двумя колодцами с неизменным расчетным расходом.**

Длина расчетного участка принимают равной длине квартала или участка сети от одного бокового присоединения до следующего.

Расчетный расход сточных вод для каждого расчетного участка сети определяют как сумму расходов:

- а) попутного, поступающего в расчетный участок от жилой застройки, расположенной по его длине (по пути);
- б) транзитного, поступающего от расположенных выше кварталов;
- в) бокового, поступающего от присоединяемых боковых линий;
- г) сосредоточенного, поступающего в расчетный участок от отдельных крупных водопотребителей (промышленных предприятий, бань, прачечных и т. п.).

Расчетный расход для расчетного участка сети можно определить по тяготеющим площадям и по удельному расходу на единицу длины трубопровода. Первый метод «площадей» широко применяется для расчета расходов по расчетным участкам сети.

Расход для каждого расчетного участка определяется как сумма расходов: попутного, поступающего в расчетный участок от расположенных вдоль него кварталов жилой застройки; транзитного, поступающего в верхнюю точку расчетного участка с вышележащего квартала; бокового от присоединения боковых линий и сосредоточенного от крупных отдельных нежилых объектов (промышленных предприятий, бассейнов и т. д.). Расчетный расход на отдельном участке сети определяется по формуле

$$Q_{\text{расч}} = [(q_{\text{поп}} + q_{\text{бок}}) + q_{\text{тр}}] \cdot K + q_{\text{соср}}, \quad (3.4)$$

где  $q_{\text{поп}}$  – попутный расход на участке от кварталов, примыкающих непосредственно к данному участку;

$q_{\text{бок}}$  – расход от боковых присоединений, проложенных в начальную точку участка;

$q_{\text{тр}}$  – транзитный расход, поступающий в расчетный участок с вышерасположенного участка;

$q_{\text{соср}}$  – сосредоточенный расход от промышленных предприятий или нежилого объекта.

При определении расхода сточных вод для данного расчетного участка сети попутный, транзитный и боковой среднесекундные расходы суммируются, умножаются на соответствующий коэффициент неравномерности, а затем к полученному результату прибавляется сосредоточенный расход.

Попутный расход является переменным, возрастающим от нуля в начале участка до максимума в конце участка; транзитный, боковой и сосредоточенный расходы, поступающие в начало участка, неизменны для всего расчетного участка. Для упрощения расчетов условно считают, что попутный расход от жилых кварталов поступает в начало участка; при определении его величины принимают, что он пропорционален площади квартала или канализуемой территории, тяготеющей к расчетному участку сети. Попутные расходы сточных вод от отдельных участков уличной канализационной сети определяют в зависимости от ее начертания.

Попутный расход получают умножением площади квартала  $\omega$  на удельный расход  $q_0$ :

$$q = \omega \cdot q_0 \quad (3.5)$$

Удельный расход ( $q_0$ , л/с·га), или модуль стока, определяется по формуле

$$q_0 = \frac{q_n P}{86400}, \quad (3.6)$$

где  $P$  – плотность населения на 1 га;

$q_n$  – норма водоотведения на одного человека, л/сут.

Модуль стока определяют для каждого района, отличающегося от другого плотностью населения и имеющего другую норму водоотведения.

Определение транзитных и боковых расходов сводится к определению попутных расходов лежащих выше линий.

### **3.6. Реконструкция и усиление канализационных сетей**

#### **3.6.1. Понятие и обоснование реконструкции и усиления**

Основные элементы систем водоотведения рассчитаны на длительный срок эксплуатации (20-25 лет), в течение которого исходные условия их работы постепенно меняются. Возникает несоответствие между фактическими условиями и запланированными возможностями, что оказывает негативное влияние на качество эксплуатации. Ужесточение экологических требований вызывает необходимость изменения степени очистки стоков, рост населения вызывает гидравлические перегрузки основных элементов канализационных сетей, нарушение их функционирования и т.д. Из-за изменения некоторых природных факторов возможно снижение надежности отдельных сооружений. Для улучшения таких эксплуатационных показателей, как экономичность и безопасность персонала, иногда можно с успехом применить изменение конструкции или технологической схемы сооружений. Такая мера называется *усилением*. Для проведения усиления требуется четкое обоснование, так как зачастую причины нарушения функций объектов кроются в элементарных ошибках при эксплуатации. Например, гидравлическая перегрузка водоводов может возникать из-за отсутствия правильного учета расходов воды и больших утечек в системе водоотведения (неконтролируемая инфильтрация грунтовых вод в безнапорные коллекторы). В таких случаях требуется не усиление системы, а улучшение процесса эксплуатации.

Иногда перед усилением производится капитальный ремонт (санация, восстановление пропускной способности трубопроводов). Проводятся обследования, в ходе которых устанавливается целесообразность дальнейшей эксплуатации того или иного элемента или его замены (реновации). Расчетными и другими методами определяют значения параметров (расход, качество очистки и др.), которых планируется достичь в результате усиления выбранного элемента. Обычно, усиление системы сочетает в себе такие методы как реконструкция и новое строительство.

В системе канализации все объекты связаны, и реконструкция одного из них оказывает влияние на другие. Поэтому ожидаемые результаты реконструкции должны быть заранее спрогнозированы и оптимизированы для получения максимально хорошего результата.

Нормальное функционирование канализационных сетей связано с установлением ограниченной степени заполнения самотечных трубопроводов, поскольку это необходимо для отвода образующихся газов. При этом также уменьшается возможность подпора, являющегося причиной инфильтрации воды и загрязнения почвы и грунтовых вод, а изредка даже изливания сточных вод на поверхность.

Отказы канализационных насосных станций (КНС) являются причиной аварийных сбросов воды в водные объекты, что недопустимо по экологиче-

ским требованиям. Причинами реконструкции канализационных систем являются постоянные или частые перегрузки канализационных сетей с возникновением подпоров и аварийных сбросов сточных вод. Это может быть связано с неконструктивностью сетей или с обоснованным (за счет роста населения) увеличением расхода сточных вод по сравнению с расчетным. Формирование поступающего в канализационную сеть стока невозможно регулировать. Фактические коэффициенты неравномерности часто отличаются от расчетных значений, что может стать причиной временных перегрузок системы. Неравномерная загрузка элементов системы канализации в течение суток является резервом, который нужно использовать для усиления системы. При оценке работы системы канализации требуется выявить коллекторы, насосные станции и др. элементы, работающие с постоянной сверхнормативной перегрузкой (лимитирующие работу сети) и недогруженные, являющиеся резервом, который подлежит использованию при усилении.

### **3.6.2. Методика решения задач по реконструкции**

При решении задач по реконструкции необходимо выяснять конкретные причины нарушения нормального функционирования данного объекта. Только после этого можно начинать искать приемлемые пути реконструкции объекта. Обычно применяется следующий алгоритм действий:

- 1) выявление элементов, для которых необходимые условия работы не соответствуют производственным возможностям (основой являются технологические расчеты);
- 2) анализ конкретных причин, из-за которых нарушено нормальное функционирование этих элементов;
- 3) разработка инженерных решений по устранению найденных причин;
- 4) прогноз влияния результатов реконструкции на работу остальных элементов системы (их нормальное функционирование не должно нарушаться вследствие реконструкции).

### **3.6.3. Усиление неконструктивных схем системы отведения воды**

В результате анализа эксплуатации канализационной системы выявляют участки сетей, требующие усиления, и незагруженные участки. Можно добиться определенного эффекта, если есть возможность присоединить крупных абонентов (жилые кварталы, производственные объекты) в других точках таким образом, чтобы разгрузить перегруженные линии за счет загрузки недогруженных. Если такую меру нельзя осуществить прокладкой самотечных трубопроводов, устанавливают насосную станцию (рис. 3.5). На этом рисунке показано, как разгружают перегруженный коллектор бассейна канализования № 1 за счет ликвидации существующего выпуска 5 абонента 3. При этом стоки перенаправляются в коллектор бассейна № 2 по вновь проложенному выпуску 6, для чего необходимо строительство насосной станции 4.

На рис. 3.6 показан участок водоотводящей сети. Территория разделяется железной дорогой на два бассейна канализования. Один из участков коллек-

тора первого бассейна канализования перегружен, но при этом из-за неконструктивности сети коллектор второго бассейна недогружен. Можно устранить перегрузку за счет переброски части стоков из коллектора первого бассейна в коллектор второго либо по самотечной либо по напорной линии (рис. 3.6). Выбор типа линии зависит от местных условий.

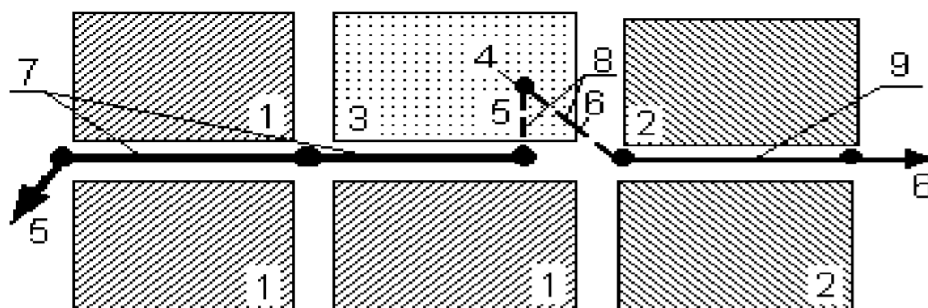


Рис. 3.5. Схема изменения места выпуска:

1 – кварталы бассейна канализования № 1; 2 – то же № 2; 3 – абоненты (производственное предприятие); 4 – КНС; 5 – существующий выпуск (ликвидируемый); 6 – новый выпуск; 7, 8 и 9 – перегруженная, напорная и недогруженная линии

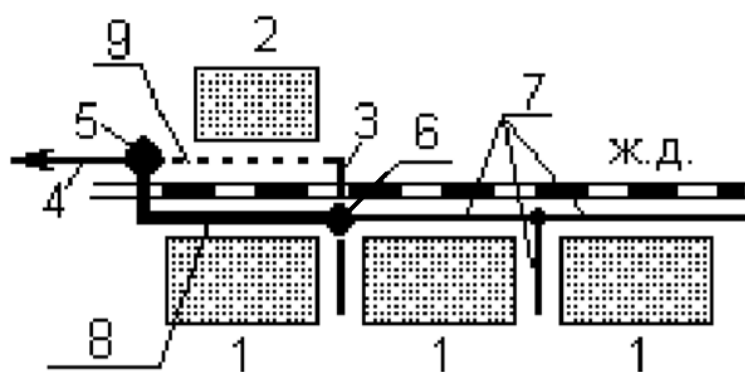


Рис. 3.6. Схема разгрузки участка коллектора:

1 – кварталы бассейна стока № 1; 2 – то же № 2; 3 и 4 – проектируемая и существующая напорные линии; 5 – ГНС; 6 – канализационная насосная станция; 7 – самотечный коллектор; 8 – перегруженный участок; 9 – недогруженный участок

Суточная неравномерность поступления сточных вод позволяет применять резервуары-регуляторы для разгрузки временно перегруженных трубопроводов. На рис. 3.7 показан вариант установки регулирующего узла, состоящего из резервуара и насосной станции. Стоки поступают в резервуар, а оттуда равномерно перекачиваются с расходом, допускаемым для коллектора, расположенного ниже. Если необходимо, резервуар можно отключать и подавать сточные воды непосредственно в нижерасположенный участок.

Применять регулирующие резервуары обычно выгоднее, чем строить дополнительные разгружающие коллекторы. Особенно это правило верно для городов со сложной и насыщенной системой подземных коммуникаций и сооружений, а также с интенсивным уличным движением. По некоторым оценкам,

для крупных городов разгрузка водоотводящих сетей с помощью регулирования расходов обходится в 25–50 раз дешевле, чем с помощью строительства дублирующих сетей.

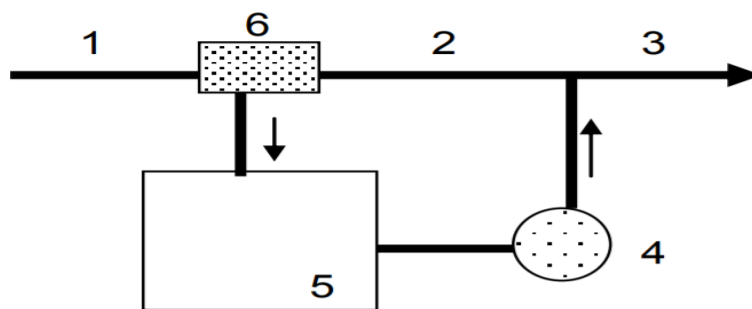


Рис. 3.7. Схема регулирующего узла:

1 – подводящий коллектор; 2 – отключаемый участок; 3 – разгруженный коллектор; 4 – канализационная насосная станция; 5 – регулирующий резервуар; 6 – камера переключения

Основная проблема эксплуатации регулирующих резервуаров заключается в накоплении взвеси. Для предотвращения этого явления в резервуары устанавливают различные перемешивающие устройства. Однако исключить осаждение взвеси с большой гидравлической крупностью практически невозможно, поэтому резервуары должны систематически очищаться. Из-за загнивания осадка и органики в резервуарах образуются газы (сероводород, метан, аммиак и др.) являющиеся токсичными, взрыво- и пожароопасными или дурнопахнущими. Поэтому в резервуары должна предусматриваться надежная система вентиляции с фильтрами-газопоглотителями. Учитывая все сказанное, применение резервуаров-регуляторов создает дополнительные трудности при эксплуатации водоотводящих сетей.

Гидравлические расчеты для проведения реконструкции канализационных сетей, производят по стандартным методикам, а выбор наиболее целесообразного варианта производится на основе технико-экономического сопоставления.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Этапы проектирования канализационных сетей.
2. Принципы проектирования канализационных сетей.
3. Что такое трассировка?
4. Принципы трассировки.
5. Принципы реконструкции канализационных сетей.
6. Размещение канализационных сетей в поперечном профиле улиц.
7. Определение глубины заложения канализационных сетей.
8. Что такое расчетные расходы и как они определяются?
9. Перечислите причины ухудшения работы систем водоотведения
10. Как осуществляется снижение нагрузки на канализационный коллектор?
11. При каких условиях возникает необходимость в проведении работ по реконструкции систем водоотведения?
12. Какие предварительные работы следует выполнить, прежде чем приступить к выработке стратегии реконструкции?

## Глава 4. Гидравлический расчет канализационных сетей

### 4.1. Формы поперечных сечений труб и их гидравлическая характеристика

При строительстве сетей канализации чаще всего применяются трубы круглого сечения, как лучше всего удовлетворяющие гидравлическим, технологическим, строительным и другим требованиям. Однако исторически в процессе развития канализации были разработаны и другие формы сечений канализационных труб и коллекторов (рис. 4.1). Все эти формы можно разделить на три группы: 1 – круглые, 2 – вытянутые (значение высоты больше, чем ширины) и 3 – сжатые (значение высоты меньше, чем ширины)

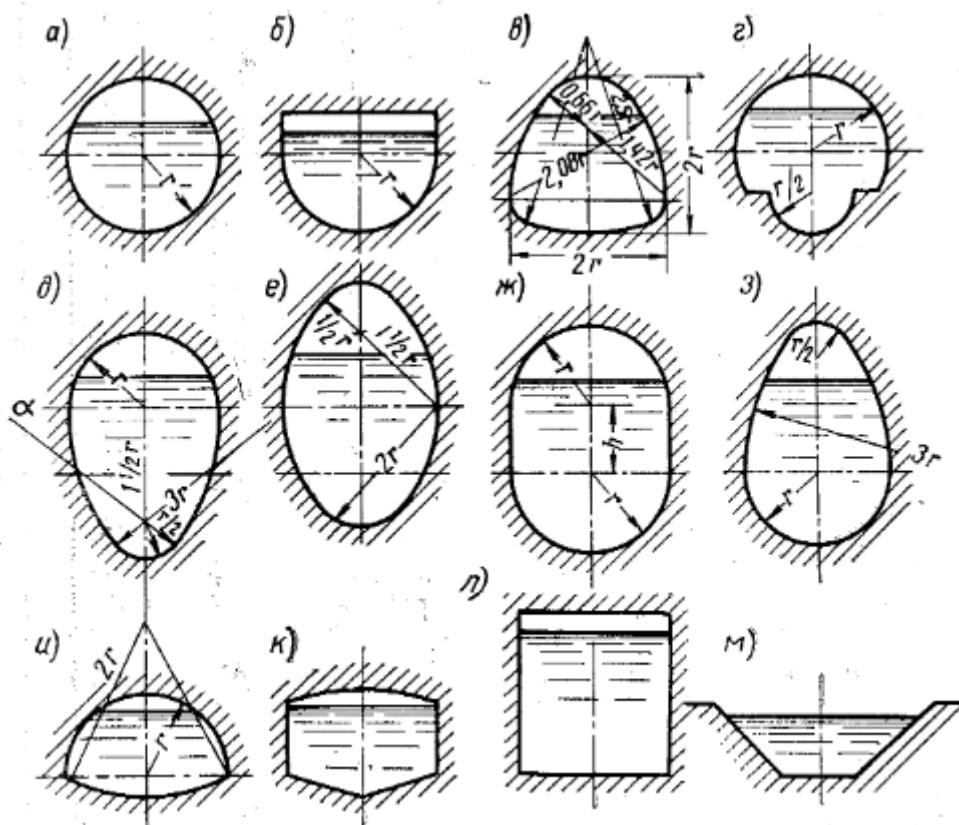


Рис. 4.1. Формы поперечного сечения водоотводящих труб, коллекторов и каналов:

*а* – круглое; *б* – полукруглое; *в* – шатровое; *г* – банкетное; *д* – овоидальное; *е* – эллиптическое; *ж* – полукруглое с прямыми вставками; *з* – яйцевидное перевернутое; *и* – лотковое; *к* – пятиугольное; *л* – прямоугольное; *м* – трапецидальное

Круглый трубопровод (рис. 4.1, *а*) обладает наиболее выгодной гидравлически формой, имеет большую пропускную способность и обеспечивает требования индустриализации строительства. Круглое сечение удобно для очистки от выпадающего осадка.

Сжатые формы сечений (рис. 4.1, *б, и, к*) предназначены для условий меньшего заглубления и применяются при малых колебаниях расхода стоков.

Коллекторы с вытянутой формой сечения (рис. 4.1, *в, д, е*) обеспечивают



наилучшее соотношение глубины и ширины потока воды при любой степени наполнения, поэто могут применяться при больших колебаниях расходов.

Также при значительных колебаниях расходов можно применять коллекторы банкетного сечения (рис. 4.1, з). Требованиям индустриального строительства оптимально отвечают трубы, которые имеют минимум элементов по периметру коллектора.

В загородной местности для отвода сточных вод применяются каналы незамкнутого сечения трапецеидальной или прямоугольной формы (рис. 4.1, л, м).

Выбор той или иной формы коллектора зависит от гидравлической характеристики, определяемой наибольшей пропускной способностью при заданном уклоне и площади живого сечения потока. Выполнение этого требования обеспечивают коллекторы с максимальным *гидравлическим радиусом*.

**Гидравлический радиус  $R$  представляет собой отношение площади живого сечения потока к смоченному периметру**

$$R = \omega / \chi$$

Для круглых труб значения гидравлического радиуса  $R$  при полном и половинном наполнении равны  $0,25d$ ; максимальное значение  $R = 0,304d$  достигается при наполнении  $h = 0,813d$ .

***Степень наполнения – это отношение высоты слоя жидкости в трубе к общей высоте (диаметру) трубы,  $h/d$  или  $h/H$ .***

Пропускная способность круглого коллектора максимальна при наполнении  $h = 0,95d$ , а затем уменьшается.

На рис. 4.2 показаны эпюры изменения скоростей  $v$  и расходов  $q$  в трубах круглого сечения в зависимости от степени наполнения (по оси абсцисс отложены значения скоростей и расходов, выраженные в долях от соответствующих значений скорости и расхода при полном наполнении). Наполнение  $h < 0,5d$  не принимают для расчетов, так как при этом заметно снижаются скорость потока и расход воды.

Для городских канализационных сетей рекомендуемая высота слоя воды в трубе составляет  $h = 0,5d \dots 0,8d$ . Для водостоков эта величина должна быть  $h = 0,95d \dots 1,0d$ .

Окончательный выбор сечения коллектора основывается на технико-экономическом сравнении различных вариантов при разработке технического проекта.

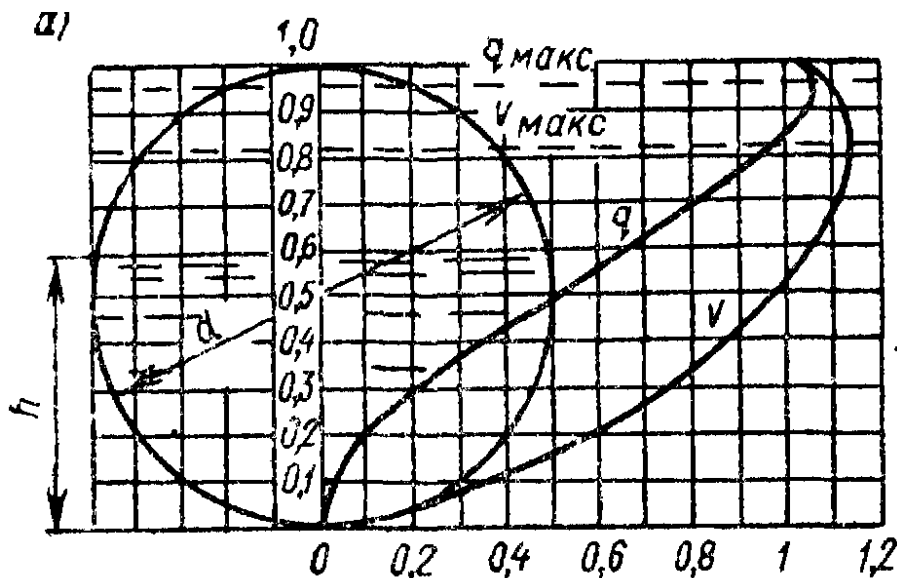


Рис. 4.2. Зависимость  $q$  и  $v$  от степени наполнения трубопровода  $h/d$

#### 4.2. Минимальные диаметры и степень наполнения труб

Диаметр канализационных трубопроводов, как уже говорилось, рассчитывается по величине расхода. В начальных участках внутриквартальных и уличных сетей расчетные расходы весьма малы, соответственно с этим расчетный диаметр трубопроводов тоже невелик. Однако по опыту эксплуатации было установлено, что в трубах малого диаметра часто возникают засорения. Небольшое увеличение диаметра труб (со 150 мм до 200 мм) позволяет вдвое уменьшить число случаев засорения при очень малой разнице в стоимости.

Для предупреждения частых засоров и обеспечения удобной прочистки приняты минимальные диаметры труб:

а) для бытовых канализационных сетей — внутриквартальной 150 мм, уличной 200 мм;

б) для дождевых и общесплавных канализационных сетей — внутриквартальной 200 мм, уличной 250 мм;

в) для напорных илопроводов — 150 мм.

Для малых населенных пунктов с малыми (менее 0,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут) расходами сточных вод разрешается прокладка уличных сетей из труб диаметром 150 мм. Такие же трубы допускается применять для производственной канализации.

Для самотечных трубопроводов нормируют также и степень наполнения. Наполнение, при котором обеспечивается пропуск расчетного расхода, называется расчетным. Это значение наполнения принимается на расчетный срок действия канализации.

Для общесплавной и дождевой канализационных сетей принимается полное наполнение при максимальных значениях интенсивности осадков.

Для бытовой и производственной канализационных сетей наполнение должно быть частичным, чтобы компенсировать увеличение пропускаемого расхода вследствие неравномерности поступления стоков и обеспечить вентиляцию канализационных сетей (табл. 4.1),

Таблица 4.1.

Расчетное наполнение h/d в трубах круглого сечения

Канализационная сеть	Значение h/d при диаметре, мм			
	150—300	350—450	500-900	свыше 900
Бытовая и производственно-бытовая	0,6	0,7	0,75	0,8
Производственная загрязненных вод	0,7	0,8	0,85	1
Общесплавная, дождевая и производственная незагрязненных вод	1	1	1	1

### 4.3. Расчетные скорости движения сточных вод и минимальные уклоны

Величина скорости течения жидкости определяется уклоном и гидравлическим радиусом (прямопропорциональная зависимость). Среднюю скорость течения рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{q}{\omega}, \quad (4.1)$$

где  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с,  
 $\omega$  – площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>.

Реальные скорости течения в различных зонах поперечного сечения потока не равны средней скорости потока (рис. 4.3): максимальные значения наблюдаются в ядре сечения, минимальные – у стенок и дна. Этим объясняется выпадение осадка в коллекторах, имеющих достаточную среднюю скорость течения. Чем больше диаметр коллектора, тем большей транспортирующей способностью он должен обладать, то есть придонные скорости должны быть большими.

Однако точно определить придонные скорости очень сложно, поэтому при проектировании канализационных сетей ориентируются на расчетную скорость течения

Расчетную скорость назначают в пределах между максимальной и минимальной скоростями.

Максимальная расчетная скорость представляет собой наибольшее значение скорости, при котором не снижается механическая прочность трубопроводов за счет истирания. Для металлических труб это значение не должно превышать 8 м/с, для неметаллических 4 м/с. Для дождевых канализационных сетей эти значения равны соответственно 10 и 7 м/с.

Минимальная расчетная скорость иначе называется критической или самоочищающей. Это минимальная скорость течения, ещё обеспечивающая пе-

ремещение примесей в трубопроводах. Значения минимальной расчетной скорости принимается в зависимости от крупности частиц загрязнений, от гидравлического радиуса или степени наполнения. Ориентировочные значения минимальных скоростей для бытовой и дождевой канализации приведены в табл. 4.2.

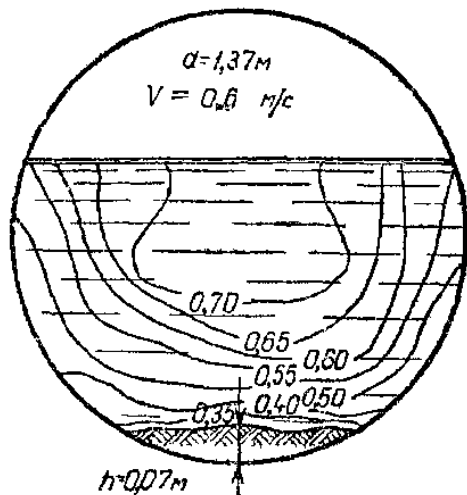


Рис. 4.3. Эпюра распределения скоростей течения жидкости в коллекторе круглого сечения

**Расчетной** называется скорость течения, обеспечивающая максимальный расчетный расход при расчетном наполнении.

табл. 4.2.

Минимальные расчетные скорости течения при расчетном наполнении

Диаметр труб, мм	150— 200	300— 400	450— 500	600— 800	900— 1200	1300— 1500	Свыше 1500
Скорость течения, м/с	0,7	0,8	0,9	1	1,15	1,3	1,5

Для сточных вод, подвергшихся осветлению или биологической очистке, допускается принимать минимальную скорость равной 0,4 м/с. Для производственных стоков значения минимальных скоростей принимаются в зависимости от характера загрязнений по отраслевым нормам.

Значение минимальной скорости можно определить по формуле проф. Н. Ф. Федорова:

$$V_{\min} = 1,57^n \sqrt{R} \quad (4.2)$$

где  $n$  – показатель степени, равный  $n = 3,5 + 0,5R$ .

Самоочищающая скорость обеспечивается за счет минимальных уклонов, значения которых принимаются по строительным нормам в зависимости от диаметра труб: для диаметра 150 мм уклон 0,008; для диаметра 200 мм уклон 0,005. В зависимости от конкретных условий местности для некоторых участков сети допускается уменьшить эти значения соответственно до 0,007 и 0,004.

Точный расчет минимальных уклонов достаточно сложен, поэтому на практике используют простую эмпирическую формулу:

$$i_{\min} = 1/d \quad (4.3)$$

где  $d$  — диаметр трубы, мм.

Начальные участки канализационных сетей, имеющие диаметры 150 и 200 мм, обычно имеют очень незначительные расходы и степень их наполнения меньше допустимой. Эти участки называются «безрасчетными», для них не рассчитывается скорость потока, значения уклонов принимаются не меньше минимальных.

#### 4.4. Режим течения сточных вод в наружной канализационной сети

Перемещающиеся по канализационной сети сточные воды представляют собой полидисперсную систему, содержащую множество нерастворимых примесей.

Масса таких примесей, присутствующих в бытовой канализации, приближенно равна 0,065 кг/чел·сут. Если в канализационную сеть сбрасываются измельченные бытовые отбросы, этот показатель увеличивается до 0,1 кг/чел·сут. При низкой скорости течения примеси могут выпадать в осадок внутри трубопроводов, уменьшая их пропускную способность, приводя к засорам и даже полной закупорке труб.

Для предотвращения таких негативных явлений необходимо знать:

- а) режим движения сточных вод;
- б) величину самоочищающих (критических) скоростей;
- в) способность потока транспортировать примеси.

Известно, что по канализационным трубопроводам хорошо транспортируются органические примеси, а нерастворимые минеральные примеси (например, песок) могут выпадать в осадок.

Состав выпадающего в канализационных трубопроводах осадка: 3...8 объемных % органических веществ (крупность более 1 мм) и 92...97% неорганических веществ со средней крупностью 1 мм. Наибольшую часть осадка составляет песок (70...90 %). Уплотненный осадок бытовой канализации имеет плотность 1600 кг/м<sup>3</sup>, а неуплотненный — 1400 кг/м<sup>3</sup>.

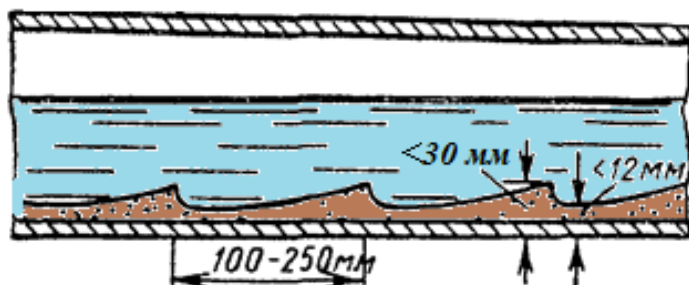


Рис. 4.4. Схема непрерывного перемещения осадка в канализационной сети

Все эксплуатируемые канализационные коллекторы и трубопроводы можно условно разделить на 3 группы в зависимости от состояния потока:

1) обеспечивающие требуемую скорость – осадок никогда не выпадает и коллекторы не нуждаются в прочистке;

2) те, в которых песок перемещается волнообразно (рис. 4.4) – такие коллекторы тоже не нужно чистить;

3) имеющие малый гидравлический уклон и имеющие слабую транспортирующую способность – наблюдается массивованное выпадение осадка. Осадок образует в трубах новое ложе с высокой шероховатостью, вызывая рост гидравлического сопротивления. Движение жидкости в таких трубах происходит так же, как в каналах с земляным руслом. Такие коллекторы могут эксплуатироваться только при регулярной прочистке.

Потери напора  $h_{тр}$  в процессе движения сточной воды по трубам можно определять по уравнению:

$$h_{mp} = bV^m, \quad (4.4)$$

где  $b$ — коэффициент, учитывающий размеры трубопровода, шероховатость поверхности и тип жидкости;  $m$ — показатель степени, зависящий от режима движения жидкости; для ламинарного движения  $m=1$ , для турбулентного  $m= 1,75... 2$ .

Для характеристики режима движения потока используют число Рейнольдса  $Re$ , которое можно определить по формуле:

$$Re = Vd/\nu = V \cdot 4R/\nu \quad (4.5)$$

где  $V$  – средняя скорость потока, м/с;  $d$  — диаметр трубы, м;  $\nu$ — кинематический коэффициент вязкости жидкости, л/с.

Движение жидкости считается ламинарным при  $Re < 2320$  и турбулентным при  $Re > 2320$ .

В канализационных сетях жидкость движется в турбулентном режиме, однако возле стенки трубопровода возникает неизмеримо тонкий слой воды  $\delta_l$ , характеризующийся ламинарным движением.

При относительно малых значениях  $Re$  высота слоя  $\delta_l$  превышает высоту шероховатостей стенки  $\Delta z$ . Это обеспечивает гидравлическую гладкость трубы (без дополнительного сопротивления). С ростом скорости течения значение  $\delta_l$  уменьшается и больше не сглаживает выступы, сопротивление движению растет, труба становится гидравлически шероховатой. Кроме гладкой и шероховатой зон трубы могут работать в переходной между ними зоне.

Поток жидкости характеризуется рядом гидравлических характеристик: расходом  $Q$ , средней скоростью потока  $V$ , площадью живого сечения  $\omega$ , гидравлическим радиусом  $R$ , гидравлическим уклоном  $I$ , коэффициентом шероховатости стенок трубопроводов  $n$ .

На отдельных участках канализационной сети сточные воды могут двигаться равномерно и неравномерно.

Равномерное движение характеризуется постоянством средней скорости потока по длине русла. Равномерным движение может быть только, если:

1) расход ( $q=\text{const}$ ), площадь живого сечения ( $\omega =\text{const}$ ), гидравлический уклон ( $I=\text{const}$ ) неизменны;

2) шероховатость смоченной поверхности русла однотипна по всей длине и периметру поперечного сечения;

3) отсутствуют местные сопротивления (повороты, сужения и расширения, боковые вводы и т.д.).

Если движение жидкости неравномерно, то определение его характеристик дополнительно осложняется изменяющимся по часам суток поступлением сточных вод. Преимущественно движение сточных вод в трубопроводах является не только неравномерным, но и неустановившимся. Особенно сильно проявляется неустановившийся режим в коллекторах малого диаметра. В больших коллекторах боковые присоединения с малыми расходами стоков практически не влияют на режим потока.

Поскольку рассчитывать канализационную сеть по формулам неравномерного движения очень сложно, гидравлический расчет производят по универсальным формулам равномерного движения.

## **4.5. Гидравлический расчет самотечных трубопроводов**

### **4.5.1. Задачи гидравлического расчета**

Для начала гидравлического расчета принимают диктующие точки – начальные, низкорасположенные и наиболее удаленные точки сети.

Гидравлический расчет канализационных труб бывает необходимо проводить не только в процессе проектирования канализационных сетей, но и на этапах строительства и эксплуатации. Основные задачи гидравлического расчета канализации для условий равномерного установившегося движения сточных вод:

а) значения диаметра, уклонов и наполнения труб заданы; определяется пропускная способность (расход) и скорость потока;

б) значения диаметра, наполнения труб, скорости потока заданы; определяются расход и уклон труб;

в) по заданому расходу определяют значения диаметра и уклона труб при скорости течения и наполнении, выбранных в соответствии с требованиями КМК. Данный вид расчета очень распространен в практике проектирования, но для его применения необходимо сопоставление стоимости труб и работ по их прокладке, так как уменьшение диаметра влечет за собой увеличение объема земляных работ (при малых диаметрах для сохранения пропускной способности требуется увеличение скорости, а значит, и уклона труб).

### **4.5.2. Порядок гидравлического расчета канализационных трубопроводов**

Обычно в гидравлическом расчете в первую очередь определяют расход, который служит исходным параметром для определения остальных показателей.

При расчете принимают ряд допущений:

- 1) расход ( $q$ ) и площадь живого сечения ( $w$ ) неизменны на всей протяженности расчетного участка;
- 2) значение гидравлического уклона на расчетном участке при самотечном равномерном движении неизменно и равно уклону трубы ( $I=i = \text{const}$ );
- 3) шероховатость однотипна по длине и поперечному сечению трубы;
- 4) местных сопротивлений на участке нет.

Гидравлический расчет самотечных трубопроводов, лотков и каналов производится по следующим формулам:

1. Формула неразрывности потока (постоянства расхода)

$$q = w \cdot v, \quad (4.6)$$

где:  $w$  – площадь живого сечения потока,  $\text{м}^2$

$v$  – средняя скорость движения потока (по живому сечению),  $\text{м/с}$

2. Скорость определяется по формуле Шези для равномерного турбулентного движения

$$v = C \times \sqrt{R \times I}, \quad \text{м/с} \quad (4.7)$$

где  $C$  – коэффициент сопротивления трению по длине (коэффициент Шези),  $\text{м}^{0.5} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $R$  – гидравлический радиус,  $\text{м}$

$$R = w/\chi \quad (4.8)$$

Т.к. при равномерном движении воды  $I = i$ , то

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad \text{м/с} \quad (4.9)$$

3. Коэффициент Шези определяется по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{R^y}{n} \quad (4.10)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости  $n = 0,012 \div 0,015$ , зависит от материала труб;  $y$  – показатель степени

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1) \quad (4.11)$$

Формула Н.Н. Павловского может применяться в условиях турбулентного равномерного движения при скоростях более  $1,5 \text{ м/с}$ , когда исключена зависимость от числа Рейнольдса.

4. Гидравлический уклон ( $I=i$ ) самотечных труб и каналов определяется по формуле Дарси:

$$i = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.12)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трению по длине (коэффициент Дарси), безразмерная величина.

5. Между коэффициентами сопротивления трению  $C$  и  $\lambda$  существует зависимость:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{8g}{C^2} \quad (4.13)$$

На основе приведенных формул составлен ряд таблиц, упрощающих гидравлический расчет водоотводящих сетей (таблицы А.А. Лукиных и Н.А. Лукиных, Н.Ф. Федорова). Таблицы можно применять при расчете труб и коллекторов из



керамики, асбестоцемента и железобетона. Трубопроводы из полимерных материалов рассчитывают в соответствии с требованиями строительных норм

#### 6. Потери напора в трубопроводах

При движении жидкости энергия затрачивается на преодоление трения о стенки (потери по длине) и на преодоление местных сопротивлений (повороты, сужения и расширения и т.д.):

$$H = h_{mp} + \Sigma h_m \quad (4.15)$$

$h_{mp}$  - потери напора на трение при движении сточных вод в условиях шероховатой зоны определяют по формуле

$$h_{тр} = IL = L \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.16)$$

$L$  – длина трубопровода;  $\lambda$  – коэффициент трения трубопровода, зависящий от шероховатости стенок трубопровода и числа Рейнольдса.

Коэффициент  $\lambda$  можно определять по номограмме (рис. 4.5), для использования которой необходимо знать величину  $d/K_s$  – отношение гидравлического диаметра трубы к значению эквивалентной шероховатости (табл. 4.3).

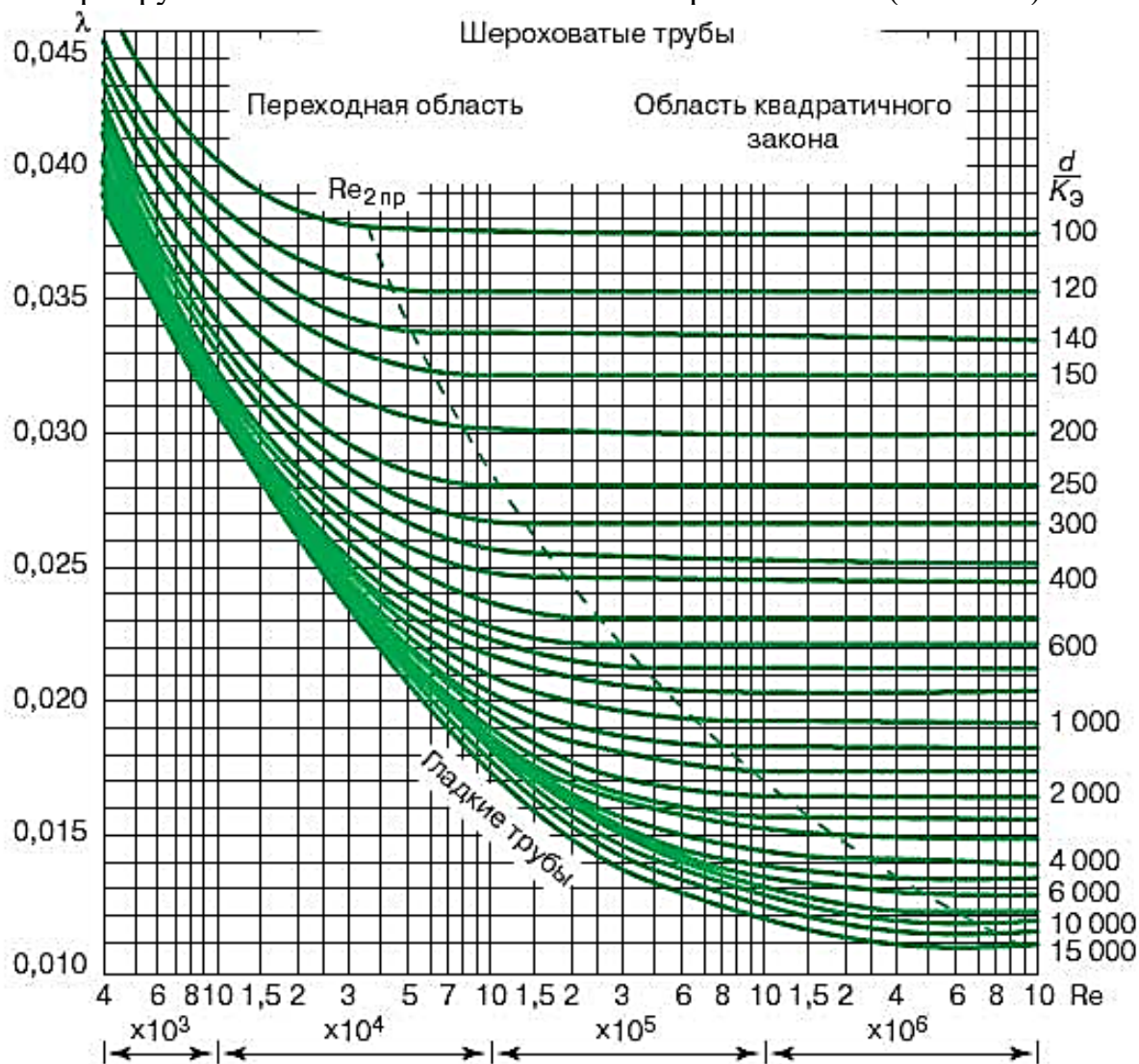


Рис. 4.5. Номограмма для определения коэффициента трения трубопровода

Средние значения эквивалентной шероховатости

Материал и вид трубы	Состояние трубы	$K_s$ , мм
Тянутые трубы из стекла и цветных металлов	Новые, технически гладкие	0,005
	Старые (загрязнённые)	0,015
Бесшовные стальные трубы	Новые и чистые, тщательно уложенные	0,03
	После нескольких лет эксплуатации	0,20
Стальные трубы сварные	Новые и чистые	0,05
	С незначительной коррозией после очистки	0,15
	Умеренно заржавленные	0,50
	Старые заржавленные	1,0
	Сильно заржавленные или с большими отложениями	3,0
Оцинкованные стальные трубы	Новые и чистые,	0,15
	После нескольких лет эксплуатации	0,50
Чугунные трубы	Новые	0,30
	Бывшие в употреблении	1,0

Значение местных сопротивлений для приближенных расчетов длинных трубопроводов можно принимать равными 10—15% потерь на трение  $h_{тр}$ . Тогда полные потери напора можно определить по формуле:

$$H = (1,1 \dots 1,15) h_{тр} \quad (4.17)$$

При гидравлическом расчете дождевой сети главной задачей является определение диаметров труб, ориентированных на пропускание расчетного расхода дождевых вод при полном наполнении сети. В процессе расчета следует соблюдать допустимые уклоны и скорости течения сточных вод. Расчетные расходы определяются с учетом характеристик интенсивности и продолжительности дождя для конкретной местности.



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ:**

Задайте различные материалы трубопроводов (сталь, пластмасса, чугун) и выполните для них гидравлический расчет.  
Сделайте вывод

**ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Что такое расчетные расходы и как они определяются?
2. Формы лотков и каналов и принципы их применения.
3. Гидравлические характеристики коллекторов. Гидравлический радиус труб.
4. Что такое степень наполнения труб? От чего она зависит?
5. Режимы движения сточных вод в трубопроводах. От чего они зависят?
6. Равномерное и неравномерное движение.
7. Принципы расчета канализационных сетей.
8. Как определяются расчетные скорости движения сточных вод (минимальная и максимальная)?
9. Как определяются минимальные уклоны?
10. Основные задачи расчета канализационной сети.
11. Как определяются потери напора?

## Глава 5. Правила построения продольного профиля канализационных сетей

### 5.1. Продольный профиль канализационной сети

По итогам гидравлического расчета выполняется построение продольного профиля коллекторов.

**Продольный профиль – это вертикальный разрез верхнего слоя грунта с изображением линии запроектированного трубопровода в направлении движения воды.**

Для построения продольного профиля в первую очередь вычерчивают в масштабе профиль поверхности земли по трассе проектируемой сети (рис. 5.1). На профиль переносятся с плана расчетные точки, определяется длина расчетных участков.

МАСШТАБЫ: горизонтальный 1:1000; вертикальный 1:100

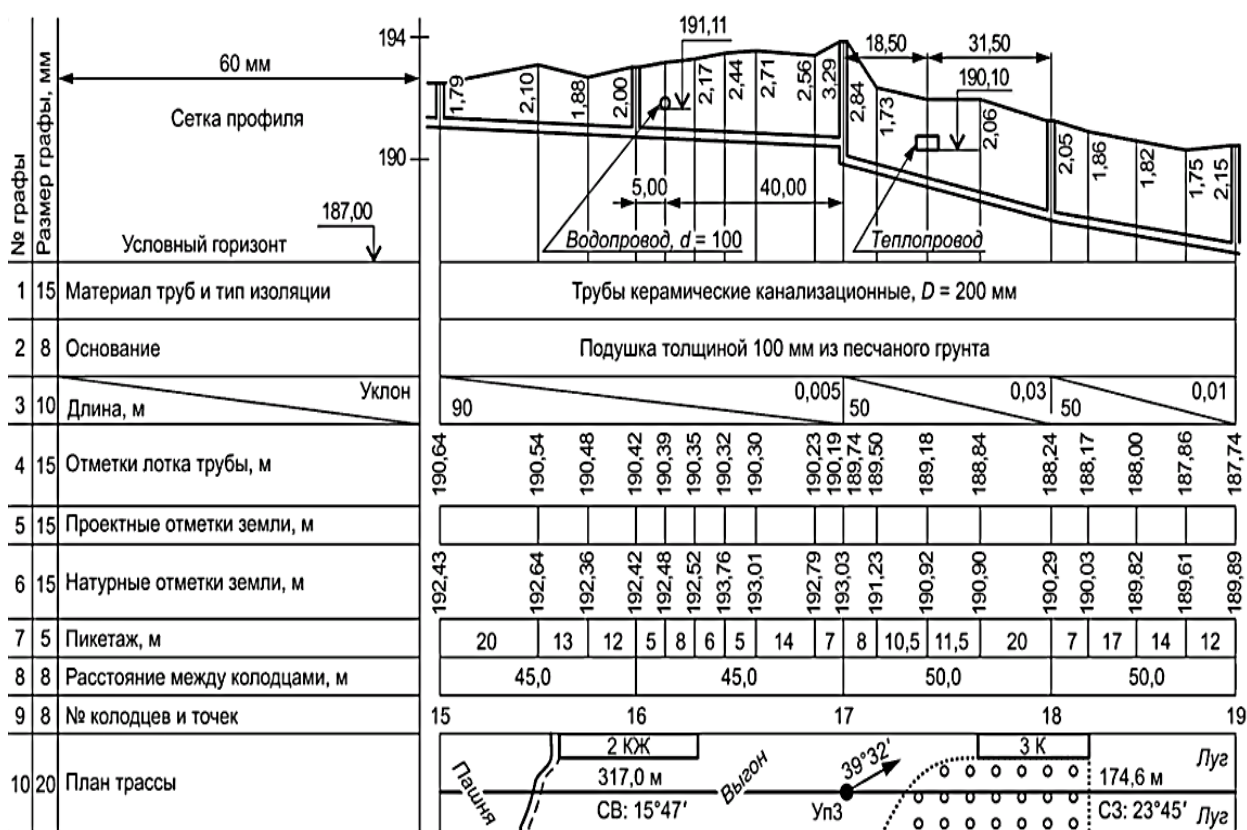


Рис. 5.1. Продольный профиль коллектора

Затем рассчитывается начальное заглубление уличной сети и выявляются участки сети, требующие наибольшей или наименьшей глубины заложения коллектора. При построении продольного профиля от диктующих точек обеспечивается наибольшее заглубление трубопровода, за счет которого выполняется условие самотечного присоединения всех боковых веток трубопроводов к

проектируемому коллектору. Участок между диктующей точкой и коллектором называют *диктующей веткой*.

Как правило на профиле для технического проекта не дают разбивку всех колодцев, а указывают только расчетные точки изменения расходов, уклонов и диаметров. Более подробная разбивка колодцев производится на рабочих чертежах.

При проектировании желательно ориентироваться на минимальную стоимость строительства, а следовательно, к минимуму земляных работ. Для этого необходимо максимально использовать рельеф местности.

## 5.2. Правила конструирования канализационной сети

Рассмотрим некоторые правила конструирования сети.

1) Участки трубопроводов между смотровыми колодцами проектируются прямолинейными. В местах изменения диаметра, поворотов, перепадов высоты, боковых присоединений устраиваются смотровые колодцы. Трубы и коллекторы в колодцах соединяют в виде открытых лотков, выполненных по плавным кривым. Лотки в колодцах на прямых линиях должны быть строго прямолинейными, а на поворотах — выполненными по кривым с плавным закруглением не менее диаметра трубы.

2) Повороты трассы должны выполняться по плавным кривым с радиусом не меньше величины диаметра трубы, а для коллекторов диаметром 1200 мм — не меньше пяти диаметров.

3) Трубопроводы разных диаметров следует соединять в колодцах по шельгам труб (рис. 5.2).

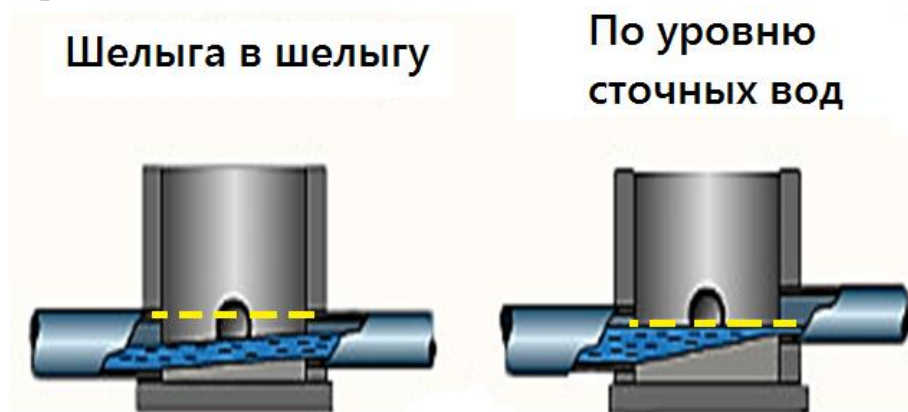


Рис. 5.2. Виды соединения канализационных трубопроводов

4) Должны учитываться местные потери напора в колодцах, нельзя допускать подтопление сети.

5) Расчетная скорость в коллекторах должна возрастать по течению. Допускается уменьшение расчетных скоростей (но не ниже критического значения) только после перепадных колодцев.

б) Расчетная скорость в боковых присоединениях не должна превышать скорость в основном коллекторе. В точках сопряжения потоков не допускаются встречные течения, удары струй и подпоры. Боковые присоединения не должны замедлять течение жидкости в основном коллекторе.

7) При резком увеличении уклона трубопроводов допускается устраивать быстроток, а после него – перепадный колодец с водобоем для гашения скорости.

### **5.3. Трубы и коллекторы, применяемые при строительстве канализационной сети**

#### **5.3.1. Требования к материалам канализационных труб**

Материалы канализационных труб выбираются в зависимости от назначения трубопровода и состава сточных и грунтовых вод.

Выбираемые материалы должны соответствовать обладать следующими качествами:

*Прочность* – способность сопротивляться внешним нагрузкам (вес грунта и транспорта) и внутреннему давлению.

*Водонепроницаемость* – способность не пропускать жидкость сквозь стенки (инфильтрация – приток из грунта в трубы и эксфильтрация – из трубы в грунт).

*Устойчивость к внешним воздействиям* – химически агрессивным средам, высоким и низким температурам, ультрафиолетовому излучению, механическому истиранию, открытому пламени.

*Гладкая внутренняя поверхность* – обеспечивает максимальную пропускную способность и благоприятные гидравлические условия.

*Удобство монтажа* – обеспечивает возможность ведения строительства индустриальными методами.

#### **5.3.2. Материалы трубопроводов**

Для канализационных трубопроводов применяют самые разнообразные материалы:

- ✓ чугун;
- ✓ ПЭ (полиэтилен);
- ✓ ПП (полипропилен);
- ✓ ПВХ (поливинилхлорид);
- ✓ НПВХ (поливинилхлорид непластифицированный);
- ✓ стеклопластик (на основе полиэфирных или эпоксидных смол армированный стекловолокном);
- ✓ железобетон (на наружных сетях диаметром от 150 мм) — используется в основном для коллекторов больших диаметров.

Редко используются:

- ✓ стеклянные трубы;
- ✓ деревянные трубы;
- ✓ керамические трубы;
- ✓ асбестоцементные трубы

Выбор материала определяется типом трубопровода. Самоотечная канализационная сеть устраивается из керамических, пластмассовых, асбестоцементных и безнапорных железобетонных труб, для крупных коллекторов применяют железобетонные трубы или сборные железобетонные элементы. Напорные трубопроводы прокладывают из металлических, асбестоцементных, напорных железобетонных, пластмассовых труб.

*Керамические трубы* (рис. 5.3) изготавливаются с внутренним диаметром 150—500 мм и длиной 800—1200 мм.



Рис. 5.3. Керамические (а) и асбестоцементные (б) канализационные трубы

Концы трубы внутри и снаружи раструба имеют рифли (борозды), не покрытые глазурью для обеспечения сцепления трубы с герметизирующим материалом. Керамические трубы применяются во всех системах канализации благодаря хорошим показателям прочности, водонепроницаемости, долговечности и коррозионной устойчивости; имеют гладкие стенки и удобны для монтажа.

*Асбестоцементные трубы* также применяются достаточно широко благодаря очень гладкой внутренней поверхности и малой теплопроводности, высокой водонепроницаемости, хорошей сопротивляемости растягивающим нагрузкам и давлению. Эти трубы легко обрабатываются, имеют высокую химическую стойкость и малую массу (в 3,5 раза меньше массы чугуна).

*Железобетонные трубы* изготавливаются безнапорными и напорными. Безнапорные трубы служат для устройства подземных самоотечных коллекторов для отвода бытовых и атмосферных, а также грунтовых и производственных неагрессивных вод.

*Металлические* (чугунные и стальные) трубы могут применяться в напорных и самотечных канализационных сетях в труднодоступных местах (например, в вечномёрзлых, набухающих грунтах, в карстовых условиях, в местах пересечения различных преград). Стальные трубы необходимо покрывать снаружи антикоррозионной изоляцией. При устройстве напорных трубопроводов для повышения надежности рекомендуется заменять стальные трубы напорными железобетонными, которые имеют в несколько раз большую долговечность и не подвержены зарастанию, в отличие от металлических труб (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Чугунная труба через 40 лет эксплуатации

*Пластмассовые трубы* в РУз принимаются согласно КМК 2.04.04-97 «Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб».

Для сетей водопровода, водостоков и наружных сетей канализации следует применять напорные трубы и фасонные части из ПВХ, ПНП, ПП и непластифицированного ПВХ. Трубы из ПВД и ПНД выдерживают кратковременное повышение температуры жидкости до 100 °С, а трубы из ПВХ-100 – до 65 °С. При замерзании жидкости в полиэтиленовых трубах они не разрушаются, а увеличиваются в диаметре. При оттаивании жидкости трубы вновь приобретают прежний размер. Внешний вид некоторых пластиковых труб показан на рис. 5.5.





Рис. 5.5. Пластмассовые канализационные трубы

### 5.3.2. Монтаж трубопроводов водоснабжения и канализации

При монтаже трубопроводов должна соблюдаться строгая очередность работ:

- 1) Перед опусканием труб – установка днищ колодцев,
- 2) Во время укладки труб – установка расположенных в колодце фасонных частей и задвижек;
- 3) После укладки труб – установка стенок колодцев, заделка стыковых соединений, монтаж фасонных частей и запорной арматуры; установка лотков в канализационных колодцах;
- 4) После испытания трубопроводов – установка гидрантов, вантузов и предохранительных клапанов.

### 5.4. Методы прокладки подземных канализационных сетей в городах

В условиях городов ведение работ по прокладке и ремонту канализационных сетей открытым способом создает большие неудобства. В настоящее время существуют новые технологии, позволяющие ремонтировать и прокладывать подземные сети закрытым способом. Наиболее распространенные бестраншейные методы:

- ✓ горизонтальное направленное бурение (ГНБ);
- ✓ продавливание (микротоннелирование) (МТ);
- ✓ прокалывание;
- ✓ безлюдная инспекция внутренней поверхности трубопроводов с помощью телекамер;
- ✓ местный ремонт трубопроводов посредством робототехники;
- ✓ перекладка трубопроводов «взламыванием»;
- ✓ безлюдная очистка и зачистка трубопроводов с помощью нанесения на внутреннюю поверхность специальных покрытий.

### **5.4.1. Горизонтальное направленное бурение**

Горизонтальное направленное бурение (ГНБ) – технология прокладки любых подземных коммуникаций с возможностью изменять направление бурения для обхода препятствий.

Этим способом трубопроводы прокладывают без вскрытия дорожного полотна; без нарушения ландшафтов; под дном водоемов; под или между другими трубопроводами без вскрытия пересекаемых сетей; под фундаментом сооружений. Данная технология применяется для прокладки не только магистральных трубопроводов, но и для работы в условиях плотной городской застройки с повышенной насыщенностью подземными коммуникациями. Позволяет получить нужный результат без прекращения уличного движения. В настоящее время более 70 % инженерных коммуникаций в мире прокладываются методом ГНБ.

Для обеспечения экономичности технологии ГНБ необходимо детальное изучение свойств и состава грунтов и выявление препятствий (старых трубопроводов, фундаментов и др.) с помощью георадаров.

Немаловажным фактором широкого применения ГНБ являются высокие темпы ведения работ и высокая экологичность.

### **5.4.2. Технология прокладки трубопроводов способами прокалывания и продавливания**

Прокалыванием и продавливанием прокладываются рабочие трубопроводы или их кожухи. Внешние поверхности должны быть покрыты антикоррозионной изоляцией.

Отверстие для прокладки трубопровода создают путем радиального уплотнения грунта. Для прокалывания грунта трубами используют домкраты, развивающие усилие до 5 МН. Таким способом может осуществляться прокладка труб диаметром до 400 мм в сжимаемых грунтах (глина, суглинок). Супеси и песчаные грунты обладают малой сжимаемостью, поэтому не пригодны для прокалывания.

После вдавливания трубы в грунт на величину длины хода штока домкрата шток возвращается в исходное положение, а в полученное отверстие вставляют патрубок удвоенной длины.

Комбинируя нажимные патрубки длиной 1...2 м осуществляют вдавливание первого звена трубы. Затем укладывается второе звено и приваривается к первому. Процесс повторяется до достижения конца участка.

Для уменьшения сопротивления при вдавливании трубы в грунт используют конический наконечник, диаметр которого на 25...35 мм больше наружного диаметра трубы. Длина одной проходки может достигать 40 м, а для труб диаметром 150...200 мм – 25 м при скорости 2...3 м/ч.

Применение вибрационных установок УВП-1, УВП-2 и УВ-221 позволяет прокладывать трубы до 377 мм в диаметре, при длине проходки 30 м и скорости проходки до 0,8 м/мин.

### ***Прокладка трубопроводов продавливанием***

При этом способе в грунт поочередно вдавливают звенья труб, которые сразу соединяются между собой сваркой. В отличие от прокалывания при данном способе разработка грунта происходит внутри трубы, грунт удаляется через укладываемую трубу.

Перед началом работ по продавливанию подготавливают рабочий котлован. Перед началом работы в креплении передней стенки котлована устраивают отверстие, равное диаметру ножевой части продавливаемой трубы. Для прокладки применяют домкрат и нажимные патрубки. На трубу наваривают нож в виде двух колец, который снижает сопротивление грунта врезанию в него трубы и помогает сохранять заданное направление. Наружный диаметр ножевой части превышает наружный диаметр трубы на 24...28 мм.

Технология позволяет продавливать трубы диаметром от 200 до 1700 мм и более.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Что представляет собой продольный профиль? Опишите правила его построения.
2. Назовите правила конструирования канализационной сети.
3. Какие требования предъявляют к материалам трубопроводов?
4. Какие материалы применяют для изготовления канализационных трубопроводов?
5. Назовите достоинства и недостатки металлических трубопроводов.
6. Опишите возможности применения пластмассовых трубопроводов

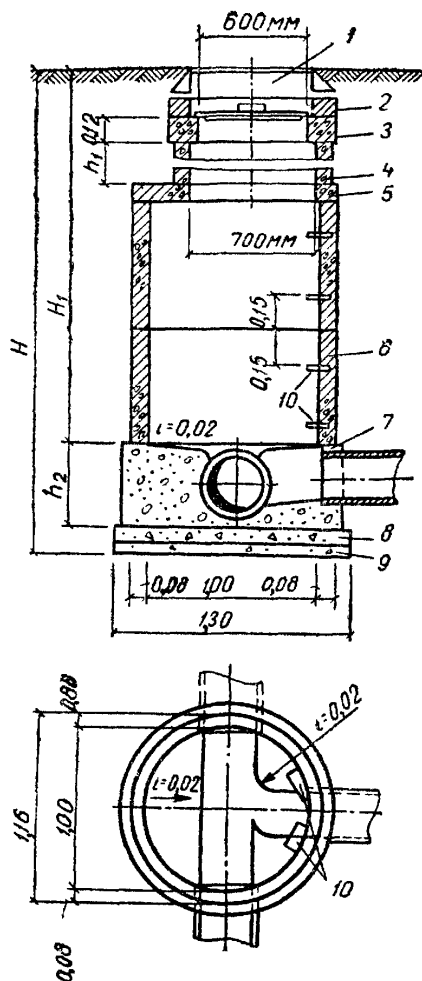
## Глава 6. Сооружения на канализационных сетях

### 6.1. Колодцы канализационных сетей

На канализационных сетях устраиваются:

- смотровые колодцы – для контроля работы сети, выполнения прочистки и обслуживания,
- перепадные колодцы – для обеспечения плавного перемещения сточных вод в точках перепада высот.

Смотровой колодец (камера) представляет собой шахту, размещенную над коллектором (трубой), который в этой части заменяется открытым лотком (рис. 6.1).



Устройство смотрового колодца включает в себя основание, рабочую камеру, перекрытие, горловина и люк с крышкой (рис. 6.1).

В качестве основания колодца устанавливают бетонную или железобетонную плиту и набивные лотки из монолитного бетона. В колодце следует предусмотреть место для установки шибера, металлической лестницы или подвесных скоб.

Колодцы можно устраивать по типовым проектам, разработанным в зависимости от условий строительства (для наличия или отсутствия грунтовых вод; для просадочных грунтов; для глубин заложения сети менее 8 м).

Рис. 6.1. Чертеж уличного смотрового колодца диаметром до 600 мм

1 – люк с чугунной крышкой; 2 – регулировочное кольцо; 3 – опорное кольцо; 4, 6 – кольца диаметром 700 и 1000 мм (железобетон); 5 – плита; 7 – регулировочные блоки; 8 – основание; 9 – подготовка; 10 – скобы

Классификация колодцев в зависимости от назначения приведена на схеме рис. 6.2.

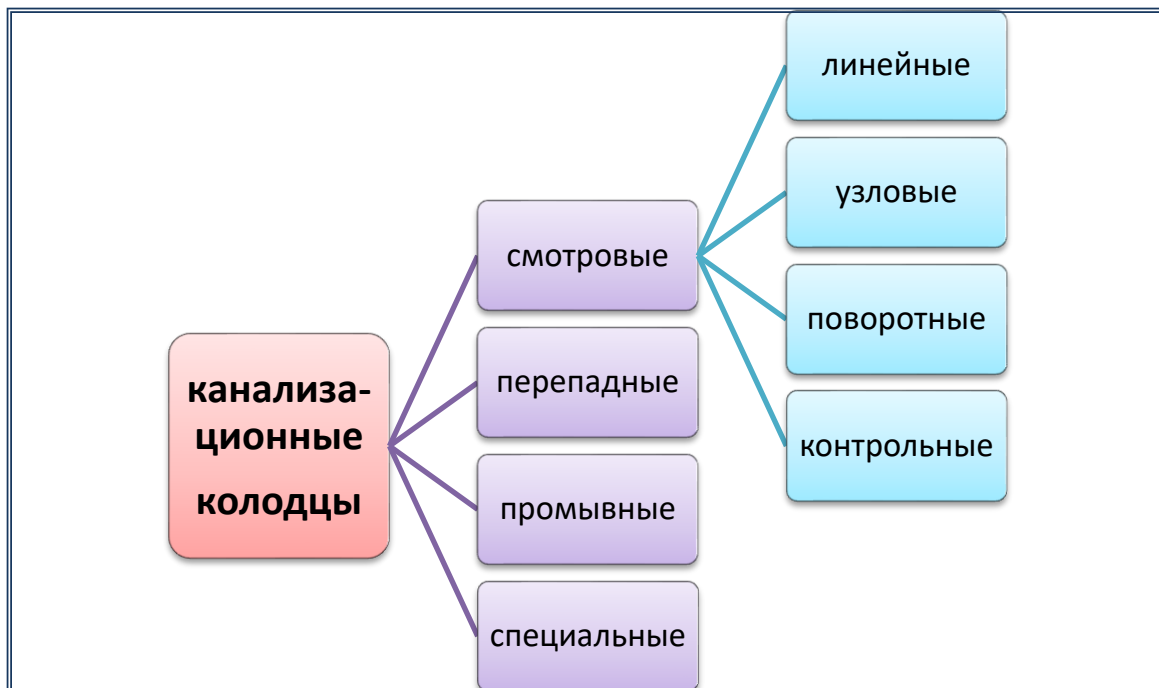


Рис. 6.2. Классификация колодцев канализационной сети

Рассмотрим эти разновидности колодцев.

Линейные смотровые колодцы (рис. 6.3, а) предназначены для контроля прямолинейных участков сети, расстояния между ними зависят от диаметра труб:

при диаметре труб	150 мм	.	.	.	.	35	м
»	»	»	200—450	мм	.	50	»
»	»	»	500—600	»	.	75	»
»	»	»	700—900	»	.	100	»
»	»	»	1000—1400	»	.	150	»
»	»	»	1500—2000	»	.	200	»
»	»	»	свыше 2000	»	.	250—300	м

Если имеется обоснованная необходимость, указанные расстояния можно увеличить максимум на 10%.

Поворотные колодцы (рис. 6.3, б) должны устанавливаться на поворотах линии. Соответственно в поворотном колодце форма лотка выполняется криволинейной, причем минимальный радиус изгиба должен быть равен 2—3 диаметрам труб. Угол поворота должен составлять более 90°.

Узловые колодцы предназначены для контроля точек соединения 2-3 канализационных линий (рис. 6.3, в). На крупных коллекторах узловой колодец называют соединительной камерой.

Контрольные колодцы устраиваются в точках подсоединения дворовых, внутриквартальных или заводских сетей к уличной и располагаются за красной линией застройки со стороны зданий. Эти колодцы служат для контроля работы канализационной сети присоединяемых объектов.

Промывные колодцы необходимы в начальных участках канализационных сетей, в которых часто выпадает осадок из-за малой скорости течения.

Перепадные колодцы устанавливаются в местах с резким перепадом высотных отметок подводящего и отводящего лотков.

Крупные коллекторы (более 600 мм в диаметре) прочищают с помощью специальной техники. Для спуска этой техники и других приспособлений в коллектор устраиваются специальные колодцы, имеющие увеличенные размеры люка и горловины. Расстояние между специальными колодцами принимают 300—500 м.

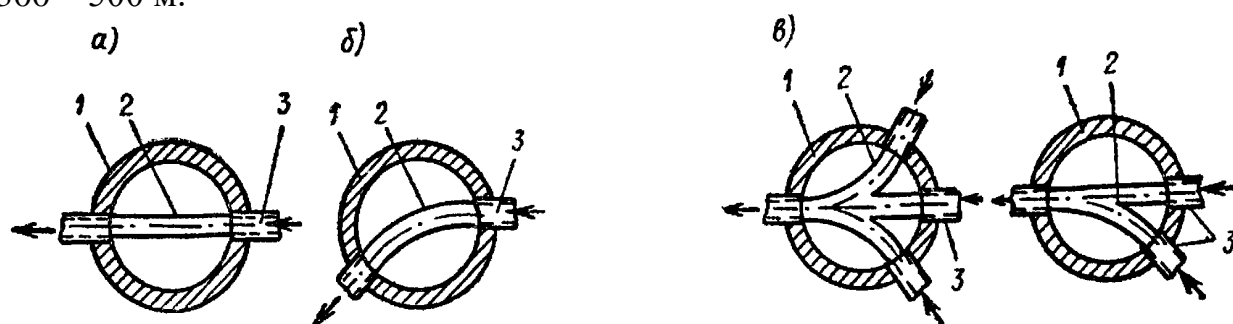


Рис. 6.3. Схемы лотков смотровых колодцев  
 а — линейных; б — поворотных; в — узловых;  
 1 — стенки колодца; 2 — лотки; 3 — трубы

Смотровые колодцы изготавливаются по унифицированному размерному ряду и делятся на малые (для диаметра труб менее 600 мм) и большие (для диаметра труб свыше 600 мм), могут быть круглой или прямоугольной в плане формы.

Диаметры рабочей части круглых линейных колодцев принимаются:

для труб диаметром до	600	мм	.	.	.	.	1000	мм
»	»	»	»	»	»	»	1250	»
»	»	»	»	»	»	»	1500	»
»	»	»	»	»	»	»	2500	»

Для сетей 150-миллиметрового диаметра (обычно внутриквартальные сети) и с малой (до 1,2 м) глубиной заложения можно устраивать колодцы диаметром 700 мм.

При относительно небольших диаметрах (до 300 мм) дворовых и внутриквартальных сетей их допускается присоединять напрямую (безколодезное соединение) к уличному коллектору диаметром от 400 мм или к вертикальному стояку-коллектору глубокого заложения. При этом должны соблюдаться условия: длина присоединения не более 15 м, скорость потока не меньше 1 м/с.

Колодцы и камеры требуют больших трудовых и финансовых затрат на строительство (до 25% от общих затрат на прокладку коллекторов).

## 6.2. Перепадные колодцы

Перепадные колодцы необходимо устраивать в точках присоединения к коллекторам глубокого заложения, при выполнении пересечения с подземными сооружениями и при наличии затопленного выпуска на последнем перед

водоемом колодце. Также перепадные колодцы могут служить для гашения недопустимо высоких скоростей течения сточных вод. При небольших (до 0,3 м) перепадах высоты на трубопроводах до 600 мм в диаметре можно компенсировать перепад высоты за счет плавного слива в смотровом колодце, не устраивая перепадный колодец.

При перепадах высоты менее 6 м на трубах до 500 мм в диаметре перепадный колодец выполняется в виде вертикального стояка с водобойным приямок (рис. 6.4). Гидравлический расчет такого колодца не выполняют, а размеры принимают конструктивно.

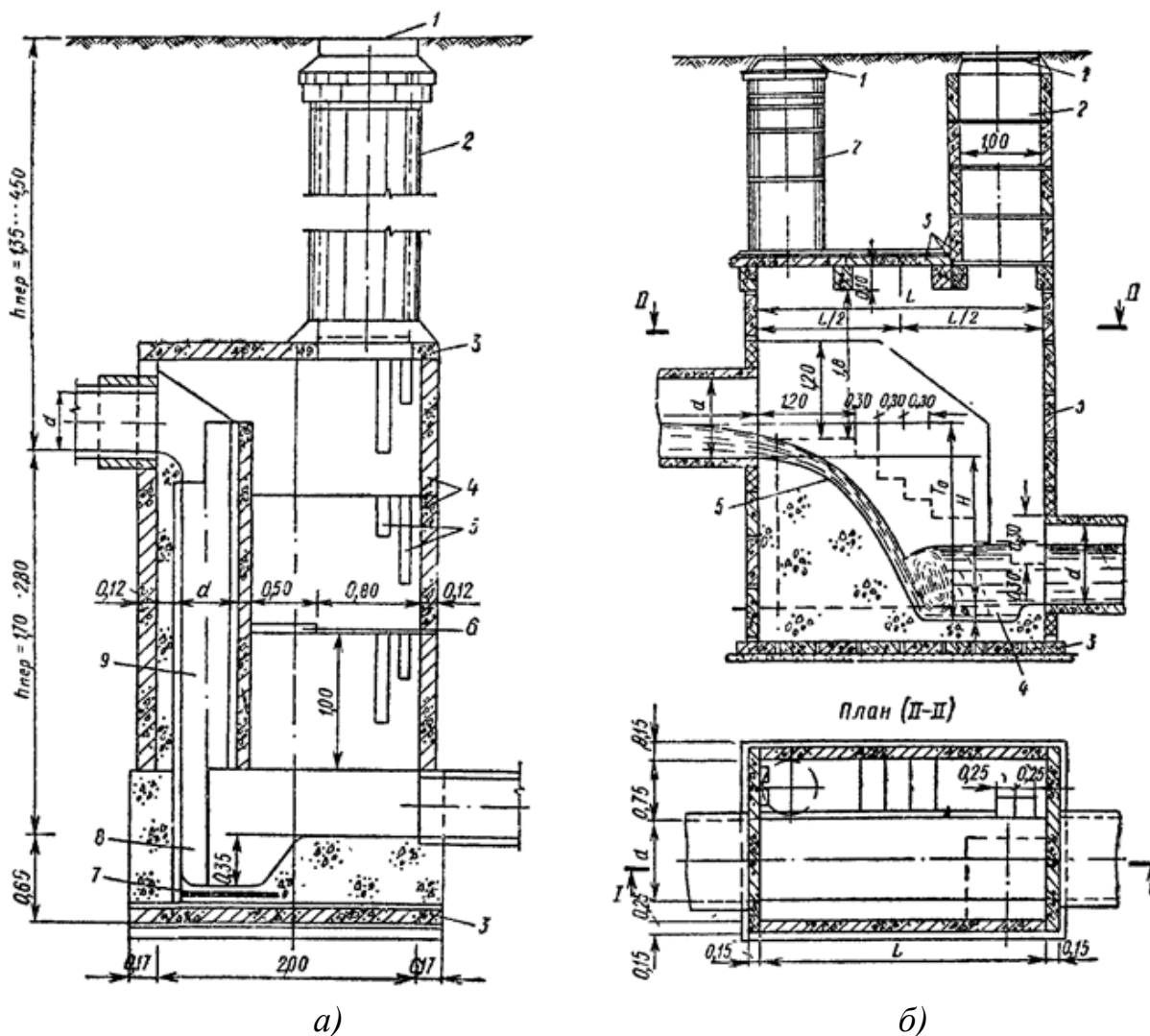


Рис. 6.4. Схема перепадного колодца с водосливом практического профиля  
 1 — люк с крышкой; 2 — горловина; 3 — стена из сборных железобетонных блоков; 4 — водобойный приямок; 5 — водослив

Перепад высоты до 3 м на коллекторах более 600 мм в диаметре компенсируется водосливом практического профиля с водобойным приямок. Такое устройство способствует образованию затопленного прыжка, необходимого для гашения разрушающих скоростей движения жидкости (рис. 6.4, б).

При высоте перепада более 3 м колодцы конструируют по индивидуальным проектам: глубокие шахты с водобойным устройством, ступенчатые перепады, спиральные водосливы и т.д.

Для перепадных колодцев практического профиля выполняется гидравлический расчет по методике расчета сопряжения бьефов. Определяется общая длина  $L$  перепадных колодцев, длина водобойной части  $U$  и глубина водобоя  $p$ .

Глубина водобоя

$$p = B - h_n \quad (6.1)$$

где  $h_n$  – наполнение отводящего коллектора при равномерном движении воды, м;  $B$  – высота водяной подушки, м; для критической глубины водобоя

$$B = 0,451q_0/\sqrt{h_c} - 0,5h_c, \quad (6.2)$$

где  $h_c$  – глубина водяного слоя в сжатом сечении, м;  $q_0$  – удельный расход воды на единицу диаметра отводной трубы

$$q_0 = q/d, \quad (6.3)$$

где  $q$  – расчетный расход, м<sup>3</sup>/с;  $d$  – диаметр трубы м.

Длина колодца и длина водобойной части:

$$L = 2l_1; \quad (6.4)$$

$$l_1 = 1,15 \sqrt{H_0 (H + 0,33H_0)}; \quad (6.5)$$

$$H_0 = h_B + \frac{v^2}{2g}. \quad (6.6)$$

где  $H$  – напор на водосливе (высота перепада), м;  $h_B$  – наполнение подводящего коллектора при равномерном режиме;  $v$  – скорость потока, м/с.

### 6.3. Обеспечение пересечения самотечных трубопроводов с препятствиями

Линии канализационных трубопроводов часто пересекаются с разнообразными естественными и искусственными препятствиями. Разновидности этих препятствий показаны на рис. 6.5.

Конструктивно пересечения подразделяются на три вида в зависимости от взаимного расположения по высоте трубопровода и препятствия: дюкеры, эстакады и переходы.

1. Дюкеры – применяются, когда трубопровод непосредственно пересекается с препятствием (высотный перепад между ними незначителен). Дюкер представляет собой напорный трубопровод, соединяющий две самотечных ветки. На рис. 6.6 показана схема дюкерного пересечения реки.

Основные элементы дюкера: напорные трубопроводов, верхняя и нижняя камеры. Рабочим напорных трубопроводов должно быть не менее двух, выполняются из стальных труб диаметром не меньше 150 мм, снабженных антикоррозионной изоляцией. Также должна устраиваться резервная труба. При малых



расходах возможно устраивать в дюкере только одну рабочую и одну резервную трубу.

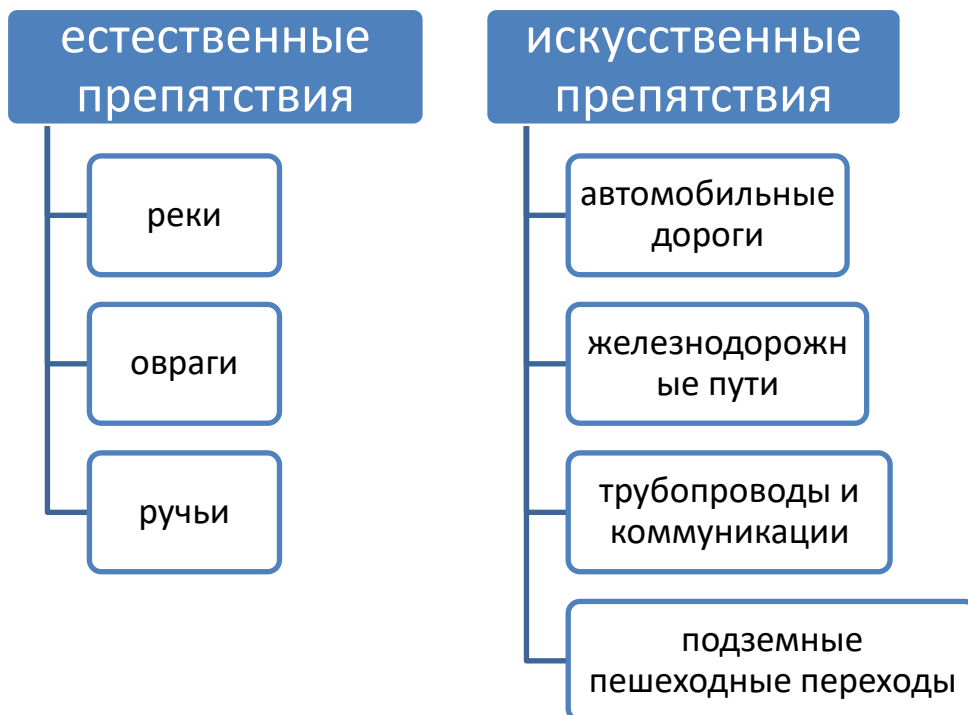


Рис. 6.5. Классификация препятствий канализационной сети

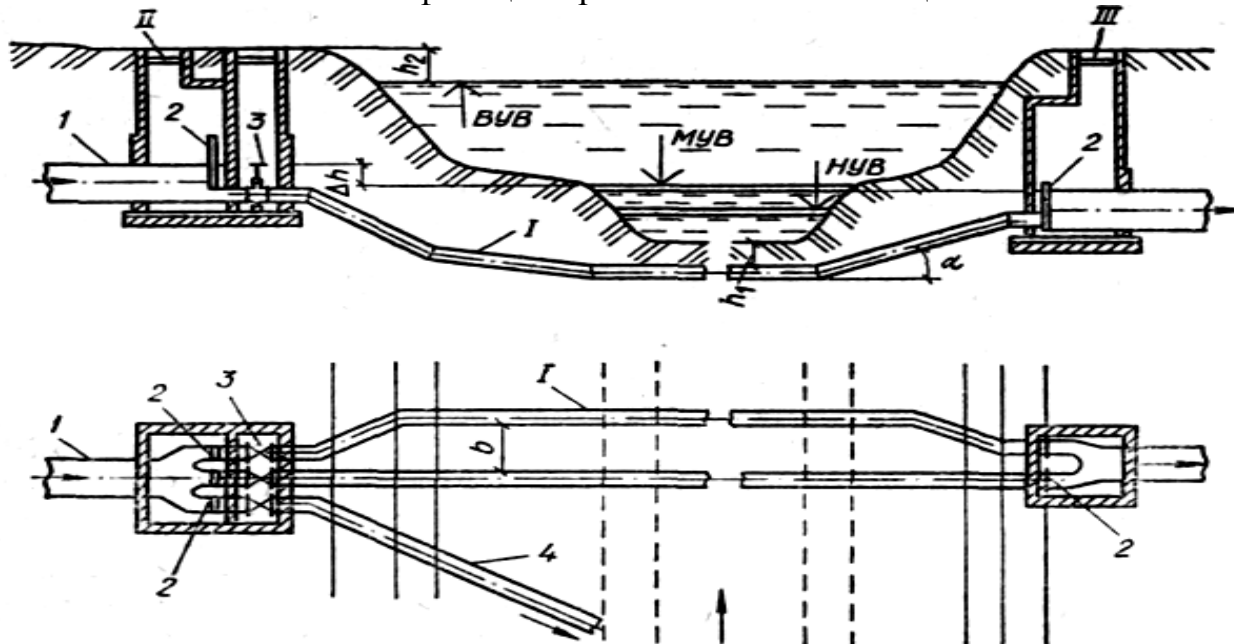


Рис. 6.6. Схема дюкера через реку:

- I* – напорные трубопроводы; *II* – верхняя камера; *III* – нижняя камера;
- I* – подводный самотечный трубопровод; *2* – щитовые затворы;
- 3* – задвижки; *4* – аварийный выпуск

Дюкер укладывают в траншее на дне русла, с уклоном восходящей ветки не более  $20^\circ$ . Подводную часть трубопровода закладывают на глубине не меньше 0,5 м до верха трубы, а при пересечении судоходных рек не меньше

1,0 м. Трубы дюкера должны отстоять друг от друга на 0,7...1,5 м (в зависимости от напора воды).

На случай неисправности дюкера и других непредвиденных ситуаций устраивают аварийный выпуск, который прокладывают из верхней камеры или ближайшего перед ним колодца. Расположение аварийного выпуска согласовывают со всеми контролирующими органами по охране и использованию водоема. При повышении уровня воды в реке в паводковый период аварийный выпуск можно использовать для промывки дюкера.

Камеры дюкера следует размещать на территории, которая не затопляется даже во время паводков. Для устройства камер выбирают места с неразмываемым руслом, при минимальной ширине реки. Трубопроводы необходимо прокладывать по кратчайшему расстоянию перпендикулярно руслу. Если дюкер имеет большую протяженность, на трубах требуется устройство колодцев или камер с ревизиями.

Все линии дюкера должны обеспечивать пропуск расхода

$$q_1 = \frac{q_p}{n}, \quad (6.7)$$

где  $q_p$  – расчетный расход сточных вод, проходящих через дюкер;  $n$  – число рабочих линий.

Диаметр труб рассчитывается из условия обеспечения незаиливающей скорости ( $v \geq 1,0$  м/с):

$$d = \sqrt{\frac{4q_1}{\pi \cdot v}}. \quad (6.8)$$

2. Переходы трубопроводов через железнодорожные пути и автомобильные магистрали строят, как правило, в местах прохождения дорог в насыпях или в нулевых отметках. В исключительных случаях при соответствующих технико-экономических обоснованиях переходы через дороги сооружают и в местах их прохождения в выемках. В таких случаях строят переходы дюкерного типа (рис. 6.7). При этом трубопроводы укладывают в металлических или железобетонных футлярах.

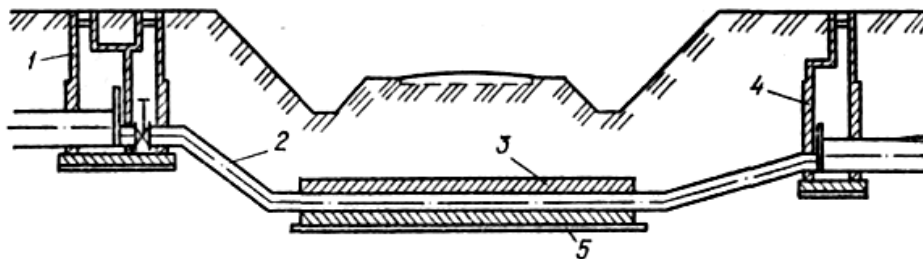


Рис. 6.7. Дюкерный переход под железной дорогой

1 – верхняя камера; 2 – трубопровод; 3 – футляр; 4 – верхняя камера

2. При расположении трубопровода намного ниже препятствия пересечение организуется с помощью самотечного трубопровода, который изготавливают из усиленных труб (сталь или железобетон), укладываемых в футлярах или тоннелях при глубине заложения трубы 1 – 1,5 м.

Укладка футляров может производиться открытым или бестраншейным способом. При бестраншейной проходке прокладка осуществляется прокалыванием, продавливанием или горизонтальным бурением. Для прокладки самотечных коллекторов большого диаметра сооружают туннели с помощью щитовой проходки.

3. При расположении трубопровода намного выше препятствия (пересечение оврагов) пересечение выполняют в виде эстакады (рис. 6.8, рис. 6.9) или прокладывают самотечный трубопровод по существующему мосту. Эстакада выполняется в виде моста на опорах и может использоваться для пешеходного движения. Трубопроводы укладываются в утепленном коробе. Перед и после эстакады следует устраивать колодцы с отключающими устройствами. Должен иметься аварийный выпуск, ревизии и линейные смотровые колодцы.

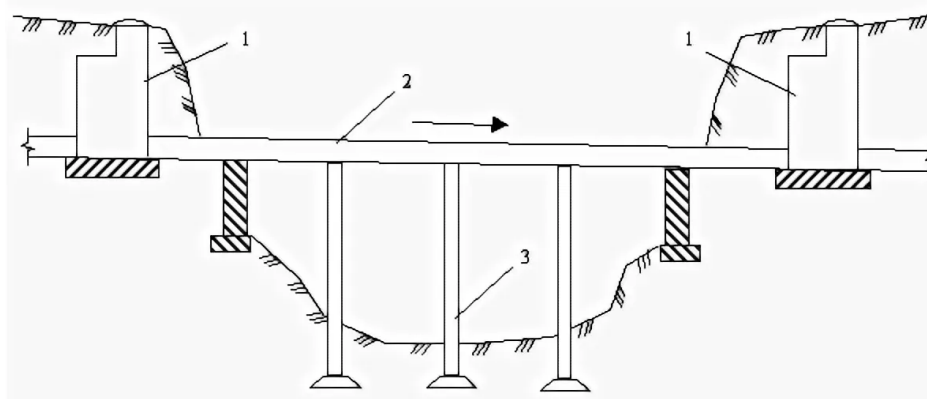


Рис. 6.8. Схема эстакады

1 – колодцы, 2 – трубопровод в утепленном коробе, 3 – железобетонные опоры



Рис. 6.9. Трубопроводная эстакада через железнодорожные пути

#### 6.4. Типы и схемы насосных станций для перекачки сточных вод

Насосные канализационные станции обеспечивают отведение сточных вод

и их подачу на очистные сооружения в случаях невозможности обеспечения самотечного движения. Устройство насосных станций позволяет отказаться от строительства сильно заглубленных самотечных коллекторов.

Классификация насосных станций представлена на рис. 6.10.



Рис. 6.10. Классификация насосных станций

Канализационная станция, независимо от мощности и размеров, имеет такие ключевые конструктивные элементы:

1. Приемный резервуар, оборудованный решеткой для задержания крупного мусора. Требуемый объем приемного резервуара определяется по графикам притока и откачки сточных вод.
2. Насосы, подбираемые по требуемому напору и наибольшей подаче насосной станции. На канализационных насосных станциях устанавливают **фекальные насосы**, обладающие повышенной пропускной способностью и предназначенные для перекачивания вязких жидкостей со взвешенными крупными частицами.
3. Напорный трубопровод, выполняемый обычно в две линии из стальных или пластиковых труб.

На рис. 6.11 показано устройство заглубленной канализационной насосной станции небольшой мощности.

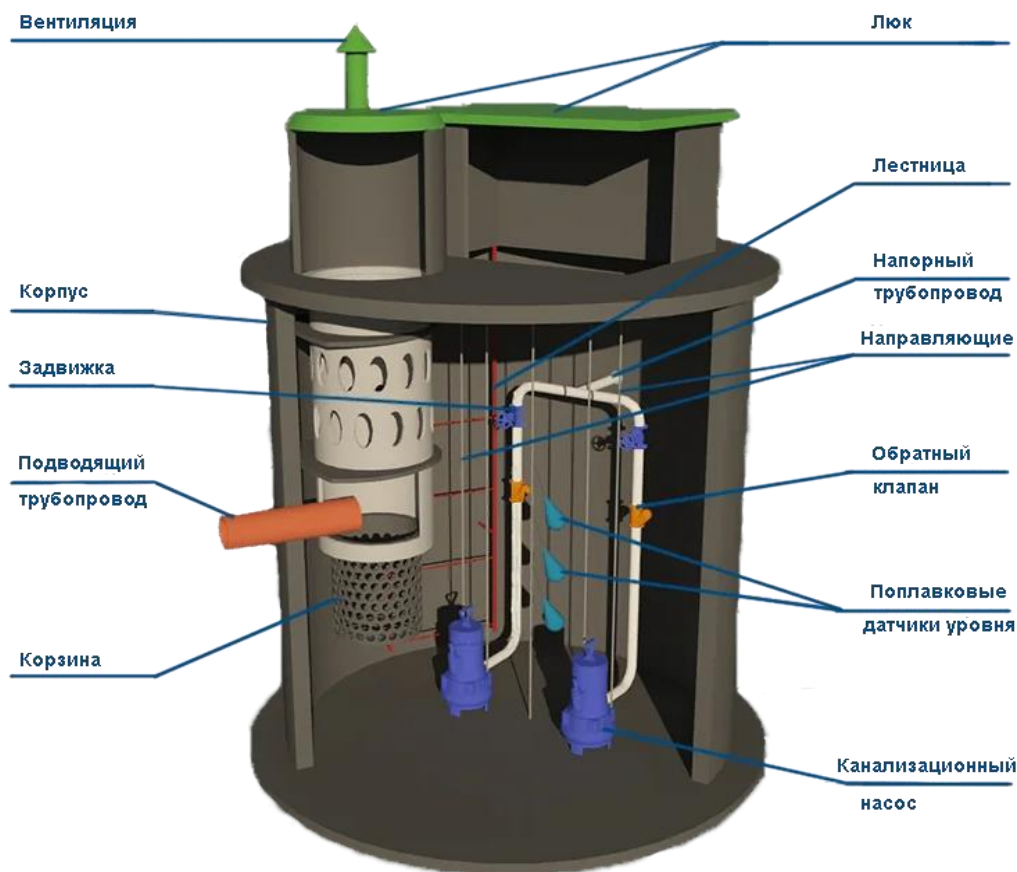


Рис. 6.11. Устройство заглубленной канализационной насосной станции

Насосные агрегаты и прочее оборудование необходимо размещать так, чтобы обеспечить удобство их обслуживания. Целесообразно располагать насосные агрегаты в один ряд, перпендикулярно стене, разделяющей машинный зал и приемный резервуар.

Подземная часть насосных станций выполняется из бетона или железобетона, а наземная – из кирпича. Для перекачки различных расходов разработаны типовые проекты насосных станций с различным заглублением подводящих трубопроводов.

Для расположения районных насосных станций по экономическим соображениям следует выбирать участки начальной части коллекторов. При выборе месторасположения насосной станции следует принимать во внимание характеристики выпускаемых промышленностью насосов. Окончательно месторасположение насосных станций необходимо уточнять с учетом гидрогеологических условий и планировки кварталов, очередности строительства системы водоотведения, размещения подводящих самотечных трубопроводов, аварийных выпусков, напорных трубопроводов и других соображений. Насосные станции должны располагаться в отдельно стоящих зданиях, окруженных по периметру защитными зелеными насаждениями шириной не менее 10 м. Расстояние до жилых домов и пищевых предприятий должно составлять не меньше 20 м при производительности КНС до 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут и не меньше 30 м при большей производительности. Следует избегать расположения КНС на проездах и набережных, территория должна быть незатопляемой.

Перед КНС должен быть устроен аварийный выпуск для использования в

чрезвычайной ситуации. Задвижки аварийных выпусков пломбируются.

Для расчета насосной станции необходимы данные о расходах сточных вод по часам суток, значения максимального, среднего и минимального расходов, а также геометрическая высота подъема воды.

Геометрическая высота подъема воды равна разности отметок подачи и откачки

$$H_{nc} = z_0 - z_{nc}, \quad (6.7)$$

где:  $z_0$  – отметка подачи сточных вод;  $z_{nc}$  – отметка откачки уровня сточных вод.

**ПОДУМАЙТЕ! Какие могут возникать проблемы при реконструкции насосных стан-**

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Какие сооружения предусматривают на канализационной сети?
2. Цель устройства колодцев на канализационной сети.
3. Смотровые колодцы и требования к ним.
4. Особенности устройства перепадных колодцев.
5. Организация пересечений канализационной линии с препятствиями.
6. Устройство дюкера.
7. Виды и назначение канализационных насосных станций.

## Раздел 2. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

### Глава 7. Состав и свойства сточных вод

#### 7.1. Характеристика городских и промышленных сточных вод

Городские и промышленные сточные воды весьма различны по характеру загрязнений.

Городские стоки включают в себя:

- использованные в быту воды (коммунально-бытовые сточные воды);
- дождевые воды (избыточные воды при обильных осадках);
- паразитные воды — подземные (инфильтрационные) воды, попадающие в негерметичную сеть канализации.

Городские сточные воды (ГСВ) имеют главным образом бытовое происхождение (сливы после мытья, из туалетов и др.), но некоторая их часть может быть промышленного происхождения (весьма разнообразного в различных городах).

Промышленные предприятия, создающие загрязнения, значительные по объему или требующие особой обработки, должны оснащаться локальными очистными сооружениями. В зависимости от полноты очистки промышленные сточные воды затем сбрасываются в окружающую среду или направляются через систему канализации на городские очистные сооружения.

Условно принято, что суточные объемы и загрязнения ГСВ оцениваются по параметру эквивалент-житель (ЭЖ), величина которого рассчитывается на основе средних показателей сбрасываемых загрязнений в бытовых сточных водах от одного жителя.

Таблица 7.1

Величины загрязнений на одного ЭЖ в сутки

<i>Величина</i>	<i>Показатель</i>
БПК <sub>5</sub> , г	60
ХПК, г	120–150
ВВ, г	70–90
Азот по Кьельдалю (NK), г	12–15
Фосфор общий (PT), г	2,5–3

Как отмечалось ранее, расход городских стоков колеблется в течение суток. Как общая закономерность отмечается, что потоки загрязнений (см. потоки по БПК, ВВ, НК на рис. 7.1) изменяются сильнее, чем расход несущих их сточных вод, причем максимальные концентрации соответствуют пиковым расходам.

Кроме того, несмотря на то что ход кривых одинаков, поток каждого вида загрязнения изменяется «автономно», и в типичном примере на рис. 7.1 соотношение максимальных и минимальных значений различно (табл. 7.2).

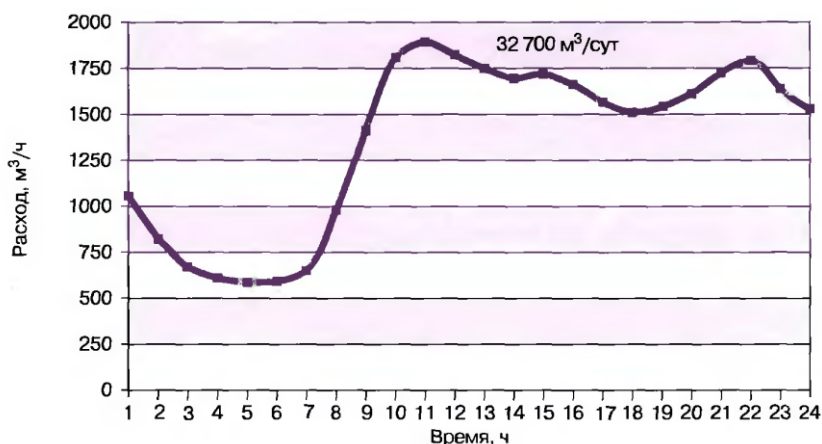


Рис. 7.1. Поток на входе в очистные сооружения

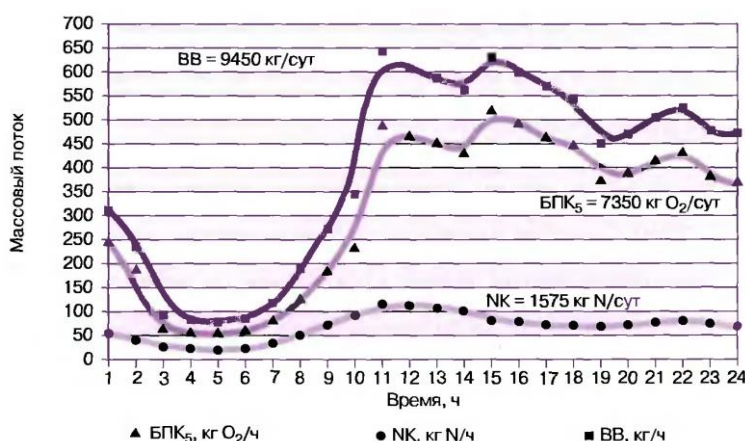


Рис. 7.2. БПК<sub>5</sub>, НК и ВВ на входе в очистные сооружения

Табл. 7.2.

Суточные вариации потоков загрязнений				
Показатель	Расход	ВВ	БПК	НК
Отношение макс/мин	3,1	6,3	7,6	5,5

## 7.2. Виды загрязнений сточных вод

В канализационную сеть поступают различные загрязнения. По происхождению они подразделяются на минеральные, органические и бактериальные. *Минеральные загрязнения* составляют песок, частицы глины, руды, шлаков, растворенные химические соединения (соли, кислоты, щелочи). *Органические загрязнения* подразделяются на:

- растительные: растительные и овощные остатки, бумага, растительные



масла, гуминовые вещества и др. Основным элементом этих загрязнений является углерод;

- животные: физиологические выделения людей и животных, остатки животных тканей, органические кислоты и др. Основным составляющим элементом этих загрязнений является азот.

Бытовые стоки содержат около 60 % органических и 40 % минеральных загрязнений. Производственные стоки имеют другое соотношение этих показателей в зависимости от технологического процесса производства.

*Бактериальные загрязнения* представляют собой различные микроорганизмы, дрожжевые и плесневые грибки, различные бактерии. В бытовых стоках присутствуют патогенные микроорганизмы – возбудители различных заболеваний (холерный вибрион, шигелла, сальмонелла и т.д.), а также яйца гельминтов. В промстоках некоторых производств (кожевенные заводы, фабрики обработки шерсти и т.п.) также могут содержаться возбудители заболеваний.

По физическому состоянию загрязнения в сточных водах могут быть нерастворимые, растворимые и коллоидные. Такое деление загрязняющих воду примесей необходимо для выбора метода контроля качества и методов обработки сточных вод.

Методы очистки сточных вод от промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных объектов основываются, прежде всего, на свойствах этих вод и содержащихся в них примесей. Классификация сточных вод по дисперсному состоянию примесей (классификация Л.А.Кульского) представлена на рис. 7.3.

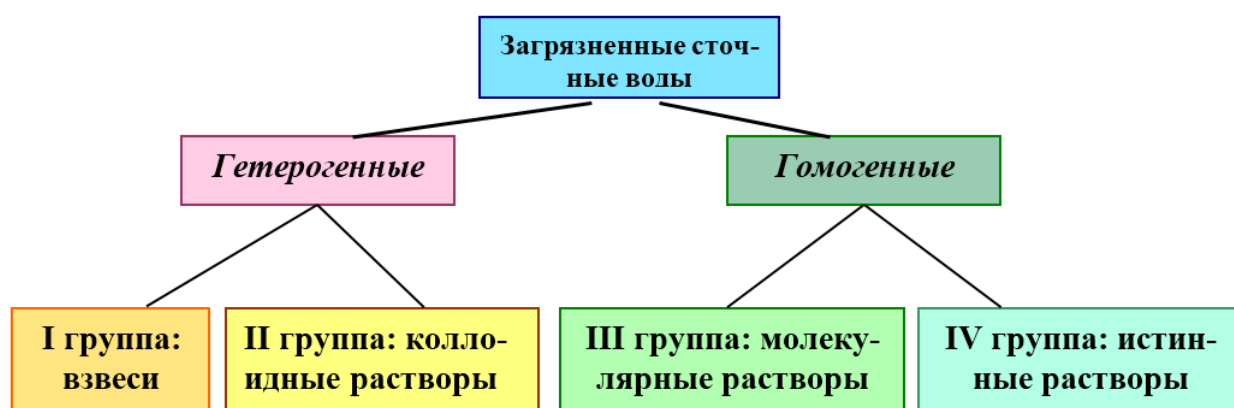


Рис. 7.3. Классификация сточных вод

**Гетерогенные сточные воды** – это в данном случае двухфазные смеси. К **I группе** этих вод – взвесям – относят *суспензии, эмульсии и воды, содержащие планктон*. Размеры взвешенных частиц при этом больше 1мкм. **II группу** – *коллоидные растворы* – образуют также механические смеси, однако здесь в качестве примесей находятся высокомолекулярные органические соединения с характерными размерами частиц 0,01...1мкм.

Под **гомогенными сточными водами** понимают однофазные смеси – *молекулярные (III группа) и истинные (IV группа) растворы*. В первом случае

речь идет о растворенных в воде газах и молекулярно растворимых органических соединениях, а во втором – о примесях, молекулы которых диссоциируют на ионы.

В реальных условиях могут быть сточные воды с одновременным содержанием различных по своим свойствам примесей, например, с растворенными солями и взвешенными высокомолекулярными соединениями. Это говорит о некоторой условности данной классификации, но не снижает ее удобства.

Состав и количество производственных сточных вод на каждом предприятии различаются. Даже от предприятий одного типа в зависимости от особенностей технологических процессов могут сбрасываться сточные воды различного объема и состава. Производственные стоки делятся на:

- 1) *условно-чистые воды* – обычно использовавшиеся для охлаждения, характеризуются только повышенной температурой;
- 2) *загрязненные производственные воды*, которые подразделяются на группы, в составе которых содержатся: а) преимущественно минеральные; б) преимущественно органические; в) органические, ядовитые вещества.

Производственные сточные воды классифицируются также по следующим показателям:

- ✓ по концентрации загрязнений – высоко- и слабokonцентрированные;
- ✓ по активной реакции среды – малоагрессивные воды (слабокислые с  $pH = 6 \dots 6,6$  и слабощелочные с  $pH = 8 \dots 9$ ) и сильноагрессивные (сильнокислые с  $pH < 6$  и сильнощелочные с  $pH > 9$ ).

Дождевые стоки на территории предприятий сильно загрязняются веществами, смываемыми с твердых поверхностей. Такие воды следует очищать вместе с промстоками.

### **7.3. Загрязнение взвешенными веществами**

Нерастворимые вещества могут содержаться в стоках в виде грубых суспензий (размеры частиц больше 100 мк) и тонких эмульсий (частицы 100–0,1 мк).

Нагрузку по взвешенным веществам в сточных водах в расчете на 1 жителя за сутки можно в первом приближении считать такой:

- раздельная канализация: 60-80 г, из них 70-80 % — летучие вещества;
- общесплавная канализация: 70-90 г, из них 60-80 % — летучие вещества.

Сбрасываемый каждым жителем объем загрязнений увеличивается с ростом уровня жизни и, как правило, размера города, но этот рост отстает от увеличения объема сточных вод, что проявляется в тенденции сбора все более разбавленных потоков.

Плохое состояние канализационных труб, пропускающих паразитную воду, усиливает эту тенденцию.

Указанные выше количества взвешенных веществ определяются после процеживания на решетке и отделения песка из исходных сточных вод и не

учитывают загрязнения, собранные на стадии предварительной обработки и перечисленные ниже.

■ Процеживание на решетке

— 2-5 л загрязнений на 1 жителя в год, отделенных на решетке с прозором 40 мм.

— 5-10 л загрязнений на 1 жителя в год, отделенных на решетке с прозором 20 мм.

— 10-25 л загрязнений на 1 жителя в год, отделенных на решетке с прозором 6 мм.

После сцеживания и прессования содержание воды в этих отходах составляет 60-75 %.

■ Отделение песка

В общесплавной системе канализации количество отделенного песка составляет около 12 л на 1 жителя в год на территории, застроенной особняками, и 5 л при застройке многоквартирными домами.

■ Отделение жировых веществ

Количество жиров в сточных водах варьируется в разных странах и зависит от вида застройки. Например, во Франции отмечается масса липидов от 16 до 18 г на 1 ЭЖ (эквивалентного жителя) в сутки. Но только часть их может застывать при охлаждении (фракция, зависящая от температуры) и, следовательно, извлекаться в жироловке — обычно лишь 10-20 % от общего содержания, т. е. 1,5-3,5 г на 1 ЭЖ в сутки при температуре около 15 °С.

При известных норме водоотведения  $q_n$  (л/сут) на одного человека и количестве загрязнений (г), приходящихся на одного человека в сутки, можно определить концентрацию взвеси в сточных водах:

$$p = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \quad (7.1)$$

где  $p$  — концентрация загрязнений, мг/л;

$a$  — количество загрязнений от одного человека, л/сут;

$q_n$  — норма водоотведения, л/сут.

#### 7.4. Загрязнение органическими веществами. Показатели БПК и ХПК

Любое органическое вещество способно окисляться под воздействием кислорода воздуха и микроорганизмов-минерализаторов. Органические вещества в сточной воде, попадая в водоем, подвергаются биохимическому окислению. Этот процесс включает две фазы: в первой фазе окисляются вещества, содержащие углерод (в воду поступает углекислота); во второй фазе происходит окисление азотсодержащих веществ с образованием солей азотистой кислоты, а затем — нитратов. Эта фаза носит название *нитрификации*. Если содержание кислорода в воде велико, то скорость окисления (потребления кислорода) при одинаковой температуре в каждый момент времени пропорциональна количеству остающихся в сточной воде органических веществ. Чем меньше остается в воде органических веществ, тем больше замедляется процесс окисления:

$$L_t = L_a \cdot 10^{-tk_1}, \quad (7.2)$$

где  $L_t$  – количество кислорода, требуемое для окисления органического вещества за время  $t$ ;

$L_a$  – количество кислорода, требуемое для окисления всего имеющегося в воде органического вещества;

$k_1$  – константа скорости биохимического потребления кислорода. Значение константы пропорциональности увеличивается с ростом температуры.

По наличию в воде солей азотистой и азотной кислот судят о полноте окислительных процессов. Если в воде присутствует большое количество нитратов, это означает, что окисление органических веществ уже закончилось. При малом содержании кислорода в воде для последующего окисления органических соединений можно частично использовать кислород, содержащийся в нитритах и нитратах. Процесс отщепления кислорода от этих солей называется *денитрификацией*.

Показателем степени загрязнения сточных вод органическими соединениями является количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ с помощью микроорганизмов. Этот показатель называется *биохимической потребностью в кислороде*, обозначается БПК и измеряется в мг  $O_2$  на 1 л (мг/л) или в граммах  $O_2$  на 1 м<sup>3</sup> (г/м<sup>3</sup>).

Основным показателем для расчета очистных сооружений является величина БПК<sub>полн</sub>, т. е. количество кислорода, требуемое для полного биохимического окисления. Обычно этот процесс происходит за 20-25 суток, поэтому за величину БПК<sub>полн</sub> принимают БПК<sub>20</sub>. Можно определять БПК и за 5 или 10 суток при температуре 20 °С (БПК<sub>5</sub> и БПК<sub>10</sub>), после чего полученные данные можно пересчитать для определения БПК<sub>полн</sub>.

Концентрация сточных вод по БПК<sub>20</sub> определяется по формуле

$$L_a = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \quad (7.3)$$

где  $L_a$  – БПК<sub>20</sub>, мг/л;  $a$  – БПК<sub>20</sub>, г/сут на одного человека;  $q_n$  – норма водоотведения, л/сут на одного человека.

При определении БПК<sub>20</sub> не учитывается наличие стойких органических веществ, не подверженных биохимическому разрушению, и расход части органического вещества на прирост микроорганизмов.

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточной воде служит показатель химического потребления кислорода ХПК. *Химическая потребность в кислороде* – это количество кислорода, требуемое для полного окисления имеющихся в воде соединений (перевод углерода из органики в  $H_2CO_3$ , Н – в  $H_2O$ , N – в  $NH_4$ , S – в  $SO_2$ ).

Разница между ХПК и БПК<sub>20</sub> служит показателем прироста микробной среды. Для городских сточных вод БПК<sub>20</sub> составляет 86 % от ХПК, а для большинства производственных стоков ХПК превышает БПК<sub>20</sub> на 50 % и более.

По величине соотношения БПК<sub>20</sub> и ХПК определяют потребность применения биохимической очистки сточных вод.

Нагрузка БПК<sub>5</sub> (обозначение БПК по умолчанию должно пониматься как БПК<sub>5</sub>, если не указано иначе), приносимая с бытовыми сточными водами, после их предварительной очистки оценивается следующими величинами (на человека в сутки):

- раздельная канализация: 50-70 г;
- общесплавная канализация: 60-80 г.

Примерно треть этих загрязнений растворима, а остальные две трети находятся в виде частиц (оседающих или нет). В общесплавной системе канализации содержание оседающего органического загрязнения, как правило, выше, чем в раздельной, но сильно варьируется в разных местах. Отношение ХПК/БПК<sub>5</sub> для ГСВ чаще всего остается в пределах 2-2,8. Это отношение выше в развитых странах (2,2-2,8) и ниже в развивающихся странах (2-2,3).

### 7.5. Определение концентрации загрязнений в сточных водах

В современных городах промстоки сбрасываются в городскую бытовую канализационную сеть, поэтому на городские очистные сооружения обычно поступают смешанные воды, количество загрязнений в которых сильно колеблется. Концентрацию этой смеси определяют по уравнению

$$P_{\text{см}} = \frac{p_{\text{б}} Q_{\text{б}} + \sum p_{\text{пр}} Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{б}} + \sum Q_{\text{пр}}}, \quad (7.4)$$

где  $p_{\text{б}}$ ,  $p_{\text{пр}}$  – концентрация загрязнений соответственно в бытовых и производственных (по каждому предприятию) сточных водах, г/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{б}}$ ,  $Q_{\text{пр}}$  – расход соответственно бытовых и производственных сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Содержание химических веществ в бытовых сточных остается более или менее постоянным. В среднем от одного человека в сутки в сточные воды с загрязнениями поступает: азота аммонийных солей – 8 г, хлоридов – 9 г, фосфатов – 1,7 г. Концентрация этих веществ в стоках тем ниже, чем выше норма водоотведения. Количество химических элементов, поступающих в производственные стоки, наоборот, сильно колеблется и зависит от ряда различных причин.

Для определения БПК смеси сточных вод используют аналогичную формулу

$$L_{\text{см}} = \frac{L_{\text{б}} Q_{\text{б}} + \sum L_{\text{пр}} Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{б}} + \sum Q_{\text{пр}}}, \quad (7.5)$$

где  $L_{\text{б}}$ ,  $L_{\text{пр}}$  – БПК<sub>20</sub> соответственно бытовых и производственных сточных вод;

$Q_{\text{б}}$ ,  $Q_{\text{пр}}$  – соответственно расход бытовых и производственных сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

### 7.6. Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод.

Оценку состава и свойств сточных вод производят по результатам санитарно-химического анализа. Полный санитарно-химический анализ определяет: температуру, цвет, запах, мутность, активную реакцию рН, сухой оста-

ток, плотный остаток и потери при прокаливании; количество взвешенных веществ (по объему и массе), окисляемость; ХПК и БПК; содержание азота (общего аммонийного, нитритного, нитратного), соли фосфора, хлора и серы, тяжелые металлы и другие токсичные соединения; ПАВ; нефтепродукты; микробиологические и паразитологические показатели.

Весьма важно определение *температуры*, оказывающей большой влияние на скорость биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

*Цвет и запах* – органолептические показатели качества сточных вод (определяются экспертами-дегустаторами). Бытовые стоки обычно имеют слабую желтовато-бурую или серую окраску. Интенсивные окраски других оттенков свидетельствуют о примеси промстоков. Запах определяют при температуре воды 20 °С, описывают его основное свойство (фекальный, болотный, фенольный и т. д.) и оценивают его интенсивность в баллах.

Активная реакция воды выражается *величиной рН*. От величины этого показателя сильно зависит скорость биохимических процессов. Для успешного осуществления биологической очистки сточные воды должны иметь значение  $pH = 6,5-8,5$ .

*Мутность (или прозрачность)* является общим показателем загрязненности стоков нерастворимыми и коллоидными примесями. Прозрачность городских стоков обычно равна 1–3 см, а после очистки – 15 см (для сравнения – прозрачность питьевой воды должна быть не меньше 30 см).

*Взвешенные вещества* – показатель, оцениваемый количеством примесей, задерживаемых на бумажном фильтре. По этому показателю оценивают количество осадка, образующегося при очистке сточных вод. Этот показатель является основой для проектирования отстойников. Концентрация взвешенных веществ в городских стоках обычно равна 100–500 мг/л.

Под *окисляемостью* понимается общее содержание в воде органических и неорганических восстановителей. Для городских стоков, содержащих в основном органические вещества, считают, что окисляемость является характеристикой только органических примесей. В зависимости от типа окислителя различается химическая и биохимическая окисляемость.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Виды загрязнений сточных вод.
2. Классификация сточных вод по различным показателям.
3. Объясните классификацию вод по дисперсному состоянию примесей.
4. Поясните различие между загрязнениями бытовых и промышленных стоков.
5. Биохимическое потребление кислорода (сущность, разновидности, определение, нормы).
6. Объясните понятие ХПК.
7. Как определяется ХПК?
8. Что показывает соотношение БПК и ХПК?
9. Какие Вы знаете санитарно-химические показатели сточных вод?
10. Что такое органолептические показатели и что к ним относится?

## Глава 8. Определение необходимой степени очистки сточных вод

### 8.1. Нормативы качества воды в водоемах

Встречаются случаи, когда по местным условиям сточные воды предприятий сбрасывается непосредственно в водоем. Сточные воды при этом, неся в себе вредные примеси, вызывают в водоеме определенные изменения. До предела, называемого допустимым экологическим лимитом, эти изменения незначительны и иногда остаются безвредными для соответствующих видов водопользования.

Все водные объекты (реки, ручьи, водохранилища, озера, пруды, искусственные каналы) подразделяют на следующие категории в зависимости от характера их использования:

- I- хозяйственно-питьевого водоснабжения населения и предприятий пищевой промышленности;
- II- культурно-бытового назначения (для купания, спорта и отдыха населения);
- III- рыбохозяйственного назначения для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду;
- IV- рыбохозяйственного назначения для прочих видов рыб.

Для каждой из этих категорий установлены соответствующие нормативы на качество воды в местах водопользования. Водные объекты считаются загрязненными, если показатели состава и свойства воды в них изменились под прямым или косвенным влиянием производственной деятельности и бытового использования населением и стали непригодными (полностью или частично) для одного из видов водопользования.

Правилами (СанПиН РУз № 0255-08. Основные критерии гигиенической оценки степени загрязнения водных объектов по опасности для здоровья населения в условиях Узбекистана, СанПиН РУз № 0318-15 Гигиенические и противоэпидемические требования к охране воды водоёмов на территории Республики Узбекистан, УзДст 950:2000 Гигиенические требования и контроль за качеством. Вода питьевая) установлены два вида нормативов качества воды в водоемах в зависимости от характера их использования: для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования; для водоемов рыбохозяйственного значения.

К первому виду относятся участки водоемов, используемые в качестве источника питьевого назначения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второму виду – водоемы, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенного пункта. Отнесение конкретного водоема к тому или иному виду водопользования производится органами Государственного санитарного надзора с учетом перспектив использования водоема. Содержание нефтепродуктов в воде не должно превышать ПДК: для многосернистых соединений не более – 0,1 мг/л, для несернистых – 0,3 мг/л. Для рыбовоспроизводящих акваторий норматив ПДК по нефтепродуктам установлен не более – 0,05 мг/л.

Критериями загрязненности воды является изменение её органолептических свойств (цвета, запаха, привкуса) и появления в ней вредных для человека и других живых организмов веществ, а также повышение показателей загрязненности до таких значений, когда это изменяет условия для нормальной жизнедеятельности живых организмов. Правилами определены случаи когда в водоем (или водосток) запрещается сброс сточных вод, если за счет рационализации производства, создания схем безотходной (малоотходной) технологии эти сбросы могут быть ликвидированы. Эти требования распространяются как на существующие выпуски всех видов производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод, так и на проектируемые.

## **8.2. Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть и в водоем**

### **8.2.1. Условия сброса производственных сточных вод в городскую канализацию**

Для сброса стоков в канализационные сети необходимо иметь в виду следующие факторы: особенности устройства сооружений канализации, особенности работы канализационных сетей, применяемые методы очистки стоков, возможности дальнейшего использования очищенных сточных вод и образующегося осадка. Большинство канализационных трубопроводов выполняется из бетона и железобетона, которые могут корродировать. Степень коррозионного разрушения обусловлена составом и свойствами сточных вод. К тому же часть содержащихся в сточных водах загрязнений при недостаточных скоростях течения могут выпадать в осадок и приводить к засорам и закупоркам сети, затруднять работу насосных станций. Поэтому не допускается сброс в бытовую канализационную сеть стоков, загрязненных жирами, маслами, смолами, бензином, нефтепродуктами, ядовитыми веществами, нерастворимыми примесями. Также нельзя сбрасывать сточные воды, из которых могут выделяться ядовитые или взрывоопасные газы.

Сточные воды местной и пищевой промышленности по переработке сельскохозяйственных продуктов могут спускаться в бытовые сети без ограничений. Сточные воды мясокомбинатов и кожевенных заводов могут приниматься в эти сети лишь после обработки и обеззараживания. Сточные воды тяжелой промышленности должны проходить необходимую степень очистки и использоваться на предприятиях в повторно-оборотной системе водоснабжения. Сплав снега по сетям допускается в трубах диаметром более 300 мм при наполнении не более 0,5 диаметра и скорости течения воды не менее 0,7 м/с.

### **8.2.2. Условия сброса производственных сточных вод в водоемы**

Условия спуска сточных вод в водоемы установлены СанПиН РУз № 0318-15 «Гигиенические и противоэпидемические требования к охране воды водоёмов на территории Республики Узбекистан». Правила устанавливают нормы качества воды для водоемов по двум видам водопользования. К первому



виду относятся участки водоемов, используемые для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второму виду относятся участки водоемов, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных мест. Для каждого из двух видов водопользования установлены показатели состава и свойств воды водоема у пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования.

СанПиН РУз № 0318-15. «Гигиенические и противоэпидемические требования к охране воды водоёмов на территории Республики Узбекистан» регламентирует содержание взвешенных веществ в воде водотоков и водоемов: при спуске очищенных сточных вод в водоемы первого вида пользования их содержание не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/л, а в водоемах второго вида – на 0,75 мг/л; запрещается спуск в водоемы сточных вод с содержанием взвешенных веществ, гидравлическая крупность которых превышает 0,4 мм/с для проточных водоемов и 0,2 мм/с для водохранилищ.

Содержание растворенного кислорода в воде водоема (после смешения с ней сточных вод) не должно быть ниже 4 мг/л, а для водоемов рыбохозяйственного назначения обоих видов летом и для водоемов первого вида зимой – не ниже 6 мг/л.

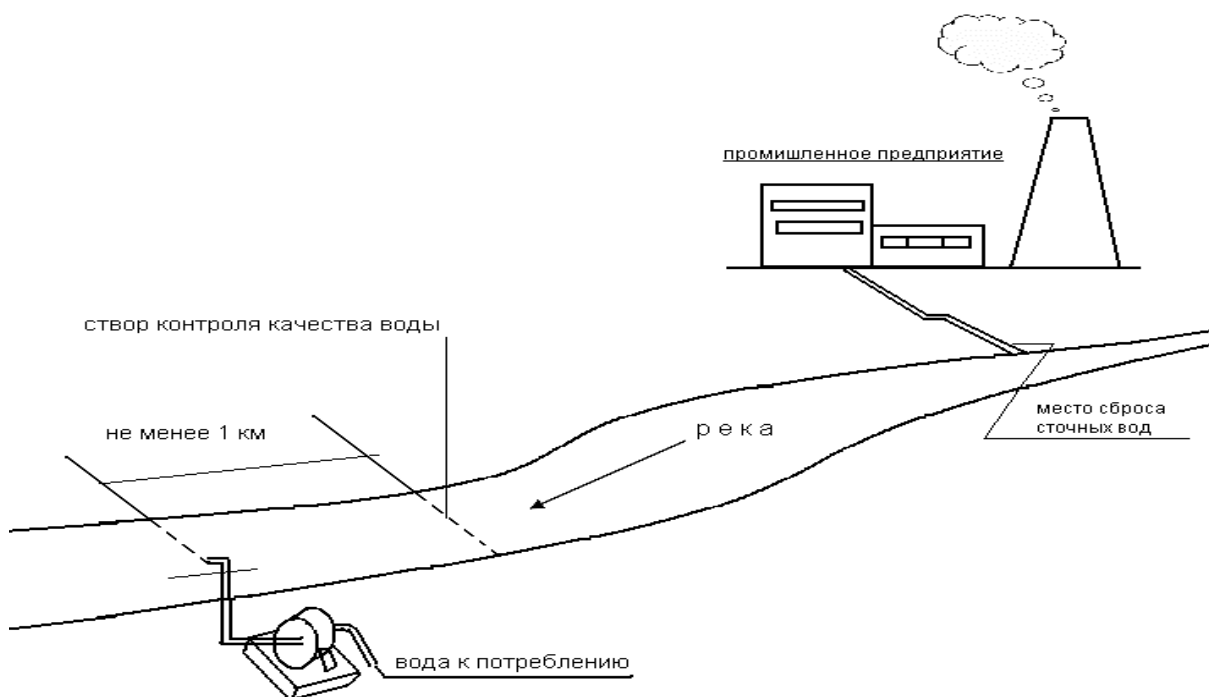


Рис. 8.1. Расположение сброса сточных вод, контрольного створа и водозабора

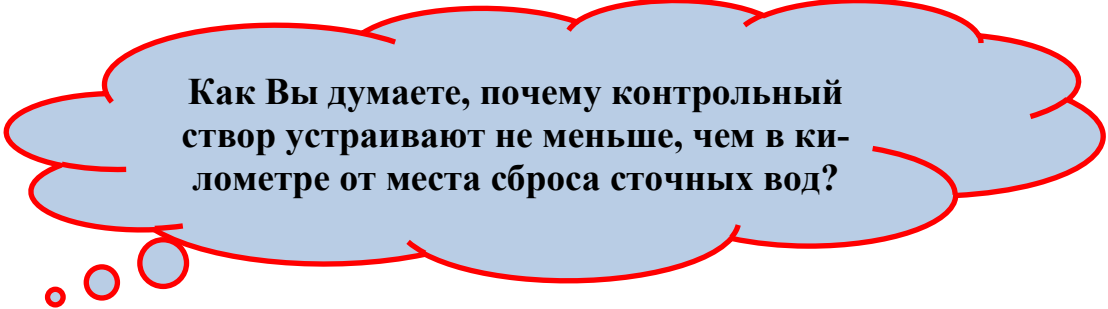
Полная потребность в кислороде при 20 °С не должна превышать 3 мг/л для воды водоемов первого вида и 6 мг/л – для водоемов второго вида. В водоемах рыбохозяйственного назначения обоих видов БПК<sub>5</sub> при 20 °С не должна превышать 2 мг/л. Реакция рН воды водоема после смешения ее со сточными водами не должна быть ниже 6,5 (слабокислая) и выше 8,5 (щелочная).

Водоемы не должны содержать минеральных масел и других плавающих

веществ, образующих на поверхности пленки и пятна. По ядовитым и радиоактивным веществам установлены предельно допустимые концентрации их в водоеме у места выпуска.

Также регламентируются интенсивность запахов и привкусов, окраски, показатели минерального состава, температуры, содержание возбудителей заболеваний и др.

Состав и свойства воды должны соответствовать этим требованиям в 1 км выше по течению от пункта водопользования, а в непроточных водоемах и водохранилищах – в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.



**Как Вы думаете, почему контрольный створ устраивают не меньше, чем в километре от места сброса сточных вод?**

Условия спуска воды определяются нормативными документами РД 84.3.6:2004 «Инструкция по нормированию сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и на рельеф местности с учетом технически достижимых показателей очистки сточных вод» и РД 84.3.5:2004 «Методические указания для расчета норм предельно-допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и на рельеф местности с учетом технически достижимых показателей очистки сточных вод»

Условия спуска сточных вод в водные объекты определяются с учётом смешения и разбавления их водой водотока (водоёма) на пути от места их сброса до ближайших пунктов водопользования. (рис. 8.1)

Категорически запрещается устройства сброса сточных вод в водные объекты без регистрации и получения разрешения органов по регулированию использования и охране вод и соответствующего согласования с санитарно – эпидемиологической службой и органами рыбоохраны.

### **8.3. Самоочищение водоемов**

Концентрация вредных веществ, поступивших в водоем со сточными водами, не остается постоянной. Она изменяется вследствие разбавления сточных вод и вследствие различных химических, физико-химических и биологических процессов взаимодействия, выделения, превращения и разложения этих веществ. Процессы, происходящие при этом в водоемах, называются процессами самоочищения. Совокупность процессов разбавления и самоочищения составляет обезвреживающую способность водоема. Качество воды водоема достигает границы экологического сдвига, если содержание загрязняющих примесей в ней равно определенной дозе. Для отдельных веществ эта доза соответствует предельно-допустимой концентрации (ПДК) данного вещества.

Процесс самоочищения водоемов от попадающих в него загрязнений происходит под воздействием ряда факторов, которые условно можно разделить на:

1) физические – разбавление загрязнений чистой водой (снижается концентрация загрязнений), оседание нерастворимых частиц и бактерий, ультрафиолетовое излучение Солнца (обеззараживание);

2) химические – растворение и окисление органических и неорганических веществ в водоеме;

3) биологические – разложение органических загрязнений под воздействием гидробионтов (водные растительные и животные организмы).

В первую очередь при попадании в водоём загрязнения разбавляются (рассеиваются), а часть их (например, нефтяные битумы) оседает на дно водоема или всплывает в виде плёнки или пены. Всплывшие загрязнения частично испаряются с поверхности воды (летучие органические вещества), другие разлагаются под воздействием ультрафиолетовых лучей. Многие вещества гидролизуются (вступают в реакцию с водой), что также способствует самоочищению. В частности, при гидролизе аммонийных солей образуется гидроксид аммония, а благодаря летучести аммиака его концентрация снижается. Схема процесса самоочищения представлена на рис. 8.2.

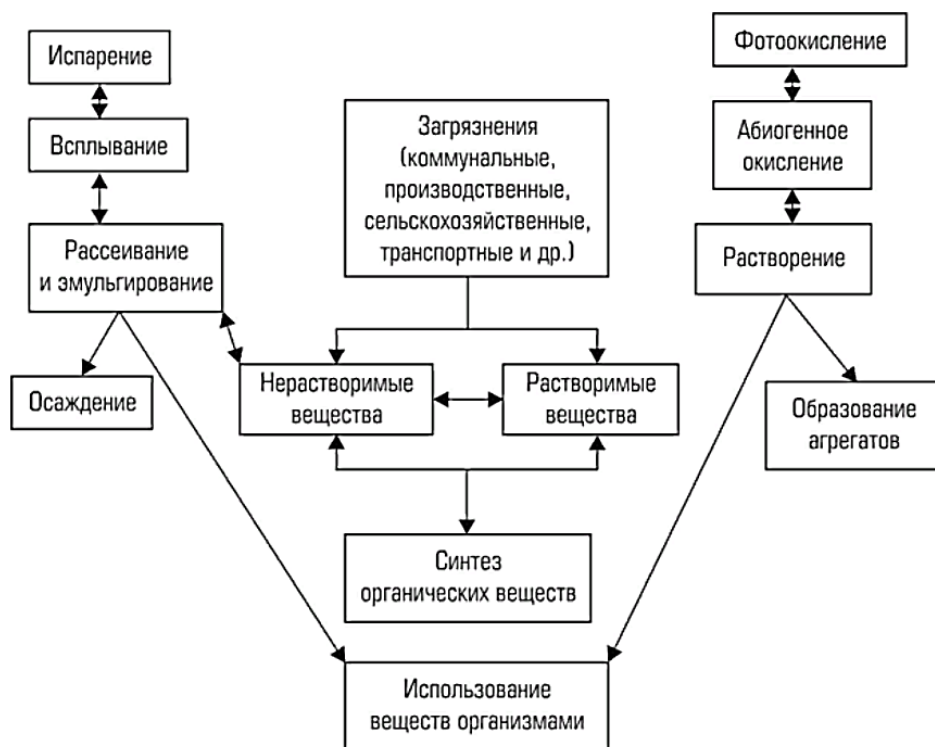


Рис. 8.2. Схема самоочищения водоёма

Основная роль в процессе самоочищения принадлежит биологическому фактору (рис. 8.3).

Главная роль в процессе самоочищения принадлежит микроорганизмам, особенно бактериям, которые подразделяются на присущие данному водоему и попавшие в него извне.

Водоросли также обладают способностью непосредственно усваивать простую органику и азотные и фосфорные соединения. К тому же водоросли насыщают воду кислородом. Однако при чрезмерном развитии водорослей может произойти вторичное загрязнение водоёма после их отмирания. Очень важны для процесса самоочищения высшие водные растения — макрофиты, которые способны изымать биогенные элементы (азот, фосфор, калий), соединения тяжелых металлов, фенолы, нефтепродукты и др., а также снабжают воду кислородом.



Рис. 8.3. самоочищение водоема под действием гидробионтов

Водные животные – моллюски и рыбы также являются мощным фактором самоочищения водоемов.

#### 8.4. Определение предельно-допустимого сброса

Нормирование сбросов загрязняющих веществ в природную среду производится путем установления величин предельно-допустимых сбросов (ПДС) данных веществ со сточными водами в водные объекты и на рельеф местности. К поверхностным водным объектам относятся воды рек, каналов, коллекторов, временных водотоков, озер, водохранилищ, прудов, временных водоемов.

К рельефу местности относятся различные ее понижения, в т.ч. овраги, ложбины, выработанные карьеры и т.д.

Определение ПДС производится согласно рекомендациям Положения о порядке разработки и согласования проектов экологических нормативов (Постановление Кабмина РУз №14 от 21.01.2014 г.) и РД 84.3.5:2004 «Методические указания для расчета норм предельно-допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и на рельеф местности с учетом технически достижимых показателей очистки сточных вод».

Нормативный сброс загрязняющих веществ на рельеф местности и в водные объекты устанавливается при разработке разрешения на специальное водопользование.

*ПДС – это масса загрязняющего вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в водные объекты и на рельеф местности в единицу времени с целью обеспечения нормы качества воды.*

Величина ПДС определяется:

$$ПДС = q \cdot C \quad (\text{г/ч}), \quad (8.1)$$

где  $q$  – среднесуточный часовой расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$C$  – допустимая к сбросу концентрация загрязняющих веществ,  $\text{г}/\text{м}^3$ . Величина  $C$  определяется в зависимости от класса опасности загрязняющего вещества, источника образования и категории содержащих его сточных вод, наличия на объекте очистных сооружений для удаления данного вещества, а также категории водоприемника.

Определение норм ПДС для действующих объектов должно проводиться при обязательном учете загрязняющих веществ, содержащихся во всех категориях сточных вод, сбрасываемых данным объектом в поверхностные водные объекты либо на рельеф местности.

ПДС загрязняющих веществ, содержащихся в очищенных сточных водах, определяется с использованием в качестве норматива показателей ( $C$ ), технически достижимых при очистке сточных вод объекта той отрасли промышленности, к которой относится предприятие. При расчете норм ПДС для загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами, подвергаемыми очистке, используются следующие технически достижимые показатели:

ТДП<sub>1</sub> – показатели сточных вод, достижимые при оптимальной эксплуатации действующих на объекте очистных сооружений;

ТДП<sub>2</sub> – показатели сточных вод, достижимые при применении типовой технологии, обеспечивающей наилучшее качество очищенной воды с учетом технических и экономических возможностей в каждый установленный Госкомприроды период времени;

ТДП<sub>3</sub> – показатели сточных вод, достижимые при применении наиболее эффективной технологии, и максимально приближенные к нормативам ПДК.

Варианты типовых рекомендуемых технологий очистки и показателей ТДП приведены в РД 84.3.5:2004 «Методические указания для расчета норм предельно-допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и на рельеф местности с учетом технически достижимых показателей очистки сточных вод».

Рассмотрим пример рекомендуемых технологий очистки сточных вод для транспортных предприятий.

Источники загрязнения – авторемонтные мастерские, автомойки, гаражи, автопарки. Основные загрязнители – нефтепродукты, взвешенные вещества.

Типовая технология очистки, соответствующая ТДП<sub>2</sub>: механическая очистка в отстойниках, оснащенных нефтеловушками, фильтрование с использованием кассетных фильтров.

Наиболее эффективные технологии, соответствующие ТДП<sub>3</sub>:

- механическая очистка в отстойниках, оснащенных нефтеловушками, фильтрование на каркасно-засыпных фильтрах (ТДП<sub>3</sub><sup>I</sup>);
- механическая очистка в отстойниках, оснащенных нефтеловушками, фильтрование на каркасно-засыпных фильтрах, доочистка на активированных углях (ТДП<sub>3</sub><sup>II</sup>).

## 8.5. Определение необходимой степени очистки сточных вод

### 8.5.1. Учет факторов самоочищения водоемов в расчетах

При определении ПДС, а также требуемой степени очистки сточных вод, необходимо учитывать самоочищающую способность водоема, которая зависит от условий смешивания и разбавления сточных вод. Эти условия учитываются с помощью коэффициентов смешивания и кратности разбавления.

Расчет разбавления в средних и больших реках обычно выполняют по методу Фролова – Родзиллера. Коэффициент смешивания:

$$a = \frac{1 - e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}}, \quad (8.2)$$

где  $Q$  – расход воды (при 95%-ной обеспеченности) в реке в месте выпуска сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $L$  – длина русла от места выпуска сточных вод до расчетного створа, м;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешивания.

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \quad (8.3)$$

где  $\xi$  – коэффициент, учитывающий тип выпуска (для берегового выпуска  $\xi = 1$ , для руслового  $\xi = 1,5$ );  $\varphi$  – коэффициент извилистости русла, определяется как отношение длины русла от выпуска до расчетного створа по фарватеру к кратчайшему расстоянию между этими створами;

$E$  – коэффициент турбулентной диффузии:

$$E = v_{cp} H_{cp} / 200, \quad (8.4)$$

где  $v_{cp}$  – средняя скорость течения воды в реке на рассматриваемом участке, м/с;  $H_{cp}$  – средняя глубина реки на том же участке, м.

Кратность разбавления в расчетных створах определяется по формуле

$$n = \frac{\alpha Q + q}{q}. \quad (8.5)$$

### **ЗАДАНИЕ!**

Найдите в литературе и изучите самостоятельно особенности определения коэффициента смешивания и кратности разбавления в озерах.

#### **8.5.2. Определение необходимой степени очистки сточных вод**

Необходимую степень очистки сточных вод определяют по каждому виду загрязнений:

1) *По содержанию взвешенных веществ*

Допустимое содержание взвешенных веществ ( $m$ ) в спускаемых в водоем сточных водах определяется по уравнению

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p), \quad (8.6)$$

откуда

$$m = p \cdot \left( \frac{aQ_p}{q} + 1 \right) + b_p, \quad (8.7)$$

где  $a$  – коэффициент смешивания (формула (8.2));  $p$  – допустимое санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод,  $г/м^3$ ;  $b$  – фоновая (до спуска сточных вод) концентрация взвешенных веществ в водоеме,  $г/м^3$ .

Степень необходимой очистки по взвешенным веществам:

$$\Theta = \frac{C - m}{C} 100\%, \quad (8.8)$$

где  $C$  – содержание взвешенных веществ в сточной воде до очистки,  $мг/л$ .

2) *По растворенному кислороду в воде водоема.*

Количество растворенного в воде кислорода зависит от БПК сточных вод, сбрасываемых в водоем. Поэтому для каждого водоема определяют максимальную величину БПК сбрасываемых сточных вод.

Это выполняется двумя способами: 1) с учетом только того растворенного кислорода, который имеется в речной воде у места спуска сточных вод и не пополняется; 2) с учетом пополнения кислорода за счет реэрации (проникновение в воду из воздуха через границу раздела фаз).

При расчетах по первому способу уравнение баланса кислорода составляется при условии, что концентрация растворенного кислорода в воде водоема должна быть не ниже 4 или 6 г/м<sup>3</sup> в течение первых двух суток.

Тогда допустимая величина БПК сбрасываемых сточных вод ( $L_{\text{полн}}^{\text{ст}}$ ), сбрасываемых в водоем, исходя из условий минимального содержания растворенного кислорода, выражается уравнением

$$L_{\text{полн}}^{\text{ст}} = \frac{aQ_p}{0,4q} (O^p - 0,4L_{\text{полн}}^p - O) - \frac{O}{0,4}, \quad (8.9)$$

где  $L_{\text{полн}}^{\text{ст}}$  – полное БПК сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – минимальный расход воды в реке, м<sup>3</sup>/сут;  $O^p$  – фоновая концентрация растворенного кислорода в речной воде до места сброса сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $q$  – расход сбрасываемых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $L_{\text{полн}}^p$  – полное БПК речной воды, г/м<sup>3</sup>; 0,4 – коэффициент для пересчета полного БПК за двое суток;  $a$  – коэффициент смешения;  $O$  – минимально допустимая концентрация кислорода в воде (4 или 6 г/м<sup>3</sup>).

При расчете по второму методу учитывается средняя скорость течения воды и её температура, константы скоростей потребления и восполнения кислорода. Этот расчет даёт более полные и точные результаты, но для него требуются специальные натурные изыскания на расчетном участке реки.

*Расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК<sub>полн</sub>.* В расчете учитывают частичное самоочищение сточной воды в водоёме.

Величина БПК<sub>полн</sub> сточных вод, прошедших очистку:

$$L_{\text{ст}} = \frac{aQ_p}{q \cdot 10^{-k_{\text{ст}}t}} \cdot (L_{\text{п.д}} - L_p \cdot 10^{-k_p t}) + \frac{L_{\text{п.д}}}{10^{-k_{\text{ст}}t}}, \quad (8.10)$$

где  $a$  – коэффициент смешения;  $Q$  – расход воды в водоеме, м<sup>3</sup>/с;  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $k_{\text{ст}}$  и  $k_p$  – константы скоростей потребления кислорода сточными водами и речной водой;  $L_{\text{п.д}}$  – предельно допустимое значение БПК<sub>полн</sub> смеси речной и сточной воды в расчетном створе (для водоемов первой и второй категории соответственно 3 и 6 мг/л);  $L_p$  – БПК<sub>полн</sub> речной воды до места выпуска сточных вод, мг/л;  $t$  – длительность передвижения воды от места сброса сточных вод до расчетного створа, сут.

$$t = \frac{L_{\text{фар}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (8.11)$$

где  $L_{\text{фар}}$  – расстояние по фарватеру реки от места сброса сточной воды до расчетного створа, км.

Необходимая степень очистки:

$$\Theta = \frac{L_a - L_{\text{ст}}}{L_a} 100\%, \quad (8.12)$$

где  $L_a$  – БПК<sub>полн</sub> сточных вод, подаваемых на очистные сооружения.

### 3) По допускаемой температуре.

Данный расчет производится исходя из условия, что максимальная летняя температура воды не должна увеличиваться в месте сброса сточных вод



больше, чем на 3°. Температура спускаемых в водоем стоков  $T_{ст}$  должна удовлетворять условию:

$$T_{ст} \leq nT_{доп} + T_{макс} \quad (8.13)$$

где  $T_{доп}$  — допускаемое санитарными нормами повышение температуры воды водоема в месте сброса сточных вод.

Полученную расчетную величину  $T_{ст}$  сравнивают с температурой исходных сточных вод  $T_{исх}$  и при необходимости предусматривают их охлаждение.

#### 4) Определение необходимой степени очистки воды по изменению рН.

В водоёмы могут сбрасываться сточные воды, содержащие растворенные кислоты или щелочи, которые изменяют щелочность и активную реакцию воды в водоеме. Кислоты взаимодействуют с бикарбонатами кальция, в следствие чего снижается щелочность воды и повышается содержание свободной углекислоты. При сбросе щелочных стоков происходит их нейтрализация свободной углекислотой и бикарбонатами.

Связь между концентрацией водородных ионов рН, бикарбонатной угольной кислоты  $\text{HCO}_3^-$  и свободной угольной кислоты  $\text{CO}_2$  выражается в виде следующих зависимостей:

- при сбросе кислых стоков

$$\text{pH}_ф = \text{pK}_1 + \lg \frac{P_p A [\text{HCO}_3^-] - P_ф B}{P_p A \text{CO}_2/44 + P_ф B} \geq 6,5, \quad (8.14)$$

где  $\text{pH}_ф$  — активная реакция воды в расчетном створе при фактическом режиме;  $\text{pK}_1$  — отрицательный логарифм первой константы диссоциации угольной кислоты;  $P_p, P_ф$  — расчетная и фактическая кратность разбавления;  $A$  и  $B$  — коэффициенты, определяемые по формулам

$$A = 1 + 10^{\text{pH}_ф - \text{pK}_1}; \quad B = [\text{HCO}_3^-] - (\text{CO}_2/44) \times 10^{\text{pH}_ф - \text{pK}_1},$$

$\text{HCO}_3^-$  — концентрация бикарбонатов, мг-экв/л;  $\text{CO}_2$  — концентрация свободной угольной кислоты, мг/л,

- при сбросе щелочных сточных вод

$$\text{pH}_ф = \text{pK}_1 + \lg \frac{P_p A [\text{HCO}_3^-] - 0,273 P_ф B}{P_p A \text{CO}_2/44 - P_ф B} < 8,5, \quad (8.15)$$

Где  $A = 0,273 - 10^{\text{pH}_ф - \text{pK}_1}$ ,  $B$  — определяется так же, как для кислых вод.

Таким образом, при сбросе щелочных и кислых стоков необходимо обеспечить сохранение рН воды в водоеме в пределах 6,5—8,5 (для водоемов первой и второй категории).

#### 4) Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию вредных веществ.

Вредные и токсичные вещества в промышленной сточной воде весьма разнообразны по своему составу. Нормируют их по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ). Под ЛПВ понимается наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества. По ЛПВ все вещества в водоемах подразделяются на три группы: санитарно-токсикологический ЛПВ, общесанитарный ЛПВ и органолептический ЛПВ.

Санитарное состояние водоема при попадании в него со сточными водами вредных и токсичных веществ можно считать удовлетворительным при соблюдение двух основных условий: ПДК каждого вещества, входящего в определенный лимитирующий показатель вредности, должна быть уменьшена во столько раз, сколько наименований вредных веществ имеется в сточных водах и водоеме; сумма соотношений концентраций всех веществ к их предельно допустимым концентрациям, не превышает 100 %:

$$\sum_1 \frac{C_{\text{ст}}^i}{C_{\text{доп}}^i} < 1, \quad (8.16)$$

где  $C_{\text{ст}}^i$  — расчетная концентрация  $i$ -го вредного вещества в расчетном створе;  $C_{\text{доп}}^i$  — предельно допускаемая концентрация соответствующего вещества;  $i$  — число вредных веществ с одинаковым ЛПВ.

Каждое вещество (при условии одновременного присутствия с другими вредными веществами из одной группы ЛПВ) должно иметь в расчетном створе концентрацию:

$$C_{\text{ст}} < C_{\text{доп}}^i \left( 1 - \sum_1 \frac{C_{\text{ст}}}{C_{\text{доп}}^i} \right), \quad (8.17)$$

Где  $C_{\text{доп}}^i$  — предельно допускаемая концентрация расчетного вещества.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Объясните процесс самоочищения водоемов.
2. Коэффициент смешивания и его определение.
3. Как определяется кратность разбавления для проточных водоемов?
4. Как определить необходимую степень очистки по температуре?
5. Необходимая степень очистки по взвешенным веществам.
6. Классификация водоемов.
7. Условия сброса сточных вод в водоемы
8. Определение ПДС
9. Что такое технически достижимые показатели очистки?

## Глава 9. Определение ущерба от сброса сточных вод в водоемы

### 9.1. Экономическая оценка ущерба от загрязнения окружающей природной среды

Необходимость в расчетах экономического и социального ущерба от загрязнения окружающей среды была вызвана практическими требованиями определения эффективности затрат, направляемых на предотвращение или снижение загрязнения и порчи ресурса и, следовательно, уменьшение ущерба. Общая сумма затрат на охрану природы до начала осуществления экономических реформ была равна примерно 1% валового национального продукта. Поэтому показатель экономического ущерба стал применяться в плановых расчетах для выбора наиболее эффективного природоохранного мероприятия. Основным принцип расчета – сопоставление предотвращенного ущерба с затратами.

Загрязнение и истощение окружающей среды в результате антропогенной деятельности наносит урон состоянию экологических систем, хозяйственным объектам и здоровью людей. Соответственно различают три вида ущерба: экологический, экономический и социальный.

*Экологический ущерб* характеризуется нарушениями, возникающими в природных системах. Негативные последствия могут наступить даже при небольших отклонениях от оптимального состояния, а при достижении критического уровня происходят необратимые изменения в экосистемах.

*Экономический ущерб* представляет собой денежное выражение фактических или возможных потерь народного хозяйства из-за ухудшения экологической ситуации под воздействием антропогенной деятельности.

*Социальный ущерб* — это оценка ухудшения качества жизни людей из-за загрязнения воздуха и воды, экологически неблагоприятных продуктов питания, шумового воздействия и т.п. Ухудшение качества жизни подразумевает рост заболеваемости и сокращение продолжительности жизни людей, ухудшение условий труда и отдыха населения и жизнедеятельности в целом.

Социальные потери подразделяются на 2 категории:

1) *Восполнимые* потери – измеряются в стоимостных показателях. К ним относятся прямые расходы в здравоохранении и *социальном* обеспечении (оплата больничных листов, затраты на лечение), потери производства от невыходов на работу (рассчитываются по среднедневной зарплате работника и такой же величине прибавочного продукта), снижение производительности труда и пр. По оценкам французских исследователей, одно лишь только шумовое воздействие (городской шум) снижает производительность физического труда на 30 %, умственного — на 60 %. В целом же экологическая оптимизация среды обитания может обеспечить увеличение производительности труда не меньше, чем на 3 %.

2) *Невосполнимый социальный ущерб* – неизмеримые показатели: ухудшение здоровья, снижение творческой активности, досрочный уход на пенсию по состоянию здоровья, сокращение продолжительности жизни, психологический

дискомфорт и т.п.

Наибольший практический интерес представляет определение *совокупного (суммарного) ущерба региону* из-за загрязнения и истощения окружающей среды, который складывается из экономического и социального.

*Совокупный предотвращенный ущерб* отражает потери экономики и общества при отсутствии природоохранных мероприятий. Можно представить его в виде суммы ряда локальных ущербов (рис. 9.1).

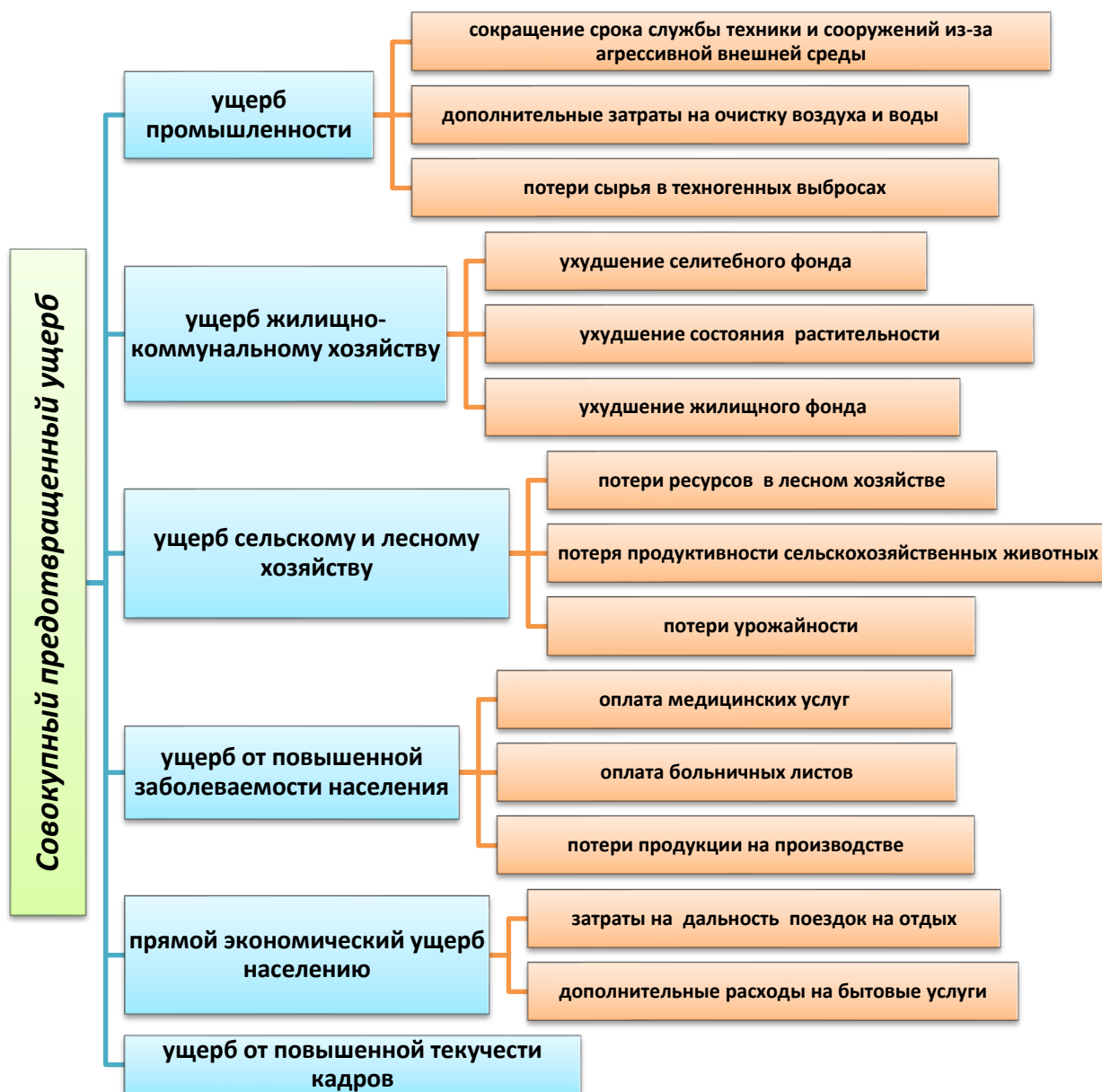


Рис. 9.1. Схема составляющих совокупного предотвращенного ущерба

Определение экономического ущерба – сложная комплексная задача и связана с большими методическими трудностями. Для каждого компонента природы и каждого реципиента требуются индивидуальные расчетные методики, связанные с непростыми вычислениями.

В настоящее время используются три *основных методических подхода* к оценке экономического ущерба (рис. 9.2).

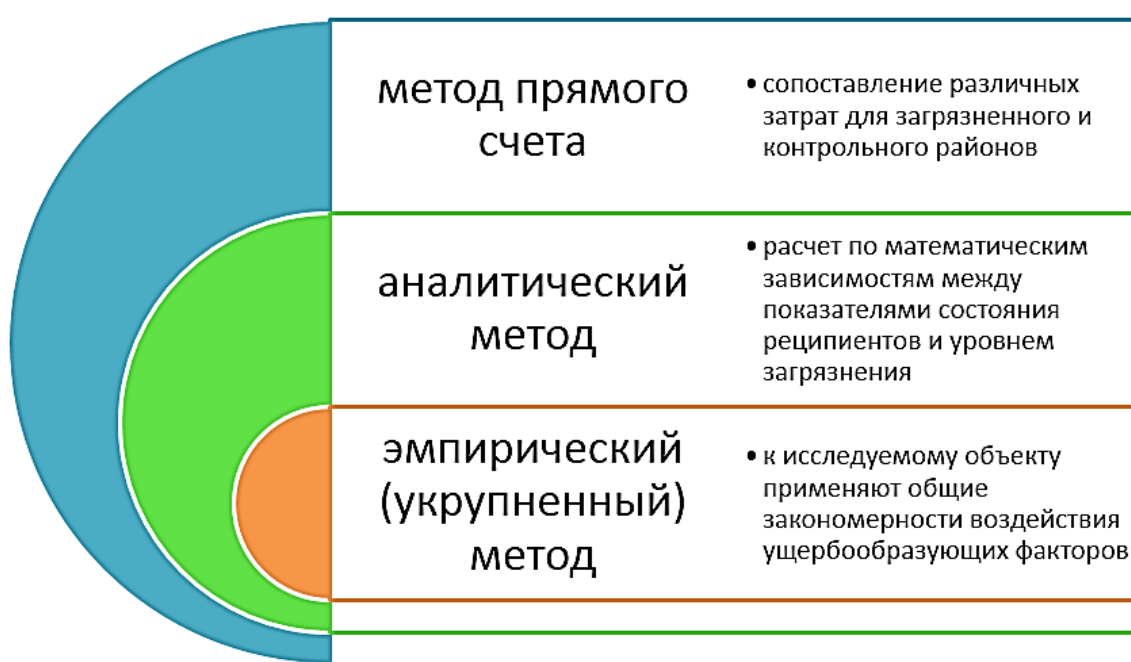


Рис. 9.2. Методы оценки экономического ущерба

Все эти методы различны по функциональному назначению. Оценка ущерба методами прямого счета и аналитическим очень трудоемки, для них требуется сбор и обработка огромных объемов информации, поэтому эти методы не находят широкого применения. Обычно их используют как инструментом при создании теоретической и информационной базы для разработки эмпирической методики определения ущерба.

## 9.2. Укрупненная оценка ущерба от загрязнения водоемов

Укрупненная оценка, как говорилось выше, применяется наиболее часто, так как основана на универсальных зависимостях, применимых для любых частных условий.

Оценка ущерба  $У$  от сброса загрязняющих примесей в водохозяйственный участок №  $k$  определяется по формуле

$$У = \gamma \delta_k M, \quad (9.1)$$

где  $У$  – оценка ущерба, млн. сум/год;  $\gamma$  – определяющая стоимость условной тонны сбросов, млн. сум/усл.т.;  $M$  – приведенная масса годового сброса примесей данным источником в  $k$ -й водохозяйственный участок, усл.т/год;  $\delta_k$  – константа, учитывающая значимость водохозяйственного участка.

Значение приведенной массы  $M$  рассчитывается по формуле

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i \quad (9.2)$$

где  $i$  — вид сбрасываемого загрязнителя ( $A = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $n$  – количество видов загрязнителей;

$m_i$  — общая масса годового сброса  $i$ -го загрязнителя, т/год.

$$m_i = C_i \cdot V, \quad (9.3)$$

где  $C_i$  — среднегодовая концентрация  $i$ -го загрязнителя в сточных водах, мг/л;

$V$  — объем годового сброса сточных вод в водоем, тыс.т/год;  $A_i$  — показатель относительной опасности сброса  $i$ -го вещества в водоемы, усл.т. Значение величины  $A_i$  для любого загрязняющего вещества определяется по формуле

$$A_i = \frac{1}{\text{ПДК}_{рхi}} \quad (9.4)$$

где  $\text{ПДК}_{рх}$  — предельно допустимая концентрация  $i$ -го загрязнителя в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей.

Для наиболее распространенных загрязнителей значение  $A$  принимается по табл. 9.1.

Табл. 9.1

Значения ПДК и показатель относительной опасности для наиболее распространенных загрязняющих веществ

№	Вещество	ПДК <sub>рх</sub> , г/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>сан.быт.</sub> , г/м <sup>3</sup>	$A_i$ , усл. т/т
1.	БПК <sub>полн</sub>	3.0	-	0.33
2.	Взвешенные вещества	20	-	0,05
3.	Сульфаты		-	0.002
4.	Хлориды		500	0,003
5.	Азот общий		350	0.1
6.	СПАВ	0.5	10	2
7.	Нефть и нефтепро-	0.05	-	20
8.	Медь	0.01	-	100
9.	Цинк	0.01	-	100
10.	Аммиак	0.05	-	20
11.	Мышьяк	0.05	-	20
12.	Цианиды	0.05	-	20
13.	Стирол	0.1	-	10
14.	Формальдегиды	0.1	-	10

Для тех веществ, по которым в действующих списках ПДК указано «отсутствие», для оценки ущерба принимают значение  $A = 5 \cdot 10^4$  усл.т/т.

Рассмотренный метод укрупненной оценки нельзя применять в случае залповых сбросов.

### 9.3. Оценка социально-экологического ущерба от загрязнения рек сточными водами

Полный расчет ущерба, наносимого народному хозяйству государства антропогенным воздействием на водные ресурсы, можно производить на основе экономической оценки и учета факторов, влияющих на экологические ситуации региона, которые включают экономический  $\mathcal{E}_i$ , социально-экономический  $\mathcal{E}C_i$  и социальный ущерб  $C_i$ . Таким образом, ущерб загрязнения вод определяется как сумма отдельных ущербов

$$Ущ_S = \mathcal{E}_i + \mathcal{E}C_i + C_i = (\mathcal{E}_n + \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_l + \mathcal{E}_6) + (\mathcal{E}C_3 + C\mathcal{E}_n + C\mathcal{E}_o) + (C_3 + C_n + C_{жс}) \quad (9.5)$$

Экономический ущерб от загрязнения водных источников, наносимый сельскохозяйственным водопотребителям:

$$\mathcal{E}_n = (Ц_1 - Ц_2) \cdot ВП \quad (9.6)$$

где  $Ц_1$  и  $Ц_2$  – закупочная цена сельскохозяйственной продукции до и после загрязнения источника воды,  $ВП$  – годовой объем производства сельскохозяйственной продукции.

Экономический ущерб от потери плодородия почв:

$$\mathcal{E}_c = \Delta_{ВП} (C_2 - C_1 + \Delta K) \quad (9.7)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – ежегодные издержки на производство продукции, соответственно до и после загрязнения источника,  $\Delta_{ВП}$  – снижение годового производства продукции при загрязнении водоема и снижения плодородия почв,  $\Delta K$  – увеличение удельных капитальных вложений у водопотребителя при загрязненном водоемисточнике и потере плодородия почв.

Экономическая оценка годового ущерба  $\mathcal{E}_l$  от годичного сброса загрязняющих примесей в водоемисточник определяется по формуле (9.1)

Экономический ущерб от затрат на восстановление или поддержание нормального состояния природной среды:

$$\mathcal{E}_в = (C_{61} - C_{62}) \cdot W_1 \quad (9.8)$$

где  $C_{61}$  и  $C_{62}$  – себестоимость очистки на 1 м<sup>3</sup> воды до и после проведения водоохраных мероприятий, сум,  $W_1$  – объем загрязненных вод, м<sup>3</sup>.

Социально-экономический ущерб от повышенной заболеваемости определяется методом прямого счета – путем сопоставления показателей заболеваемости в загрязненном и контрольном (незагрязненном) районах.

Ущерб от повышенной заболеваемости  $\mathcal{E}C_3$  рассчитывается как сумма стоимости «непредвиденной» продукции и расходов на лечение

$$\mathcal{E}C_3 = H + Cm_1 + Cm_2 \quad (9.9)$$

где  $H$  – стоимость недоданной продукции, сум,  $Cm_1$  – затраты на стационарное лечение, сум,  $Cm_2$  – затраты на диспансеризацию больных, сум.

$$H = B \cdot P_{pd} \quad (9.10)$$

где  $B$  – средняя выработка от одного работника в сутки, сум,  $P_{pd}$  – число потерянных рабочих дней из-за заболеваемости.

$$Cm_1 = C_K \cdot D \quad (9.11)$$

где  $C_k$  – стоимость койко-дня в стационаре, сум/сут,  $D$  – длительность лечения в стационаре, сут.

$$Cm_2 = K_1 \cdot D_2 \quad (9.12)$$

где  $K_1$  – стоимость одного посещения врача, сум,  $D_2$  – длительность диспансеризации.

Потери  $\mathcal{E}C_n$  за счет миграции населения, вызванной ухудшением качества природной среды, рассчитывается как сумма «непроизведенной продукции и затрат на компенсацию».

$$\mathcal{E}C_n = H_1 + Z_k = (B_r + P_p) + (K_p + \Pi) \quad (9.13)$$

$H_1$  – стоимость непроизведенной из-за миграции кадров продукции, сум,  $B_r$  – среднегодовая выработка одного работника, сум,  $P_p$  – текучесть кадров из-за ухудшения качества окружающей среды, чел,  $Z_k$  – затраты на компенсации для мигрирующего населения, сум,  $K_p$  – размер компенсационных выплат, получаемых вследствие миграции,  $\Pi$  – количество людей, мигрирующих из-за ухудшения качества природной среды, чел.

Затраты  $\mathcal{E}C_o$  на дополнительный отдых, необходимый из-за недовлительного качества природной среды:

$$\mathcal{E}C_o = H + C_s = B \cdot \Pi_o + K_c \cdot D_o \quad (9.14)$$

где  $\Pi_o$  – число потерянных трудодней из-за дополнительного отдыха,  $K_c$  – стоимость койко-дня в санаториях,  $D_o$  – длительность пребывания в санатории.

Наиболее сложно определение социального ущерба от загрязнения и истощения водных ресурсов. Так как плата за социальный ущерб от загрязнения окружающей среды не установлена, её величина ориентировочно определяется на основе нормативов стоимости новых земель, как средства производства в народном хозяйстве т.е.

$$C_i = (C_s + C_n + C_{жс}) = F (C_o + K_s) \quad (9.15)$$

где  $F$  – площадь курортных зон в бассейнах рек, га;  $C_o$  – стоимость земель, сум/га,  $K_s$  – капитальные вложения, затраченные на восстановление экологической ситуации курортной зоны, сум/га.

Убытки от загрязнения водных объектов равны затратам, требуемым на восстановления качества загрязненной воды до требуемого уровня. Величина убытков зависит от массы сброшенных загрязнений, удельных величин убытков, вида загрязнения, и категорий водного объекта.

#### 9.4. Определение компенсационных выплат в Узбекистане

В РУз для компенсации ущерба от загрязнения окружающей среды введены компенсационные выплаты, зависящие от массы выбросов и сбросов загрязняющих веществ.

Сумма компенсационной выплаты за загрязнение окружающей природной среды и размещение отходов для производственных предприятий:

$$\Pi = (M_n \cdot R \cdot MPЗП) + (M_{сн} \cdot R \cdot MPЗП \cdot K_{кр}), \quad (9.16)$$



где  $\Pi$  – сумма компенсационной выплаты за загрязнение окружающей среды и размещение отходов, сум;

$M_n$  – масса сбросов загрязняющих веществ в водоемы в пределах утвержденных экологических нормативов, т;

$M_{сн}$  — масса сброса загрязняющих веществ в водоем свыше утвержденных экологических нормативов, т;

$R$  — базовая ставка за одну тонну сброса загрязняющих веществ в долях от установленного минимального размера заработной платы;

$MPЗП$  — минимальный размер заработной платы, сум;

$K_{кр}$  — коэффициент кратности при превышении утвержденных экологических нормативов сброса загрязняющих веществ, определяется дифференцированно (табл. 9.2).

Табл. 9.2

Значения коэффициента кратности  $K_{кр}$

№ п/п	Объем выбросов, сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещения отходов, выше (ниже) утвержденных экологических нормативов	Показатели коэффициента кратности при превышении (снижении) утвержденных экологических нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и размещения отходов, $K_{кр}$
1.	от 1,001 до 1,049	1,2
2.	от 1,05 до 1,059	2,2
3.	от 1,06 до 1,1	2,5
4.	от 1,11 до 1,2	3,4
5.	от 1,21 до 1,3	4,4
6.	от 1,31 до 1,5	6,0
7.	от 1,51 до 2,0	8,0
8.	от 2,1 и выше	10,0

Если фактическая масса сброса загрязняющих веществ *ниже утвержденных экологических нормативов* сбросов загрязняющих веществ, сумма компенсационной выплаты за загрязнение водоема определяется по формуле:

$$\Pi = (M_{\phi} \cdot R \cdot MPЗП) / K_{кр}, \quad (9.17)$$

где  $M_{\phi}$  — фактическая масса выбросов, сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещения отходов.

Для расчета величины компенсационных выплат учитывают:

- фактическую массу сброса загрязняющих веществ в водоем;
- данные по первичному учету сброса загрязняющих веществ по их видам;
- фактические данные ежегодной государственной статистики в области охраны природы, представленные субъектами компенсационных выплат;
- данные результатов экологического контроля, мониторинга, выполненные инструментальным методом на источниках загрязнения.

*При невозможности определения за отчетный период фактической массы сбросов загрязняющих веществ, их массу рассчитывают по ожидаемой величине годовой массы (согласно технологическому регламенту производства).*

Расчеты сумм компенсационных выплат за сверхнормативные сбросы загрязняющих веществ в коммунальные канализационные сети городов и других населенных пунктов для субъектов компенсационных выплат:

$$П = M_{сн} \cdot R \cdot МРЗП \cdot K_{кр} , \quad (9.18)$$

За размещение производственных сточных вод путем закачки в подземные горизонты компенсационные выплаты производятся как за жидкие отходы четвертого класса опасности.

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Дайте определение понятию «ущерб от загрязнения окружающей среды»
2. Назовите виды экологического ущерба.
3. Из каких составляющих складывается величина экологического ущерба?
4. Какие методы оценки ущерба Вы знаете?
5. Как оценивается социальный ущерб от загрязнения водоемов?
6. Как учитываются разновидности загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоем, при оценке ущерба?
7. В чем заключается расчет компенсационных выплат?

## Глава 10. Методы очистки коммунально-бытовых сточных вод

### 10.1. Классификация методов очистки сточных вод

Методы очистки сточных вод можно разделить: на механические, физико-химические и биохимические. В некоторых случаях выделяют еще категорию физических методов очистки (см. рис. 10.1).

В процессе очистки сточных вод образуется осадок, подвергаемый обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке и иногда последующей утилизации. Если по условиям сброса сточных вод в водоем требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки.



Рис. 10.1. Классификация методов очистки сточных вод

Сооружения механической очистки предназначены для удаления нерастворимых примесей. К ним относятся: решетки, сетки, песколовки, отстойники и различные фильтры. *Решетки* и *сетки* задерживают крупные органические и минеральные загрязнения. *Песколовки* предназначены для задержания минеральных примесей (песок, глина). *Отстойники* задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод. Для удаления из промышленных стоков специфических загрязнений применяют *жироловки*, *нефтеловушки*, *масло-* и *смолоуловители* и др.

Сооружения механической очистки позволяют удалить из сточных вод до 60 % нерастворимых веществ, и устанавливаются перед этапом биологической очистки.

*Физико-химические методы* обычно применяются для очистки промышленных сточных вод, хотя изредка используются и для очистки городских сточных вод.

Методы физико-химической очистки включают в себя: сорбцию, экстракцию, эвапорацию, дегазацию, ионный обмен, озонирование, электрофлотацию,

электродиализ и др.

*Химические методы* очистки заключаются в нейтрализации агрессивных сточных вод, а также в окислительной и восстановительной очистке.

*Биохимические методы очистки* сточных вод используют жизнедеятельность микроорганизмов, которые преобразуют растворенные органические примеси в минералы.

*Глубокая очистка* сточных вод бывает необходима, если показатели загрязнений в очищаемой воде требуется довести до уровня ПДК. Для глубокой очистки от взвешенных веществ и растворенных органических примесей применяются фильтры тонкой очистки, сорбционные, озонаторные и другие установки. Как правило, глубокая очистка сточных вод выполняется комплексом физико-химических и биологических методов.

Для очистки сточных вод предусматривается комплекс отдельных сооружений, в которых по ходу движения сточная вода постепенно очищается сначала от крупных, а затем от все более и более мелких загрязнений, находящихся в нерастворенном состоянии.

Сооружения для механической очистки составляют первую группу, в которую входят последовательно: решетки, песколовки, отстойники. Самостоятельную группу составляют сооружения по обработке осадка – метантенки или двухъярусные отстойники с иловыми площадками. В некоторых случаях осуществляется механическое обезвоживание осадка.

Ко второй группе относятся сооружения для биологической очистки, в которых окисляются оставшиеся после механической очистки органические загрязнения. Очистка сточной воды заканчивается процессом обеззараживания.

Выбор метода очистки и подбор состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от ряда факторов: необходимой степени очистки сточных вод, рельефа местности, энергетических факторов, характера грунтов, размера площади для очистных сооружений, расхода сточных вод, мощности водоема и др.

## **10.2. Принципы выбора метода удаления загрязнений**

Выбор метода очистки во многом определяется характером примесей, имеющих в сточных водах. Как рассматривалось ранее (см. Главу 7, пункт 7.2), сточные воды подразделяются на 4 группы в зависимости от дисперсного состояния имеющих в них примесей. Каждая из этих групп требует разнообразных технологических процессов очистки.

Для очистки сточных вод I группы (рис. 7.3) в основном применяются механические методы – отстаивание, центрифугирование, фильтрование и микропроцеживание. Для повышения эффективности этих процессов сточные воды могут предварительно подвергаться физико-химическим методам обработки – коагуляции или флотации. В некоторых случаях на последних стадиях очистки эти воды подвергаются бактерицидной обработке – хлорированию, озонированию или облучению ультрафиолетовыми лучами.

Сточные воды II группы в основном подвергаются физико-химическим методам: коагуляции (с последующим удалением взвеси), озонированию, обработке ультразвуком и ультрафиолетовыми лучами.

Обработка сточных вод III группы сводится, главным образом, к хлорированию, озонированию, а также аэрированию, эвапорации (выпариванию), углеванию и воздействию перманганатом калия. Кроме того, используются и биологические методы очистки – разложение примесей аэробными и анаэробными микроорганизмами.

Очистка сточных вод IV группы предполагает, в основном, применение химических методов – подщелачивание или подкисление, умягчение, опреснение и др. Могут для этих целей применяться и физико-химические методы, например, дистилляция, экстракция, вымораживание.

### **10.3. Количество и качество бытовых сточных вод и их осадков**

Городские сточные воды представляют собой использованные в населенных пунктах воды. Количество образующихся сточных вод во многом зависит от климатических условий. Например, в засушливых районах объем бытовых сточных вод обычно меньше, чем количество, забираемое для водоснабжения, но в некоторых районах поток сточных вод превышает объем водоснабжения из-за инфильтрации и попадания (например, ливневой воды) в системы сбора сточных вод.

Город с населением 200 000 человек производит в среднем около 117 тыс м<sup>3</sup>/сутки неочищенных сточных вод. Количество извлекаемых очищенных сточных вод существенно не уменьшается по сравнению с исходным количеством неочищенных сточных вод, особенно если осадок обезвоживается.

Качество очищенных сточных вод должно соответствовать санитарным нормам (например, в США должно достигаться среднее месячное биохимическое потребление кислорода БПК (мера количества биоразлагаемого органического материала, остающегося в очищенных сточных водах) 30 мг/л и количество взвешенных веществ (частицы удаляются фильтрацией) 30 мг/л.

Объем осадка бытовых сточных вод, образующийся на очистных сооружениях, трудно определим, поскольку он изменяется в результате типичной обработки осадка. Поскольку масса сухих твердых веществ сохраняется во время большинства процессов очистки, сухой вес является более конкретной величиной для выражения количества осадка от очистки городских сточных вод. Обычная первичная и вторичная очистка сточных вод дает в общей сложности около 0,94 кг сухих веществ на 3,78 м<sup>3</sup> очищенных сточных вод. Химическая добавка к шламу во время процессов кондиционирования и стабилизации (см. Главу 16) может значительно увеличить массу твердых частиц в шламе. Биологическая стабилизация снижает массу взвешенных твердых частиц за счет окисления некоторых летучих органических твердых веществ в илах.

Например, если ил содержит 80 % летучих взвешенных твердых частиц и 50 % из них разрушаются в результате окисления, стабилизированная масса твердых частиц ила будет уменьшена до 60 % от первоначальной.

## 10.4. Основные подходы к очистке городских сточных вод и осадка

На городских очистных сооружениях коммунально-бытовые сточные воды проходят предварительную, первичную, вторичную и, в некоторых случаях, дополнительную очистку для получения очищенных сточных вод и концентрированного потока твердых веществ в жидкости, называемого осадком. Осадок обрабатывается в соответствии с требованиями для утилизации или захоронения, и может потребоваться дополнительная обработка сточных вод для обеспечения конкретных возможностей повторного использования воды.

Практика очистки городских сточных вод изначально развивалась в первую очередь для обеспечения сброса очищенных сточных вод в поверхностные воды, а не для облегчения использования сточных вод на сельскохозяйственных культурах. В настоящее время во многих странах Европы, а также в США методы очистки городских сточных позволяют как осуществление сброса в поверхностные воды, так и использование для орошения сельскохозяйственных земель.

**Повторное использование.** Стоки очистных сооружений могут сбрасываться в поверхностные водоемы или заболоченные земли, использоваться для подпитки подземных водоносных горизонтов путем просачивания через землю или закачки в глубокие скважины. Их можно рассматривать как альтернативный источник воды (из-за содержания в них азота и фосфора) и использовать для орошения полей для гольфа, парков, питомников растений и ферм. Они также могут быть источником воды для искусственных водоемов угодий, внося питательные вещества, поддерживающие водную среду, тем самым улучшая среду обитания диких животных. Кроме того, сточные воды могут использоваться в промышленности в качестве охлаждающей или подпиточной воды для химических процессов.

Повторное использование сточных вод для выращивания пищевых культур, для пополнение грунтовых вод или орошения городских ландшафтов, обычно происходит после вторичной очистки сточных вод и может потребовать дополнительной очистки. Обработка для получения оборотной воды часто дополняет вторичную очистку коагуляцией, фильтрацией и дезинфекцией.

*Подумайте! Какие ограничения или дополнительные требования надо учитывать при подготовке сточных вод к повторному использованию в сельском хозяйстве?*

Образующийся после обработки шлам (осадок) можно утилизировать (например, на свалке) или использовать для производства продовольственных культур или в других целях (например, в лесоводстве и сельском хозяйстве не-продовольственных культур).

Выбор методов очистки зависит не только от направления дальнейшего

использования, но и от расхода сточных вод. При больших расходах сточных вод можно применять технологическую схему с механической очисткой сточных вод, которая производится на решетках, в песколовках и отстойниках.

Если сточные воды сбрасываются в мощный водоём, и по местным условиям можно ограничиться только механической очисткой, очистку можно осуществлять по схеме: задержание крупных примесей на решетках, затем прохождение через песколовку (выделение тяжелых минеральных частиц) и отстойники (осаждение органических веществ) и на последнем этапе обеззараживание воды хлором. Осадок обрабатывается в метантенках, а затем подсушивается на иловых площадках.

При небольших расходах стоков и необходимости проведения полной биологической очистки, можно рекомендовать схему, по которой механическая очистка проводится с помощью решеток, песколовок и двухъярусных отстойников, в которых взвешенные вещества не только осаждаются, но и подвергаются анаэробному сбраживанию. Биологическая очистка осуществляется на полях орошения или фильтрации.

## **10.5. Виды обработки коммунально-бытовых стоков**

**Предварительная обработка.** Предварительная обработка обычно начинается с удаления таких материалов, как палки, картон, ветошь, пластик, песок, жир и накипь, которые могут повредить очистные сооружения или ухудшить последующие операции.

Эти материалы могут быть удалены с помощью добавления химикатов, предварительной аэрации, штанг, сеток, измельчителей или песколовок. Предварительная обработка может также включать коагуляцию, флокуляцию и флотацию для удаления частиц и твердых биологических веществ из сточных вод.

**Первичная очистка.** Первичная очистка включает удаление взвешенных и плавающих материалов из сточных вод. Хорошо спроектированные и эксплуатируемые установки первичной очистки могут удалять от 60 до 75% взвешенных твердых частиц и от 20 до 35% общего БПК<sub>5</sub> (понятие БПК рассмотрено в главе 12). Однако они не удаляют коллоидные твердые вещества, растворенные твердые вещества и растворимый БПК<sub>5</sub>.

**Вторичная очистка.** Вторичная очистка снижает концентрацию растворенных и коллоидных органических веществ, и взвешенных веществ в сточных водах. Как правило, вторичная обработка снижает на 85% ХПК и БПК<sub>5</sub>, доводя их до концентраций 10...30 мг/л.

Большинство процессов вторичной обработки включают биологическую очистку. В этих процессах используются: смешанные популяции микроорганизмов, кислород и следовые количества питательных веществ. Микроорганизмы потребляют органический материал в сточных водах, чтобы поддерживать себя и воспроизводиться. Они также преобразуют твердые частицы в осаждаемые. В системах прикрепленного роста, таких как капельные фильтры, насадочные башни и вращающиеся биологические контакторы, микроорга-

низмы прикрепляются к поддерживающей среде. В системах взвешенного роста, таких как отстойники и устройства с активным илом, микроорганизмы перемещаются по сточным водам.

Сточные воды процесса вторичной очистки содержат высокие уровни взвешенных биологических твердых частиц, которые необходимо удалить перед дальнейшей обработкой или сбросом в принимающий водоем. На большинстве очистных сооружений используются отстойники для отделения твердых частиц от жидкости, можно также использовать флотацию и другие методы.

**Физико-химическая обработка.** Процессы физической и химической очистки обычно используются для удаления из сточных вод масел, жиров, тяжелых металлов, твердых частиц и питательных веществ. Например, процеживание, осаждение и фильтрация используются для физического отделения твердых частиц от сточных вод. Химическая коагуляция и осаждение используются для ускорения седиментации (осаждения). Адсорбция активированным углем используется для удаления органических загрязнителей. Хлорирование до точки насыщения и добавление извести используются для снижения концентрации азота и фосфора соответственно. (Дополнительную информацию о физико-химической обработке см. в Главе 13).

**Усовершенствованная очистка сточных вод.** Процессы усовершенствованной очистки сточных вод обычно используются для дальнейшего снижения концентрации питательных веществ (азота или фосфора) и растворимых органических химикатов в стоках вторичной очистки. Эти процессы могут быть физическими, химическими, биологическими или комбинированными. Например, мембранная фильтрация – микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос – используется для удаления из сточных вод органических, питательных веществ и патогенов. (Традиционно эти способы использовались для очистки промышленных сточных вод, но набирают популярность на городских очистных сооружениях.)

**Дезинфекция.** Дезинфекция инактивирует или уничтожает патогенные бактерии, вирусы и цисты простейших, которые обычно встречаются в коммунально-бытовых сточных водах. Эти патогены вызывают такие передающиеся через воду заболевания, как бактериальная дизентерия, холера, инфекционный гепатит, паратиф, полиомиелит и брюшной тиф. Рост повторного использования воды для орошения и других целей потребовал изменения методов дезинфекции. Процессы химической дезинфекции с использованием галогенов, особенно хлора, исторически преобладали в области очистки сточных вод. Однако сомнения по поводу безопасности хлора и требования дехлорирования сделали более популярными другие методы дезинфекции, такие как озонирование и ультрафиолетовое облучение. Озонирование включает использование радикалов озона для разрушения клеточных стенок патогенов. Ультрафиолетовое облучение предполагает использование электромагнитной энергии для разрушения генетического материала патогенного организма (ДНК и РНК). И то, и другое дороже, чем дезинфекция хлором, но более эффективно.



## 10.6. Очистка коммунально-бытовых сточных вод в Ташкенте

В городе Ташкенте исходя из его географических особенностей принята неполная раздельная система канализации, то есть коммунально-бытовые и производственные сточные воды отводятся на городские очистные сооружения по самотечной сети трубопроводов (25-30% сточных вод перекачиваются насосными станциями), а дождевые и талые воды отводятся по ирригационной лотковой системе в реки, каналы и большие арыки, проходящие по территории города.

Отвод и очистку сточных вод осуществляет ГУП «Сувсоз» по канализационным сетям и коллекторам, протяженность которых превысила 2 634 км. Общая территория канализационных сооружений: 240 га.

Сточные воды перекачиваются от пониженных мест города 13 насосными станциями, построенными в разное время. На сетях и коллекторах городской канализации имеется свыше 98 900 колодцев и камер, 30 аварийных сбросов, 39 искусственных сооружений через естественные преграды, 78 переходов под железнодорожными путями и 48 пересечений с метро.

Город разделен на два бассейна канализования – Саларский и Нижне-Бозсуйский. Начало строительства канализационных сетей относится к 1939 году, а строительство канализационных сооружений к началу 60-х годов.

Очистка городских сточных вод г. Ташкента осуществляется на трех природоохранных сооружениях общей мощностью 1 945 тыс. м<sup>3</sup>/сут:

**1. Саларская станция аэрации** – с 1961 г. осуществляет работу с проектной мощностью - 1 120 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Фактическая производительность Саларской станции аэрации – 960 тыс.м<sup>3</sup>/сут, общая площадь аэрации – 113 га. Эффективность очистки составляет около 70%.

**2. Бозсуйская станция аэрации** – с 1963 г. осуществляет работу с проектной мощностью - 800 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Производительность Бозсуйской станции аэрации - 750 тыс.м<sup>3</sup>.куб<sup>3</sup>/сут в настоящее время эффективность очистки сточных вод составляет 52% (см. рис. 10.2). Площадь Бозсуйской станции аэрации - 120 га.

**3. Бектемирские и Бинокорские сооружения** – с 1976 г. осуществляют работу с проектной мощностью 25 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Площадь Бектемирских и Бинокорских сооружений - 7 га.

Все названные городские очистные сооружения снабжены полным комплексом биологической очистки, в том числе обеззараживание очищенных сточных вод гипохлоритом натрия.



Рис. 10.2. Место сброса сточных вод с Бозсуйской станции аэрации

На очистных станциях г. Ташкента сточные воды подвергаются таким рассмотренным выше (п. 10.5) видам обработки, как предварительная обработка, первичная и вторичная очистка, дезинфекция. Процесс дезинфекции (обеззараживания) на Ташкентских очистных сооружениях раньше осуществлялся с помощью хлора, из-за чего очистные станции являлись объектами повышенной опасности. В настоящее время для процесса дезинфекции применяется гипохлорит натрия ( $\text{NaOCl}$ ), получаемый путем электролиза раствора поваренной соли непосредственно на территории очистной станции.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Дайте классификацию методов очистки сточных вод.
2. Что относится к физико-химическим методам очистки?
3. От чего зависит выбор метода очистки?
4. Как связан выбор метода очистки с дисперсным состоянием примесей?
5. Как могут использоваться очищенные городские сточные воды?
6. Какие требования предъявляют к очистке городских сточных вод?
7. В чем заключается глубокая очистка сточных вод?
8. Назовите и охарактеризуйте виды обработки городских сточных вод.
9. Как осуществляется очистка коммунально-бытовых стоков в Ташкенте?

## Глава 11. Методы и сущность механической очистки сточных вод

Механическая очистка стлужит для удаления из сточных вод различных взвешенных примесей. По принципу действия механическая очистка подразделяется на: 1) гравитационную очистку; 2) центробежную очистку; 3) фильтрование (процеживание).

### 11.1. Процеживание

Процеживание преставляет собой этап предварительной очистки сточных вод и заключается в удалении крупного мусора (ветошь, камни, бутылки и т.д.) с помощью решеток и сеток, защищая последующие процессы обработки. Если оборудование для процеживания выйдет из строя, другие последующие процессы обработки также могут выйти из строя.

Решетки подразделяются по назначению – грубой и тонкой очистки, по конструкции – стержневые, шнековые, барабанные и т.д., и по области применения (рис. 14.1).



Рис. 11.1. Классификация решеток

Решетки грубой очистки, являющиеся первой установкой очистки, защищают оборудование очистной станции от повреждений, таких как засорение труб, насосов и диффузоров для аэрации песка. Тонкие сита все чаще используются на очистных сооружениях для дополнительного удаления мусора. Эффект улавливания мусора на решетке зависит от расстояния между стержнями, а также от размера, конфигурации и количества мусора. Если расстояние между стержнями достаточно мало, органические вещества, которые следует

обрабатывать в последующих процессах, будут захвачены и удалены; если зазоры слишком большие, большая часть мусора не будет захвачена и вызовет затруднения ниже по течению.

Решетки грубой очистки состоят из параллельных прямоугольных или круглых стальных прутков с шагом 50–150 мм, устанавливаемых в канале. Стержни имеют наклон от 30 до 45 градусов от вертикали. Решетки очищают вручную или механически с помощью прочных стальных граблей. В некоторых многоканальных установках используется одна грабля, установленная на передвижном мосту, который перемещается от канала к каналу.



Рис. 11.2. Реечная решетка

*а* – процесс улавливания мусора, *б* – вид установленной в канале решетки

Реечные решетки тонкой очистки имеют аналогичную конструкцию за исключением того, что у них меньше расстояние между стержнями, обычно 18,75–50 мм. Обычно устанавливаются в канал под углом от 15 до 30 градусов от вертикали и снабжены механическими граблями для очистки. Решетчатый экран обычно располагается для облегчения работы механизма сгребания.

Скопившийся на решетках (или сетках) мусор удаляется через соответствующие промежутки времени с использованием ручных или автоматических средств. Скорость уборки зависит от многих переменных, включая тип системы сбора (раздельная или комбинированная), суточный поток, состояние системы сбора и сезонные факторы (например, осенние листья).

Мусор, удаляемый с решеток грубой очистки, обычно состоит из щепок, веток деревьев, камней и других крупных предметов. Мусор, удаляемый с решеток, обычно включает тряпки, небольшие пластиковые предметы, листья, бумагу и другие мелкие предметы. Отсев можно загружать на конвейеры для транспортировки в другое место на предприятии или размещать непосредственно в контейнерах. В конечном итоге отсев транспортируется для окончательной утилизации на полигон или мусоросжигательный завод. Все чаще на станциях очистки сточных вод используют фильтр-прессы и вакуумные контейнеры для удаления жидкости из отсева перед транспортировкой с целью уменьшения объема и веса.

Часто для исключения транспортировки мусора, уловленного на решетках, применяют его измельчение прямо на месте с использованием специальных дробилок-комминаторов (рис. 11.3).

Комминаторы измельчают твердые частицы, которые могут помешать последующим процессам очистки сточных вод. В трубах и каналах используются и другие типы измельчающих устройств, в которых установлены сдвоенные валы с режущими зубьями. Эти устройства, которым обычно предшествует решетчатая сетка, возвращают измельченные твердые частицы в поток сточных вод для их удаления последующими установками очистки.

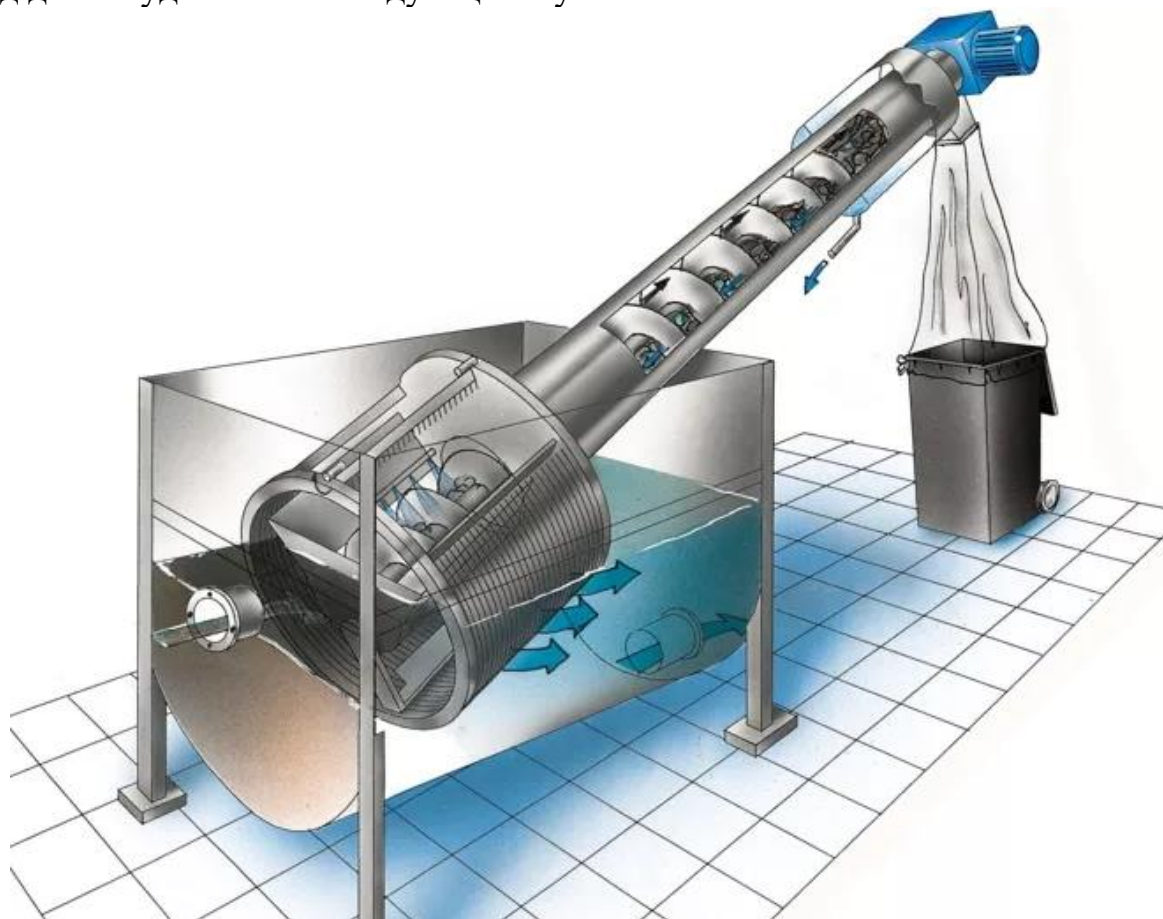


Рис. 11.3. Барабанная решетка-комминатор

Однако измельченная ветошь может отрицательно сказаться на работе и обслуживании первичных осветлителей, сгустителей и обезвоживающих устройств. Из-за потенциальных неблагоприятных воздействий на нисходящий поток и многих других трудностей, связанных с эксплуатацией и обслуживанием измельчителей, их использование ограничено.

Ленточные решетки тонкой очистки состоят из вращающегося горизонтального барабана, который приводит в движение бесконечный фильтрующий экран из перфорированных пластин (рис. 11.4). Барабан медленно вращается для удаления твердых частиц и пропускания сита через систему промывки распылением. Отверстия между пластинами такие же, как в статических решетках.



Рис. 11.4. Ленточная решетка  
*a* – общий вид, *б* – перфорированные пластины

### **Расчет решетки.**

При расчете решетки определяются основные размеры и потери напора жидкости, проходящей через решетку. Ширина решетки  $B_p$ , число прозоров  $n$ , площадь живого сечения  $\omega$  определяются по величине расхода сточных вод и заданной скорости прохождения сточной жидкости через решетку. Эта скорость должна быть не слишком большой, чтобы кинетическая энергия потока не продавливала задержанный мусор через прозоры. Как правило скорость принимается  $v_p = 0,8 \dots 1,0$  м/с.

Рассмотрим расчет стержневой решетки грубой очистки

Расход воды через решетку

$$q = \omega \cdot v_p = b \cdot n \cdot h \cdot v_p, \quad (11.1)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения решетки;  $b$  – величина прозора решетки;  $n$  – число прозоров;  $h$  – глубина потока сточной воды.

Общая ширина решетки

$$B_p = bn + S \cdot (n - 1). \quad (11.2)$$

Число прозоров

$$n = \frac{q \cdot K_{ст}}{b \cdot h \cdot v_p}, \quad (11.3)$$

где  $K_{ст}$  – коэффициент стеснения потока механическими граблями,  $K_{ст} = 1,05 \dots 1,1$ ;  $S$  – толщина стержня, мм.

Потеря напора в решетке

$$h_p = \xi \frac{v_1^2}{2g} \cdot K, \quad (11.4)$$

где  $v_1$  – скорость течения воды перед решеткой (0,7–0,8 м/с);  $\xi$  – коэффициент сопротивления решетки;  $K$  – коэффициент увеличения потерь напора из-за засорения решетки, обычно принимается  $K = 3$ .

Коэффициент сопротивления решетки

$$\xi = \beta \left(\frac{S}{b}\right)^{4/3} \cdot \sin\varphi, \quad (11.5)$$

где  $\beta$  – коэффициент формы поперечного сечения стержней (для прямоугольных – 2,42);  $\varphi$  – угол наклона решетки к горизонту;  $S$  – толщина стержня, мм.

## 11.2. Гравитационная очистка

Гравитационная очистка основана на действии силы тяжести на взвешенные в воде частицы и осуществляется в песколовках, отстойниках и жиролушках.

### 11.2.1. Песколовки

Песколовки (рис. 11.5) представляют собой прямоугольные или круглые камеры, которые можно подразделить на три типа: с ручной очисткой, с механической очисткой и аэрируемые вихревые.

Песколовки, очищаемые вручную, используются на самых маленьких предприятиях с расходом менее 1 м<sup>3</sup>/сут. Этот тип песколовки состоит, по крайней мере, из двух удлиненных гравитационных каналов с устройствами управления на их выходах для регулирования скорости сточных вод примерно на уровне 0,3 м/с. Если скорость потока превышает 0,3 м/с, неорганические частицы могут быть вымыты из резервуара. И наоборот, если скорость потока меньше 0,3 м/с, органические вещества оседают в резервуаре. У некоторых песколовок днище выполнено в форме бункера для хранения песка. Сливы в днище предназначены для опорожнения резервуаров и ручного удаления песка лопатой.

Песколовки с механической очисткой представляют собой устройства в виде резервуаров прямоугольной, круглой или квадратной формы. Большинство прямоугольных песколовок имеют устройства контроля скорости и механизм очистки. Частицы грязи соскабливаются в бункер отстойника и удаляются ковшовыми элеваторами, шнековыми конвейерами, центробежными или эрлифтными насосами. Квадратные или круглые резервуары содержат дефлекторные перегородки на входах и водослив на выходе для равномерного распределения потока.

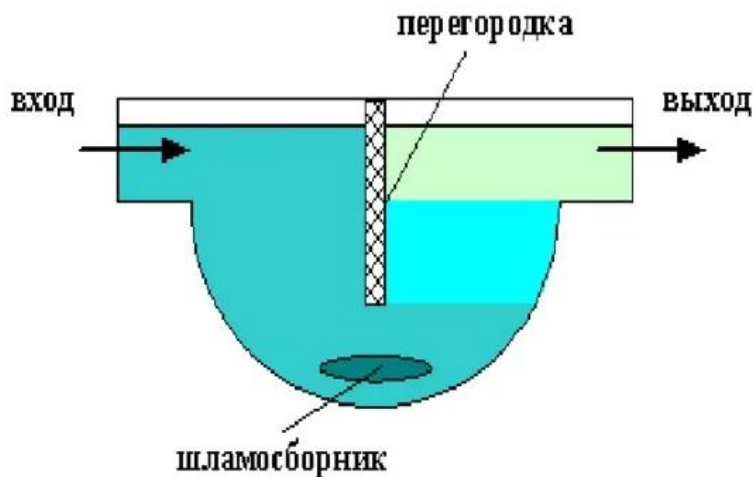


Рис. 11.5. Схема работы песколовки

Аэрируемые песколовки (рис. 11.6) обеспечивают необходимый период обработки сточных вод, достаточный для осаждения песка, за счет вращения сточных вод, вызываемого воздухом, со скоростью примерно 0,3 м/с. Сжатый воздух поступает в рабочую камеру через диффузоры с расходом от 4,6 до 12,4 л/с на 1 м длины резервуара.

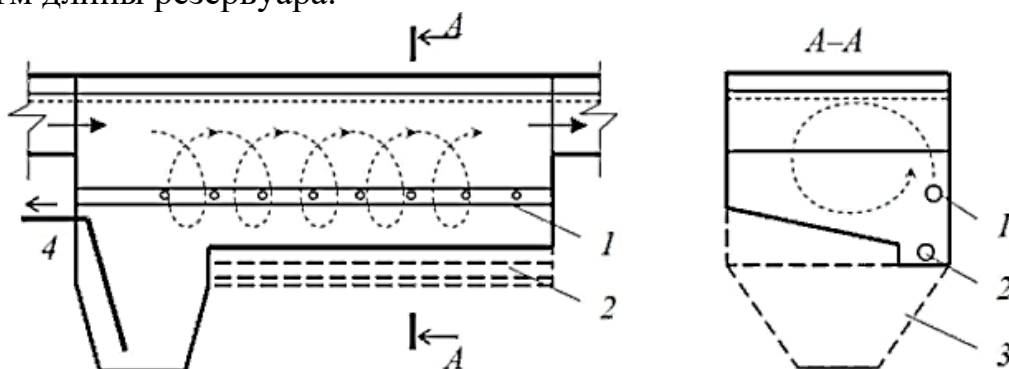


Рис. 11.6. Схема аэрируемой песколовки

1 – дырчатый аэратор; 2 – трубопровод гидросмыва осадка; 3 – осадочная часть; 4 - гидрозелеватор

### **Расчет горизонтальной песколовки.**

При расчете песколовки определяют размеры их рабочей и осадочной части.

Длина проточной части

$$L = \frac{1000 \cdot v \cdot h}{u_0}, \quad (11.6)$$

где  $v$  – горизонтальная скорость течения в песколовке (принимается не более 0,3 м/с);  $h$  – глубина проточной части песколовки, м;  $u_0$  – гидравлическая крупность взвеси, мм/с.

Ширина песколовки

$$B = \frac{q}{v \cdot h}, \quad (11.7)$$

где  $q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с.

Время пребывания воды в горизонтальной песколовке принимается 30–50 с, ширина – 0,5...2,0 м, высота рабочей части – от 0,25 до 1,0 м.



Для определения размеров осадочной части требуется знать количество песка, которое может задерживаться песколовкой в единицу времени. Обычно в городских сточных водах количество песка на одного человека составляет 0,02 л/сут при влажности осадка 60 % и объемном весе его 1,5 т/м<sup>3</sup>.

Объем осадочной части песколовки:

$$W_{oc} = \frac{p \cdot T \cdot N}{1000}, \quad (6.26)$$

где  $p$  – норма осаднения песка, л/(сут·чел);  $T$  – период между двумя чистками, сут;  $N$  – число жителей канализуемого района, чел.

Объем зоны осаднения рассчитывают не больше, чем на 2-суточный объем выпадающего песка.

### 11.2.2. Отстойники

Отстойники, как и песколовки, предназначены для улавливания частиц взвеси под действием силы тяжести. В них происходит процесс разделения твердой и жидкой фаз, при котором суспензия разделяется на две фазы:

1. осветленная жидкость выходит из верхней части отстойника (перелив).
2. концентрированный ил оседает на дно отстойника, и отводится через нижний слив.

Цели применения отстойников:

- удаление крупнодисперсной фазы.
- удаление коагулированных и флокулированных примесей.
- удаление выпавших примесей после химической обработки.
- осаждение ила (биомассы) после биологической очистки.

Взвешенные в воде твердые частицы, имеющие удельный вес выше, чем у воды, имеют тенденцию оседать под действием силы тяжести, как только турбулентность замедляется за счет хранения.

Теоретическое среднее время, в течение которого вода задерживается в отстойнике, называется периодом задержания.

#### **Типы осаднения:**

Тип I: осаждение дискретных частиц – частицы оседают индивидуально без взаимодействия с соседними частицами.

Тип II: хлопьевидные частицы – флокуляция заставляет частицы увеличиваться в массе и быстрее оседать.

Тип III: зонное осаждение – масса частиц имеет тенденцию оседать как единое целое, при этом отдельные частицы остаются в фиксированных положениях по отношению друг к другу.

Тип IV: сжатие – концентрация частиц настолько высока, что осаждение может происходить только в результате уплотнения массы.

При осаждении I типа размер, форма и удельный вес частиц не меняются со временем. Скорость оседания остается постоянной.

Если частица находится во взвешенном состоянии в воде, сначала на нее действуют две силы:

(1) сила тяжести:

$$G = \rho_{\text{ч}} g V_{\text{ч}} \quad (11.1)$$

(2) подъемная сила (сила Архимеда):

$$F_A = \rho_{\text{в}} g V_{\text{ч}}, \quad (11.2)$$

где  $\rho_{\text{ч}}$ ,  $\rho_{\text{в}}$  – соответственно плотность взвешенной частицы и воды,  $V_{\text{ч}}$  – объем частицы.

Если плотность частицы отличается от плотности воды, возникает результирующая сила, и частица ускоряется в направлении силы:

$$F_{\text{рез}} = (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) g V_{\text{ч}} \quad (11.3)$$

Эта сила становится движущей силой.

После начала движения создается третья сила из-за вязкого трения. Эта сила, называемая силой сопротивления, определяется количественно:

$$F_C = C_D A_{\text{пр}} v^2 / 2 \quad (11.4)$$

где  $C_D$  – коэффициент лобового сопротивления,  $A_{\text{пр}}$  – площадь проекции частицы,  $v$  – скорость движения частицы.

Поскольку сила сопротивления действует в направлении, противоположном движущей силе, и увеличивается пропорционально квадрату скорости, ускорение происходит с уменьшающейся скоростью, пока не будет достигнута установившаяся скорость в точке, где сила сопротивления равна движущей силе:

$$(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) g V_{\text{ч}} = C_D A_{\text{пр}} v^2 / 2 \quad (11.5)$$

Для сферических частиц

$$V_{\text{ч}} = \pi d^3 / 6 \quad \text{и} \quad A_{\text{пр}} = \pi d^2 / 4$$

Таким образом,

$$v^2 = \frac{4g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})d}{3C_D \rho_{\text{в}}} \quad (11.6)$$

Выражения для  $C_D$  меняются в зависимости от характеристик разных режимов течения. Для ламинарного, переходного и турбулентного течения значения  $C_D$  равны:

$$C_D = 24 / \text{Re} \quad (\text{ламинарный})$$

$$C_D = 24 / \text{Re} + 3 / \text{Re}^2 + 0,34 \quad (\text{переходный})$$

$$C_D = 0,4 \quad (\text{турбулентный})$$

где  $\text{Re}$  - число Рейнольдса:

Отстойники могут работать как периодически, так и непрерывно. Периодические отстойники – это резервуары, в которых вода выдерживается в течение определенного периода в состоянии полного покоя. В резервуаре с непрерывным потоком скорость потока только снижается, но не доводится до полного покоя.

Отстойники могут быть длинными прямоугольными или круглыми в плане. Длинные узкие прямоугольные резервуары с горизонтальным потоком обычно предпочтительнее круглых резервуаров с радиальным или спиральным потоком.

По характеру движения воды отстойники подразделяются на горизонтальные, вертикальные и радиальные.

**Горизонтальные отстойники** – длинные прямоугольные бассейны, наиболее устойчивые с гидравлической точки зрения, позволяющие легко регулировать поток при больших расходах.

Типичный горизонтальный отстойник (рис. 11.7, 11.8) имеет длину в 2...4 раза больше его ширины. Дно имеет небольшой наклон для облегчения соскабливания осадка. Медленно движущийся механический скребок для ила непрерывно втягивает осажденный материал в бункер для ила, откуда он периодически откачивается.

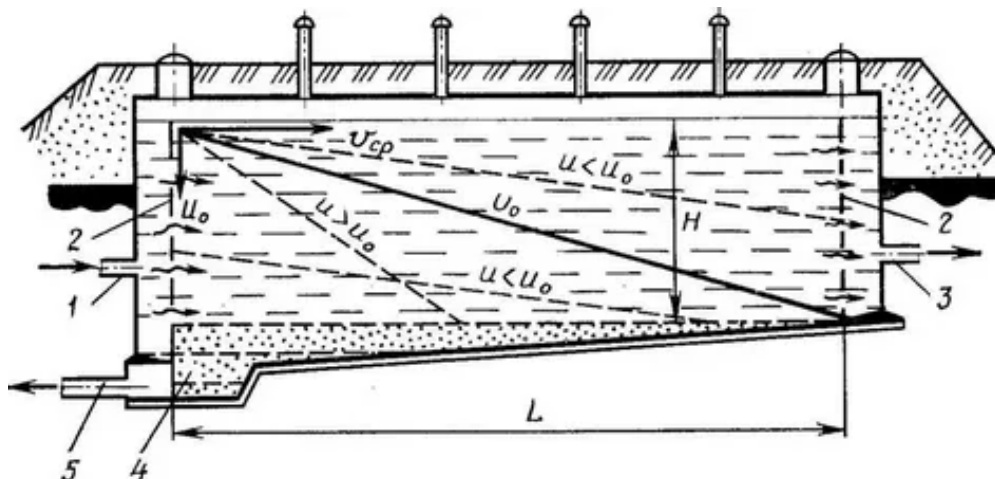


Рис. 11.7. Схема работы горизонтального отстойника и траекторий движения частиц

1 – подача воды; 2 – распределительное устройство; 3 – водослив; 4 – зона накопления осадка; 5 – выпуск осадка

$u_0$  – вертикальная скорость осаждения частицы,  $v_{ср}$  – средняя скорость движения воды,  $u$  – результирующая скорость движения частицы

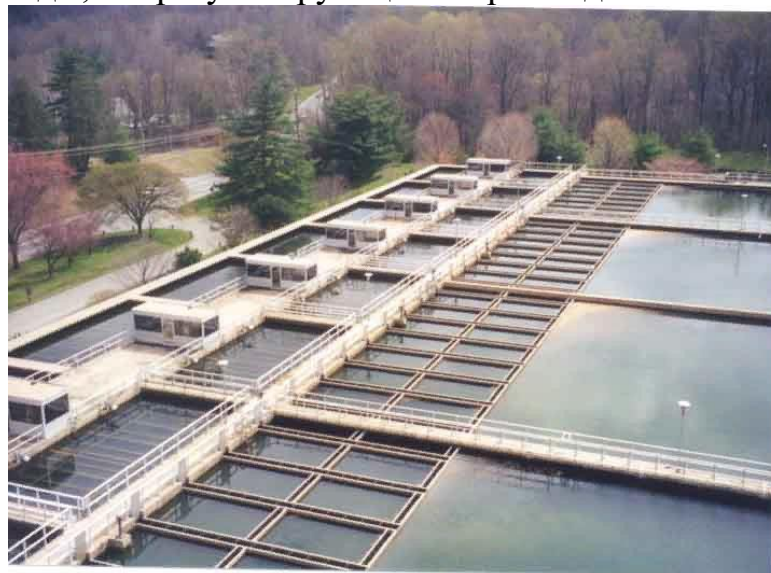


Рис. 11.8. Фото горизонтального отстойника

Горизонтальный отстойник можно разделить на четыре различные функциональные зоны:

1-я зона – входная: область, в которой поток равномерно распределен по

поперечному сечению, так что поток через зону отстаивания следует горизонтальному пути.

2-я зона – осадения: происходит оседание частиц в спокойных условиях.

3-я зона – выхода: очищенные сточные воды собираются и сбрасываются через водослив.

4-я зона – накопления осадка: расположена ниже зоны отстаивания, предназначена для сбора ила.

Размеры резервуара:  $L:V = (3...5): 1$ . Обычно  $L = 30$  м, максимум 100 м. Ширина: от 6 м до 10 м. Уклон дна 1%.

**Вертикальные отстойники** (рис. 11.9) представляют собой железобетонные или металлические резервуары, круглые или квадратные в плане, с коническим или пирамидальным дном соответственно. Отстойник имеет достаточно большую глубину (около 7 м), но меньшую сравнительно с горизонтальным отстойником занимаемую площадь. Диаметр отстойника составляет 4 – 9 м. Отстойники просты по конструкции и удобны в эксплуатации, недостатком их является большая глубина сооружений, что ограничивает их максимальный диаметр.

Чаще всего применяются отстойники с вводом воды через центральную трубу с раструбом. Сточные воды подаются в центральную трубу, оканчивающуюся раструбом и отражательным щитом (с целью гашения скорости), затем движутся сверху вниз и поднимаются по кольцевому пространству между центральной трубой и стенкой отстойника. Осаждение частиц осуществляется в восходящем потоке, скорость которого должна быть не более 0,5 – 0,6 м/с. Интенсивное разделение жидкой и твердой фаз происходит на повороте потока в нижней части отстойника. Высота зоны осадения 4 – 5 м. Очищенная вода выводится через кольцевой водослив.

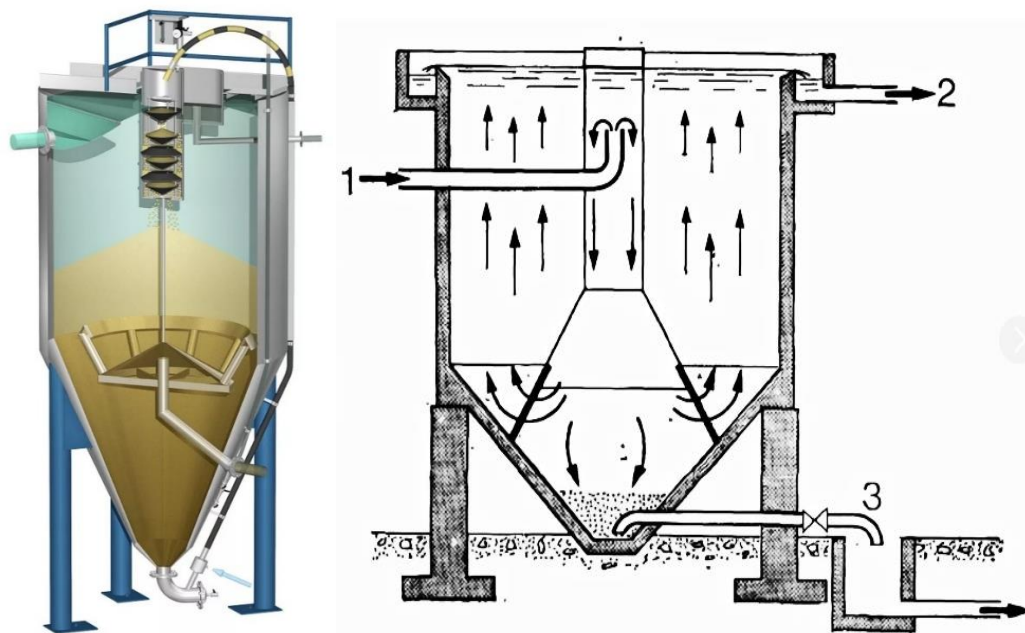


Рис. 11.9. Схема вертикального отстойника с коническим дном  
1 – поступающая сточная вода; 2 – выпуск очищенной воды; 3 – выпуск осадка

Вертикальный отстойник имеет самый низкий эффект осветления (на 10 – 20% ниже, чем в горизонтальных отстойниках). Его применяют на станциях

небольшой производительности (менее 20000 м<sup>3</sup>/сут).

**Радиальные отстойники** имеют те же функциональные зоны, что и горизонтальные, но режим потока другой (рис. 11.10). Когда поток входит в центр и отклоняется радиально к периметру, горизонтальная скорость воды непрерывно уменьшается по мере увеличения расстояния от центра. Таким образом, путь частицы в круглом резервуаре представляет собой параболу в отличие от прямого пути в длинном прямоугольном резервуаре. Механизмы удаления осадка в круглых резервуарах проще и требуют меньшего обслуживания.

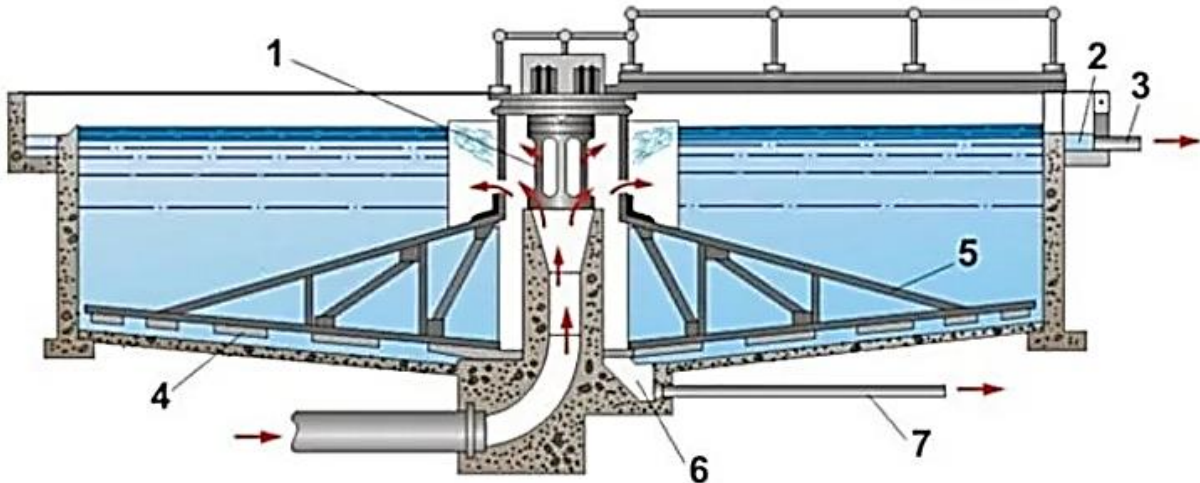


Рис. 11.10. Радиальный отстойник

1 - труба для подачи воды; 2 – кольцевой водосборный лоток; 3 – водослив; 4 – скребки; 5 – вращающаяся ферма; 6 – зона накопления осадка; 7 - отвод осадка

Частицы, падающие через отстойник, имеют две составляющие скорости:

1) Вертикальная составляющая

$$v_{ver} = \frac{(\rho_{ч} - \rho_{в}) g d}{18\mu} \quad (11.7)$$

2) Горизонтальная составляющая

$$v_{hor} = \frac{Q}{A} \quad (11.8)$$

$Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $A$  – площадь поперечного сечения потока, м<sup>2</sup>.

Путь частицы определяется векторной суммой горизонтальной скорости  $v_{hor}$  и вертикальной скорости осаждения  $v_{ver}$ .

Все частицы с  $v_{ver} > v_0$  ( $v_0$  – гидравлическая крупность – скорость осаждения частицы в спокойной воде при температуре 10 °С) будут задержаны в радиальном отстойнике.

Время обработки для простого осаждения составляет 3...4 ч, при коагулировании от 2 до 2,5 часов. Горизонтальная скорость потока не более 30 см/мин. Диаметр не более 60 м, обычно от 20 до 40 м, глубина от 2,5 до 5,0 м (обычно 3 м). Уклон днища 8%.

Радиальный отстойник обеспечивает самый высокий эффект осветления (60% и более). Он применяется на станциях большой производительности (более 20000 м<sup>3</sup>/сут). Радиальные отстойники по сравнению с горизонтальными имеют некоторые преимущества: простота и надежность эксплуатации, экономичность, возможность строительства сооружений большой производительности. Недостаток – наличие подвижной фермы со скребками.

### 11.3. Центробежная очистка

Очистка под действием центробежных сил осуществляется в центрифугах и гидроциклонах.

Гидроциклоны (рис. 11.11) используют центробежную силу в корпусе для отделения песка и органических веществ от сточных вод.

При вращательном движении на частицу взвеси начинают действовать центробежные силы. Центробежное ускорение

$$a_{ц} = v^2/R \quad (11.9)$$

где  $v$  – скорость движения,  $R$  – радиус вращения.

При сравнительно небольших значениях  $R$  могут быть получены ускорения  $a_{ц}$ , во много раз превышающие ускорение свободного падения  $g$ . Таким образом, во вращающемся объеме жидкости частицы взвеси быстро перемещаются от центра вращения к периферии. На этом простом принципе основана работа гидроциклонов — аппаратов, получивших применение в практике осветления воды.

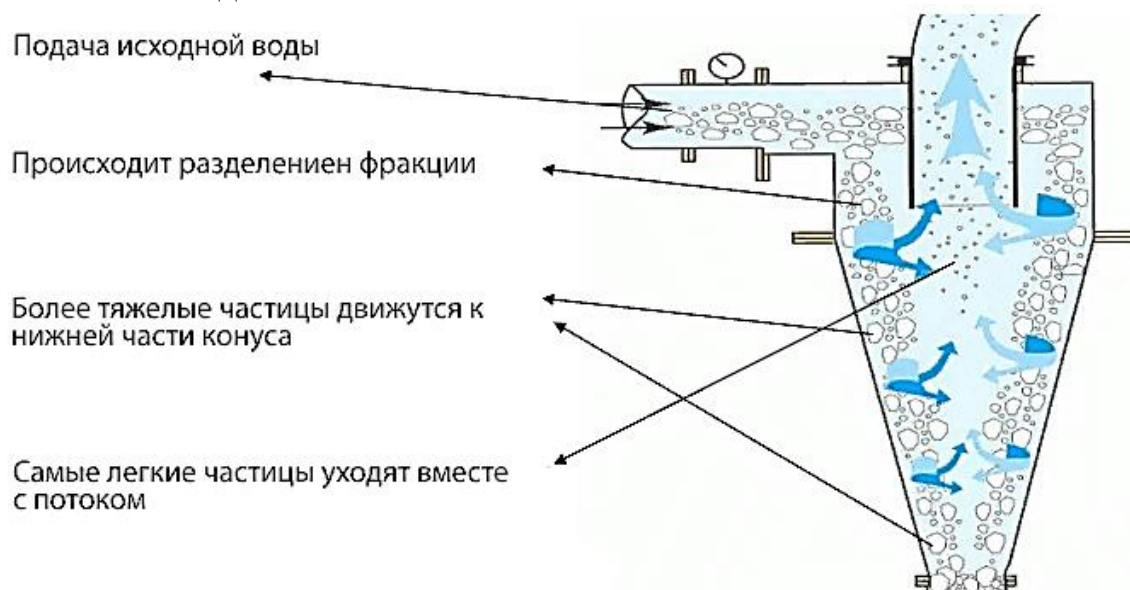


Рис. 11.11. Схема работы гидроциклона

Гидроциклоны используются для очистки воды, содержащей коллоидные вещества. Из обрабатываемого потока центробежным способом удаляются песок, мелкие камни, твердые частицы, мусор. Производительность различных стандартных моделей варьируется от 14 до 120 м<sup>3</sup>/ч.

Эффективность работы гидроциклона возрастает с увеличением скорости вращения воды (зависит от расхода воды). Скорость эта будет возрастать при

уменьшении диаметра гидроциклона. При этом одновременно будут возрастать потери напора в гидроциклоне и расход энергии на подачу воды.

Для удаления тонкодисперсной взвеси рационально применять гидроциклоны очень малого диаметра (10–20 мм). Для обеспечения пропуски заданных расходов воды при этом требуется множество параллельно включенных гидроциклонов. В этом случае удобно применять специальные аппараты – мультициклоны, которые представляют собой батарею гидроциклонов малого диаметра, оформленных в одном корпусе (рис. 11.12).

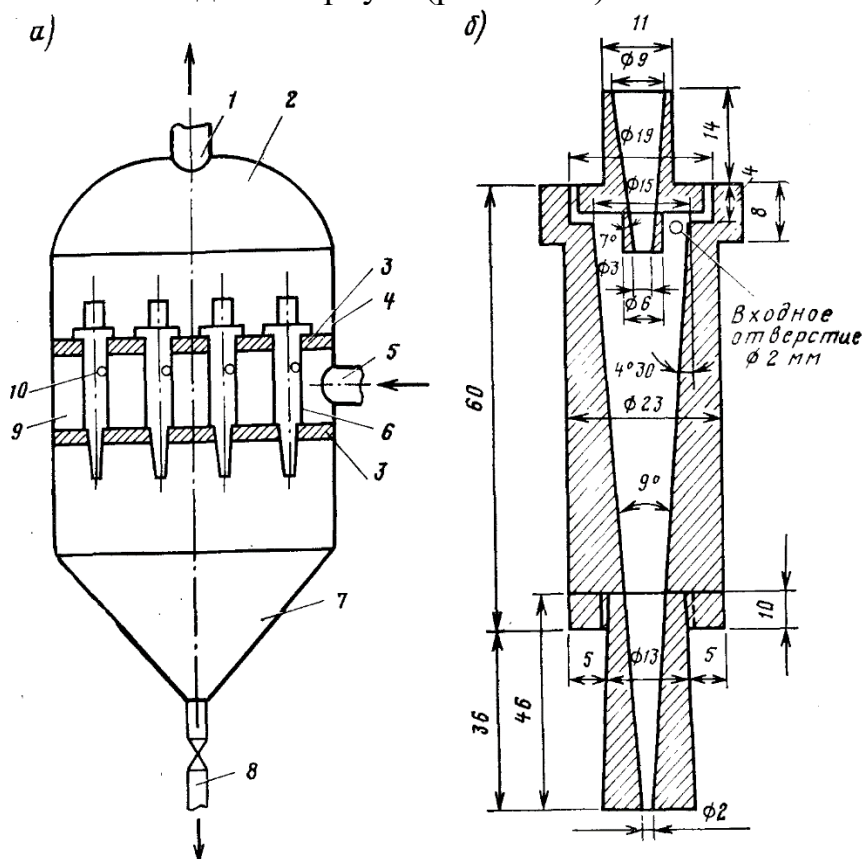


Рис. 11.12. Схема мультициклона (а) и гидроциклона диаметром 15 мм (б).

1, 5 — сливной и питающий патрубки; 2, 9 — камера сбора осветленной и распределения исходной воды; 3 — разделительные плиты; 4 — цилиндрическая часть аппарата; 6 — гидроциклоны диаметром 10 мм (15 или 20 мм); 7 — шламовая камера; 8 — патрубок сброса шлама; 10 — входное отверстие

По характеру работы гидроциклоны могут быть открытыми и напорными. Открытые гидроциклоны устраивают одно- и многоярусными.

Подача гидроциклона по осветленной воде определяется по формуле:

$$q = 864\alpha \frac{d}{d_n} a(2g\Delta H)^{0,5} \quad (11.10)$$

где  $\alpha$  — коэффициент потери воды с осадком, равным  $\alpha = 0,85 \dots 0,9$  (большее значение для меньших диаметров насадка);  $a$  — площадь живого сечения питающего отверстия,  $m^2$ ;  $d$  — диаметр сливного патрубка, см;  $d_n$  — эквива-

лентный диаметр питающего отверстия (диаметр круга, равновеликого площади питающего отверстия), см;  $g$  — ускорение свободного падения;  $\Delta H$  — потеря напора в гидроциклоне, м.

Достоинства гидроциклонов:

- компактность, простота устройства, отсутствие движущихся частей;
- высокая объемная производительность;
- большая скорость и высокая эффективность разделения суспензий;
- простота обслуживания;
- быстрота пуска и выключения;
- возможность разнообразного использования, без затрат дополнительной площади;
- обеспечение санитарных условий труда;
- непрерывность процесса и возможность автоматизации.

Недостатки гидроциклонов: быстрый износ, особенно при обработке вод с твердыми частицами; колебания эффекта осветления в зависимости от состава и содержания взвешенных веществ; не всегда возможно полное отделение частиц заданного размера.

**Центрифугирование** используется реже для очистки сточных вод, чем методы осаждения и фильтрования. Это связано с тем, что центрифугирование является процессом энергоемким.

Центрифуги бывают отстойные и фильтрующие. Фильтрующие центрифуги используют для разделения грубодисперсных систем, отстойные — для разделения труднофильтрующихся тонко- и грубодисперсных суспензий, а также для классификации суспензий по размерам и плотности частиц. Для очистки производственных сточных вод больше применяются отстойные центрифуги. Иногда центрифуги используют для локальной очистки сточных вод. Это делается в тех случаях, когда выделенный осадок имеет ценность и может быть рекуперирован, и когда для выделения осадка нельзя использовать реагенты.

В системах очистки сточных вод наиболее распространены горизонтальные шнековые центрифуги (рис. 11.13). Производительность центрифуг составляет до  $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

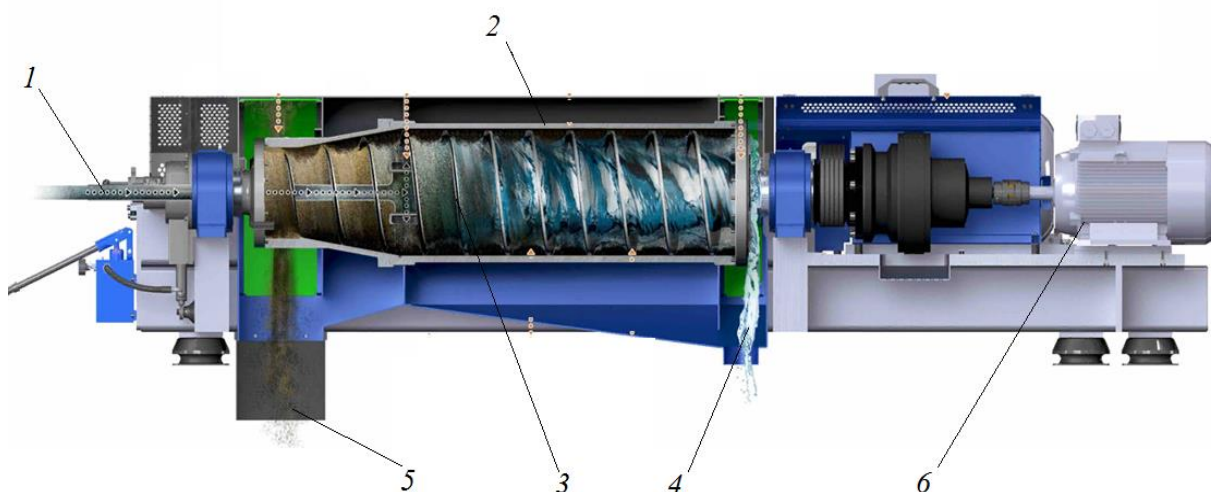


Рис. 11.13. Схема работы центрифуги

1 — подача исходной воды, 2 — вращающийся барабан (центрифуга), 3 — шнек, 4 — выход очищенной воды, 5 — выход осадка, 6 — электродвигатель



Промышленная центрифуга (декантер), включает в себя:

- 1) Барабан цилиндрической формы, сужающийся с одной стороны. Такая форма обеспечивает высокую степень очистки воды в цилиндрической части и качественное обезвоживание осадка в конической части барабана.
- 2) Шнековый транспортер, расположенный внутри барабана.
- 3) Патрубок для подачи жидкости, отверстия для выгрузки осадка, сливные отсеки для отвода фугата.

Принцип работы:

Через патрубок в барабан подаются сточные воды, которые поступает в зону разделения. Вращающийся с высокой скоростью барабан создает центробежную силу. Под ее воздействием твердые частицы осаждаются на стенках барабана.

Шнековый транспортер вращается со скоростью, отличной от скорости ротора, и непрерывно перемещает осадок в коническую часть барабана, откуда осадок удаляется через специальное отверстие.

Очищенная жидкость движется в противоположную сторону от осадка – в цилиндрическую часть барабана и сливается через патрубки.

## 11.4. Фильтрация

Под фильтрацией понимается процесс, при котором из жидкостей удаляются частицы и другие вещества определенного размера и более. Удаление этих частиц и мусора из системы сточных вод позволяет повторно использовать воду в этой системе.

**Разница между процеживанием и фильтрацией:**  
**процеживание применяют для удаления сравнительно грубозернистых примесей;**  
**фильтрация предполагает тщательную очистку жидкости от мелких взвешенных частиц.**

Полученная после осаждения вода не бывает абсолютно чистой и может содержать очень мелкие взвешенные частицы и бактерии. Чтобы удалить или еще уменьшить содержание оставшихся примесей, воду фильтруют через слои мелкозернистого материала, такого как песок и т.д. Фильтры, используемые для фильтрации сточных вод, весьма многообразны. Это необходимо по ряду причин. Во-первых, состояние воды, поступающей в систему, может повлиять на тип необходимой системы фильтрации. Во-вторых, требуемая чистота воды, которая будет повторно использована после фильтрации, играет роль в выборе типа необходимого фильтра. В системах очистки сточных вод есть два основных типа фильтрации: фильтрация частиц и мембранная фильтрация.

Фильтрация частиц – это процесс, при котором твердые частицы от жидкостей отделяются с помощью физических или механических средств. При

очистке сточных вод, фильтрация частиц обычно является одним из первых шагов в очистке загрязненных сточных вод. Это связано с тем, что фильтрация частиц предназначена для удаления твердых частиц размером более одного микрона.

Существует ряд различных фильтров, которые можно использовать при фильтрации частиц. Доступно несколько вариантов, поскольку некоторые свойства очищаемых сточных вод могут сильно различаться в зависимости от системы, в которой используется вода. Характеристики, которые чаще всего влияют на выбор фильтра, включают плотность частиц, размер, форму, количество и текстуру частиц. Любые другие вещества, присутствующие в воде, также влияют на тип фильтра, необходимого для системы.

#### **11.4.1. Механизмы фильтрации**

Существует четыре основных механизма фильтрации:

**СЕДИМЕНТАЦИЯ:** Механизм седиментации обусловлен силой тяжести и связанной с ней скоростью оседания частицы, которая заставляет ее пересекать линии тока и достигать коллектора.

**ПЕРЕХВАТ:** Перехват частиц обычен для крупных частиц. Если достаточно крупная частица следует за линией тока, которая лежит очень близко к поверхности среды, она ударится о зерна среды и будет захвачена.

**БРОУНОВСКАЯ ДИФФУЗИЯ:** Диффузия к гранулам среды свойственна для очень мелких частиц, таких как вирусы. Частицы беспорядочно перемещаются внутри жидкости из-за температурных градиентов. Этот механизм важен только для частиц диаметром  $<1$  микрон.

**ИНЕРЦИЯ:** Присоединение по инерции происходит, когда более крупные частицы движутся достаточно быстро, чтобы отклониться от своих линий тока и натолкнуться на зерна среды.

#### **11.4.2. Типы фильтров**

Типы фильтровальных устройств:

- с зернистым слоем;
- с сетчатыми элементами;
- с пористыми перегородками;
- полимерные.

##### ***Зернистые фильтры.***

Чаще всего в качестве фильтрующего материала обычно используется песок, мелкий или крупный. Песок характеризуется так называемым эффективным размером. Эффективный размер, то есть  $D_{10}$ , можно определить как размер сита в мм, через которое пройдет десять процентов пробы песка по весу. Однородность размера или степень вариации размеров частиц характеризуется коэффициентом однородности. Коэффициент однородности, то есть  $(D_{60}/D_{10})$ , может быть определен как отношение размера сита в мм, через которое пройдет 60 процентов пробы песка, к эффективному размеру песка.

Гравий используется в фильтрах для поддержания слоев песка.

Вместо песка иногда в качестве фильтрующего материала используется антрацит, который обеспечивает высокую скорость фильтрации.



Рис. 11.14. Схема работы и регенерации напорного двухслойного фильтра

Зернистые фильтры можно классифицировать по нескольким показателям:

1) по скорости фильтрования

- Медленные песчаные фильтры состоят из мелкого песка, поддерживаемого гравием. В медленном песчаном фильтре примеси из воды удаляются с помощью комбинации процессов: осаждения, фильтрации, адсорбции, а также химического и бактериологического воздействия. В первые дни в результате накопления осадка и органического вещества образуется тонкий слой на поверхности песка, который остается проницаемым и удерживает частицы даже меньшего размера, чем промежутки между песчинками. Затем в этом слое размножается огромное количество микроорганизмов, которые разрушают органический материал, удерживаемый из воды, превращая его в воду, диоксид углерода и другие оксиды. Скорость прохождения жидкости через фильтрующий слой в медленных фильтрах составляет 0,1-0,3 м/ч.

- Быстрые песчаные фильтры состоят из более крупных песчинок, поддерживаемых гравием и улавливающих частицы по всему слою. Фильтры очищают обратной промывкой водой через слой, чтобы «вывести» частицы. Скорость фильтрования составляет 7-16 м/ч.

- В сверхскоростных агрегатах скорость фильтрации достигает 25-100 м/ч, они представляют собой закрытые устройства, в которые сточные воды подаются под напором.

2) по рабочему давлению – безнапорные (открытые) и напорные

3) По количеству слоев – однослойные и многослойные. Многослойные фильтры состоят из двух или более слоев различных гранулированных материалов с разной плотностью (рис. 11.14). Обычно используют антрацит, песок и гравий. Комбинация различных слоев может обеспечить более универсальную очистку, чем один слой песка. Из-за разницы в плотности слои остаются аккumulированно разделенными даже после обратной промывки.

4) по направлению потока – зернистые фильтры могут быть с восходящим и нисходящим потоком, двухпоточные, а также с горизонтальным движением жидкой среды. Как правило, система фильтрации сточных вод предусматривает прохождение грязных стоков через напорные аппараты сверху вниз.

#### **Фильтры с сетчатыми элементами**

К этому типу устройств относятся микрофильтры и барабанные сетчатые установки. Их используют, чтобы организовать фильтрацию загрязненных стоков от грубодисперсных примесей, содержащих не более 300 мг взвеси на 1 л.

#### **Барабанные сетки**

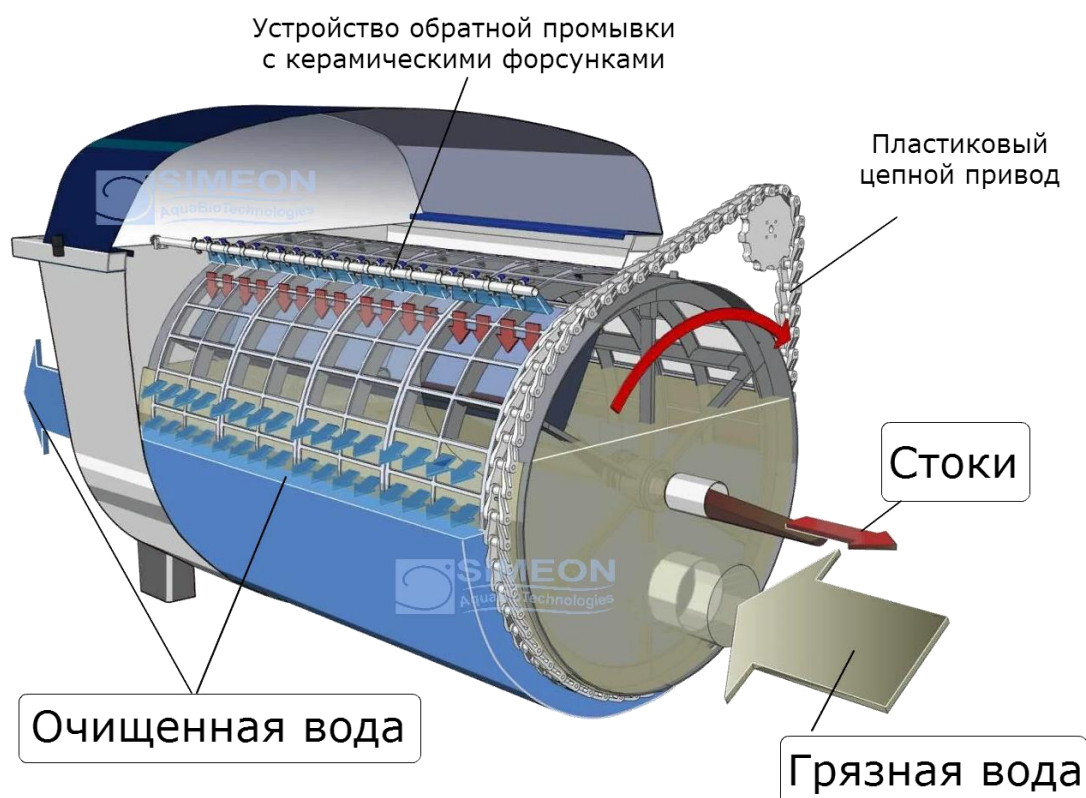


Рис. 11.15. Схема работы барабанного фильтра

Сетчатый барабанный фильтр представляет собой конструкцию из вращающегося барабана, обтянутого фильтрующей сеткой (рис. 11.15). В зависимости от размера твердых частиц, содержащихся в воде, барабан можно обтягивать сетками с разным размером ячеек от 0,3 до 0,8 мм. Барабан вращается при помощи электрического привода со скоростью до 0,5 м/с, при этом сточная вода поступает внутрь барабана и процеживается от дисперсных частиц через ячейки сетки. Оставшиеся на фильтрующей сетке примеси регулярно смываются проточной водой, затем удаляются из системы. Барабанный сетчатый

фильтр снижает загрязненность сточных вод на 25-40%, он обычно устанавливается перед зернистым фильтром.

*Микрофильтр* имеет аналогичную конструкцию и отличается от барабанных сеток только размером ячеек, которые в устройствах этого типа составляют 40-70 мкм. Эффективность очистки загрязненных стоков при помощи микрофильтров составляет 40-60%, иногда их используют вместо первичных отстойников.

*Фильтры с пористыми перегородками.* Чаще всего пористые перегородки для фильтровальных устройств изготавливаются из шерстяных, хлопчатобумажных и керамических материалов. Реже встречаются стеклянные, металлические, углеродные элементы. Методы очистки сточных вод при помощи установок с пористыми перегородками включают в себя: 1) фильтрование суспензии с отделением осадка; 2) фильтрование с закупориванием пор, 3) фильтрование с образованием осадка.

Способ фильтрации с образованием осадка используют при очистке суспензии с содержанием твердых частиц более 1%. Обычно этот метод применяется в намывных фильтрах. В результате пропускания грязных стоков через пористую перегородку, влажный осадок отделяется от очищенного фильтрата и остается на поверхности фильтрующего элемента.

При способе фильтрации с закупориванием пор твердые дисперсные частицы проникают внутрь перегородки и остаются там, осадок не образуется. Такой вид оборудования выбирают для использования метода осветления, при очистке жидкости с содержанием взвеси менее 0,7%.

*Полимерные фильтры.* Появление полимерных материалов стимулировало развитие и изменение технологий фильтрации загрязненных жидкостей. Полимерные материалы используются в 2 видах устройств: 1) с плавающей загрузкой; 2) с эластичной загрузкой.

*Плавающая загрузка.* Установки с плавающей загрузкой становятся все более востребованы для глубокой очистки промышленных стоков, а также для доочистки городской сточной воды после биологической очистки. Полимерный материал для плавающей загрузки должен обладать хорошей прочностью, устойчивостью к действию химических реагентов, достаточной пористостью. Лучше всего для агрегатов с плавающей загрузкой подходят полистирол и пенополистирол.

Для устройства фильтрующего слоя полистирол вспенивается при помощи термообработки горячей водой или паром. Загрязненная вода пропускается сверху вниз через слой вспененного полимера, фильтрат выводится из агрегата по дренажным трубам. В таких аппаратах температура воды не должна быть больше 50 градусов, чтобы избежать расплавления гранул полистирола.

*Эластичная загрузка.* Агрегаты с эластичной загрузкой используют для фильтрования стоков, содержащих примеси нефти. Материалом для фильтрующего слоя в таких установках служит эластичный пенополиуретан, обладающий выраженным свойством поглощать нефтепродукты. После прохождения загрязненной жидкости через слой эластичного полимера чистый фильтрат отводится дренажными трубами, а поглотивший нефтяные примеси полиуретан извлекается и проходит этап регенерации на отжимном оборудовании.

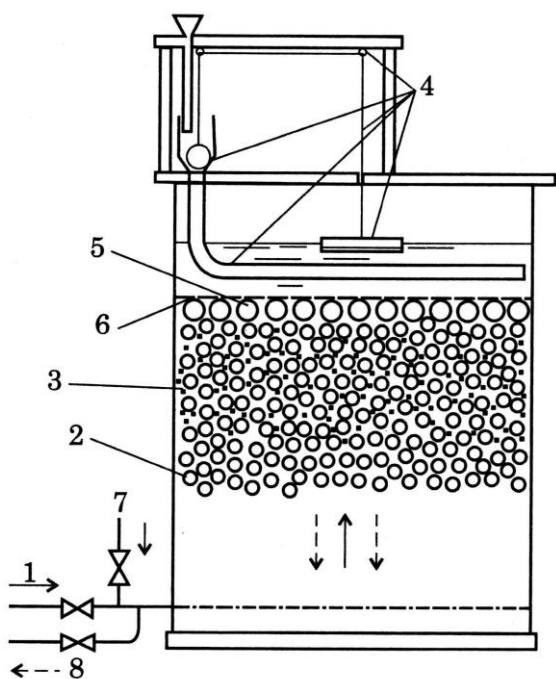


Рис. 11.16. Схема фильтра с плавающей загрузкой

1 – подача исходной воды; 2 - осветлительный слой плавающей загрузки (мелкие гранулы); 3 – частицы загрязнений; 4 – система контроля уровня жидкости; 5 – поддерживающий слой плавающей загрузки; 6 – удерживающая решетка; 7 – ввод реагентов; 8 – отвод промывной воды

**Картриджные фильтры.** Картриджные фильтры бывают разных форм и размеров и изготавливаются из различных материалов.

Картриджные фильтры, в которых используется гофрированная ткань или сетка, представляют собой фильтры модульного типа (рис. 11.17), предназначенные для улавливания частиц и даже химикатов в процессе фильтрации. Картриджные фильтры обычно делятся на две категории: поверхностные фильтры и глубинные фильтры. Поверхностные фильтры задерживают частицы на своей поверхности, в то время как в глубинных картриджных фильтрах используется толстый материал, предназначенный для создания извилистого пути, удерживающего частицы. Картриджные фильтры считаются универсальными и используются во многих отраслях производства.



Рис. 11.17. Фильтрующие картриджи

Правильно спроектированная и построенная система фильтрации сточных вод может работать долгие годы. Условия бесперебойной работы оборудования несложные — достаточно регулярно производить чистку фильтрующих слоев или их замену. Кроме этого, нужно периодически проводить профилактический осмотр частей системы с целью выявления неполадок или износа и вовремя их устранять.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Что относится к методам механической очистки сточных вод?
2. Виды и условия работы решеток.
3. Что представляет собой гравитационная очистка сточных вод?
4. Как устроены и работают песколовки?
5. Назовите виды отстойников.
6. Какие бывают виды осаждения? Чем они характеризуются?
7. Какие силы действуют на частицу взвеси в воде?
8. Как происходит очистка сточных вод в гидроциклонах?
9. Опишите достоинства и недостатки гидроциклонов.
10. Для чего применяются центрифуги? В чем их отличие от гидроциклонов?

## Глава 12. Методы и сущность биологической очистки

### 12.1. Биохимические основы методов биологической очистки

Биологические методы очистки сточных вод сходны с процессами самоочищения водоёмов, так как в обоих случаях задействованы процессы жизнедеятельности микроорганизмов. Целям очистки стоков соответствуют следующие свойства микроорганизмов:

- 1) способность поглощать различные органические и часть неорганических соединений для обеспечения своей жизнедеятельности;
- 2) способность к быстрому размножению (удвоение числа бактериальных клеток происходит через каждые 0,5 часа);
- 3) способность существовать колониями, которые могут быть относительно легко отделены от воды по завершении очистки.

Для очистки используются микроорганизмы, закрепленные на поверхности загрузки, а также микробная масса во взвешенном состоянии. Очистка осуществляется сообществом множества различных бактерий, простейших, а также грибов, водорослей, которые образуют биологически активный ил.

Контактируя с органическими веществами, микроорганизмы частично разрушают их, превращая в  $H_2O$ ,  $CO_2$ , нитрит- и сульфат-ионы и др. Другая часть вещества идет на образование биомассы. Разрушение органических веществ называют биохимическим окислением. Некоторые органические вещества способны легко окисляться, а некоторые не окисляются совсем или очень медленно.

Этап превращения органических азотсодержащих компонентов в простые неорганические соединения называется «аммонификацией» (минерализацией). Скорость этого процесса определяется в основном температурой и содержанием кислорода в воде.

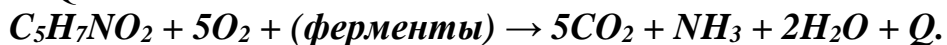
Вторая стадия очистки получила название «нитрификации». Это процесс биологического окисления аммония до нитритов и нитратов. В процессе нитрификации окисляется неорганический азот. Но одновременно протекает и 3-й этап – «денитрификация» – процесс восстановления неорганического азота, при котором азот переходит из нитратов в газообразное состояние. То есть денитрификация приводит к уменьшению количества неорганического вещества.

В живой микробной клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса – распад молекул и их синтез, составляющие в целом процесс обмена веществ – метаболизм.

Скорость и последовательность биохимических превращений в клетке определяется ферментами. Синтез новых белковых веществ (анаболические превращения) протекает с затратой энергии  $Q$ , например:



Биохимическое аэробное окисление органического вещества клетки (*катаболизм*) или сточной воды сопровождается потреблением кислорода и выделением энергии  $Q$ :



Гетеротрофные микроорганизмы используют в качестве источников пита-



ния углеводы, жиры, белки, спирты, которые расщепляются в *аэробных* (в присутствии кислорода) или в *анаэробных* (в бескислородной среде) условиях.

**Аэробные методы** основаны на использовании аэробных групп микроорганизмов, для жизнедеятельности которых требуется постоянный приток кислорода и температура 20-40°C. При изменении кислородного и температурного режима состав и количество микроорганизмов меняются.

**Анаэробные** биохимические процессы протекают без доступа кислорода. Их используют чаще всего для обработки осадков. Оптимальная температура очистки 20–40 °С.

Аэробную очистку проводят в естественных условиях и в искусственных сооружениях.

## 12.2. Условия проведения биологической очистки

Как правило, биологической очистке подвергают бытовые сточные воды.

Для определения возможности использования биохимических очистных сооружений для очистки промышленных сточных вод устанавливают максимальные концентрации токсичных веществ, не влияющих на процессы биохимического окисления ( $MK_6$ ) и на работу очистных сооружений ( $MK_{6oc}$ ). При отсутствии таких данных возможность биохимической очистки устанавливают по соотношению  $BPK_{полн}$  и  $XPK$ . При соотношении  $(BPK/XPK) \cdot 100 = 50\%$  вещества поддаются биохимическому окислению. Кроме того, должно соблюдаться условие, чтобы в сточных водах отсутствовали ядовитые вещества и примеси солей тяжелых металлов. Биохимические показатели для некоторых органических веществ приведены в табл. 12.1.

Табл. 12.1

Биохимические показатели органических соединений

Название	Формула	XPK, мг O <sub>2</sub> /мг в- ва	BPK, мг O <sub>2</sub> /мг в- ва	MK <sub>6</sub> , мг/л	MK <sub>6 oc</sub> , мг/л	$\frac{BPK_{п.}}{XPK}$ , %
Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	2,41	1,90	0,5	100 <sup>B</sup> —250 <sup>A</sup>	79
Бензойная кислота	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	2	1,61	10	150 <sup>B</sup>	80,5
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3,07	1,15	25	100 <sup>A</sup>	37,4
Бутанол	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	2,60	1,43	20	420 <sup>B</sup> —600 <sup>A</sup>	55
Диэтиламин	(CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> NH	2,95	1,31	10	50 <sup>B</sup>	44,5
Метанол	CH <sub>3</sub> OH	1,5	0,86	20,3	200 <sup>B</sup>	65,1
Нитробензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	1,91	0	10	—	—
Скипидар	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1,16	3	20	—	—
Сахароза	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	1,12	0,7	—	—	62,5
Толуол	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	1,87	1,11	25	200 <sup>A</sup>	58,8
Фенол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	2,38	1,1	0,3	1000 <sup>A</sup> —120 <sup>B</sup>	46,2
Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	0,91	0,03	2	10 <sup>A</sup>	3,3
Этанол	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	2,08	1,82	—	—	87,5

Примечание: индексы у значений  $MK_{6oc}$ : А – аэротенк, Б - биофильтр

Для неорганических веществ, практически не поддающихся окислению, также устанавливают максимальные концентрации. При превышении этих концентраций биохимическая очистка невозможна. Например, МК<sub>6</sub> (мг/л) составляет для: Cu — 0,5; Hg — 0,02; Pb — 0,1; Cl — 0,3; B — 0,05; H<sub>2</sub>S — 1; FeCl<sub>3</sub> — 5.

Факторы, влияющие на эффективность биохимической очистки сточных вод, показаны на схеме рис. 12.1.



Рис. 12.1. Факторы, влияющие на эффективность биологической очистки

Кислород воздуха должен поступать в сооружения биохимической очистки непрерывно и в таком объеме, чтобы в очищенной воде содержалось не менее 2 мг O<sub>2</sub>/л. Оптимальная температура аэробной очистки 20–30 °С, хотя отдельные бактерии могут существовать в диапазоне температур –8...+85 °С. Реакция среды должна быть нейтральной (рН=6,5...7,5). Количество взвешенных частиц для биологических фильтров должно быть не более 100 мг/л. Оптимальное количество микроорганизмов в виде активного ила 2–4 г/л. Наиболее эффективным является молодой активный ил в возрасте 2–3 суток.

Активность ила восстанавливают его аэрацией в отсутствие питательных веществ.

Для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов, очищающих сточные воды, в них должно содержаться достаточное количество соединений углерода, азота, фосфора. Вместе с тем соединения ртути, свинца, сурьмы, серебра, хрома, кобальта представляют собой клеточные яды и их концентрация в воде должна быть ниже ПДК для микроорганизмов.

Турбулизация сточных вод в очистных сооружениях способствует распаду хлопьев активного ила на более мелкие и увеличивает скорость поступления питательных веществ и кислорода к микроорганизмам, соответственно повышая скорость очистки. Кроме того, турбулизация поддерживает активный ил во взвешенном состоянии, обеспечивая равномерность его распределения в слое воды.

Турбулизация потока обеспечивается интенсивным перемешиванием за счет подачи воздуха.

Необходимая для очистки воды доза активного ила зависит от илового индекса. Чем меньше иловый индекс, тем большую дозу активного ила требуется подавать на очистные сооружения. Рекомендуемые соотношения:

Иловый индекс, мг/л	50	80	120	150	200	250	300
Доза ила, г/л	6	4,3	3	2,5	2	1,5	1

*Иловый индекс – характеристика состояния ила, представляет собой отношение объема осаждаемой части активного ила к массе высушенного осадка (в граммах) после отстаивания в течение 30 минут. Чем хуже оседает ил, тем более высокий иловый индекс он имеет.*

Для очистки следует применять свежий активный ил, который хорошо оседает и более устойчив к колебаниям температуры и рН среды.

Активный ил сорбирует соли тяжелых металлов, из-за которых снижается биохимическая активность ила. Начинают интенсивно развиваться нитчатые формы бактерий, активный ил вспухает, снижается скорость очистки.

По степени токсичности тяжелые металлы можно расположить в следующем порядке:



### 12.3. Технологии биологической очистки

Биологическая очистка широко применяется для очистки стоков во всем мире.

*Достоинства* биохимической очистки:

- возможность удаления из сточных вод широкого спектра органических и некоторые неорганические вещества,
- простая аппаратура,
- небольшие эксплуатационные затраты,
- возможность достижения высокой степени очистки.

*Недостатки* метода:

- большие капитальные затраты (строительство крупногабаритных сооружений),
- чувствительность к технологическому режиму очистки,
- необходимость разбавления сточных вод при высоких концентрациях примесей

- вероятность отравления микроорганизмов токсичными примесями.
- Разновидности методов биологической очистки см. на схемах (рис. 12.2, 12.3).

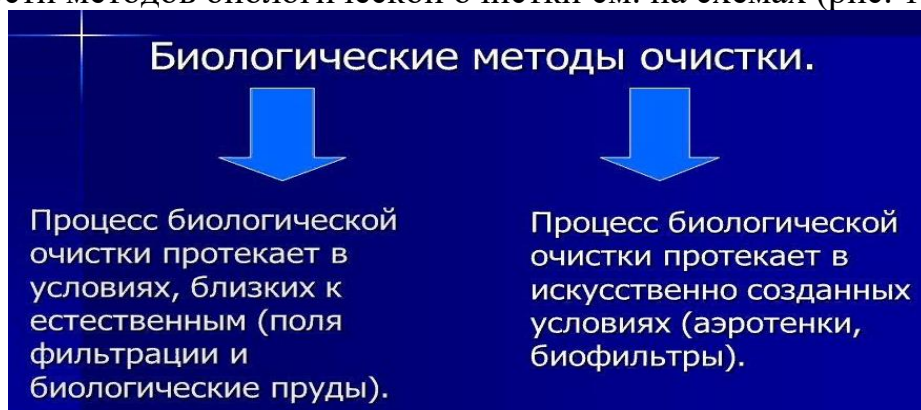


Рис. 12.2. Процессы биологической очистки стоков



12.3. Разновидности биологических методов очистки стоков

### 12.3.1. Биологическая очистка в естественных условиях

В естественных условиях биологическая очистка происходит на полях орошения и фильтрации и в биологических прудах.

**Поля орошения** – это сельскохозяйственные угодья, предназначенные для очистки сточных вод и одновременного выращивания растений. На **полях фильтрации** растения не выращивают. Обычно это резервные участки типа прудов для принятия сточных вод.

На полях орошения очистка сточных вод основана на воздействии микрофлоры почвы, воздуха, солнца и жизнедеятельности растений. Соленость сточных вод должна быть не больше 4–6 г/л. Сточные воды подают на поля орошения в летний период с интервалом 5 дней.

Расчет полей фильтрации ведется по среднесуточной норме нагрузки, т.е. количеству сточных вод, приходящихся на 1 га площади полей в среднем за сутки в течение года.

Полную расчетную площадь полей фильтрации ( $F_{\phi}$ , га) определяют по формуле:

$$F_{\phi} = F_{\phi, \text{пол}} + F_{\phi, \text{рез}} + k_{\phi, \text{в}} (F_{\phi, \text{пол}} + F_{\phi, \text{рез}}), \quad (12.1)$$

Где  $F_{\phi, \text{пол}}$  — полезная площадь полей фильтрации, га;

$$F_{\phi, \text{пол}} = Q/q_{\phi}, \quad (12.2)$$

где  $Q$  — среднесуточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$q_{\phi}$  — нагрузка сточных вод на поля фильтрации, м<sup>3</sup>/га сут,

$F_{\phi, \text{рез}}$  — резервная площадь полей фильтрации, га, равна 10—25 % от полезной площади;

$k_{\phi, \text{л}} = 0,25—0,30$  — коэффициент, учитывающий увеличение площади в связи с устройством вспомогательных сооружений.

Полную расчетную площадь полей орошения ( $F_{\text{по}}$ , га) находят из выражения:

$$F_{\text{по}} = F_{\text{о,пол}} + F_{\text{о,рез}} + k_{\text{о,в}} (F_{\text{о,пол}} + F_{\text{о,рез}}), \quad (12.3)$$

где  $F_{\text{о,пол}}$  — полезная площадь полей орошения, га;

$$F_{\text{о,пол}} = Q/q_0, \quad (12.4)$$

где  $q_0$  — нагрузка сточных вод на поля орошения, м<sup>3</sup>/(га·сут), определяется в зависимости от вида сельскохозяйственных культур (табл.12.2).

$F_{\text{о,рез}}$  — резервная площадь полей орошения, га;

$k_{\text{о,л}} = 0,15—0,25$  — коэффициент, учитывающий увеличение площади для устройства вспомогательных сооружений.

Табл. 12.2

Нормы нагрузки бытовых сточных вод на поля орошения для районов со среднегодовым количеством осадков 300-500 мм

Среднегодовая температура воздуха, °С	Сельскохозяйственные культуры	Нагрузка на поля орошения в зависимости от грунта, м <sup>3</sup> /(га сут)		
		Суглинок	Супесь	Песок
До 3,5	Огородные	30	40	60
	Полевые	15	20	30
3,6—6	Огородные	35	50	75
	Полевые	20	25	40
6,1—9,5	Огородные	45	60	80
	Полевые	25	30	40
9,6—11	Огородные	60	70	85
	Полвыс	30	35	45
Более 11	Огородные	70	80	90
	Полевые	35	40	45

**П р и м е ч а н и е.** Для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 500—700 мм нормы нагрузки на поля орошения следует уменьшить на 10—15 %, а для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков более 700 мм — на 15—25 %, причем бóльший процент принимают при суглинистых грунтах, а меньший — при песчаных.

*Биологические пруды* — искусственные водоемы глубиной 0,5–1 м при естественной аэрации и до 4,5 м — при искусственной, хорошо прогреваемые солнцем и населенные водными организмами. Подразделяются на проточные (серийные или каскадные) и непроточные. Длительность очистки воды в прудах с естественной аэрацией 7...60 суток, с искусственной — 1–3 суток. В последних ступенях каскадных прудов разводят рыбу, что позволяет избежать

образования ряски. В непроточных прудах сточная вода подается после ее отстаивания и разбавления. Продолжительность очистки – 20–30 суток.

Процесс очистки в этих сооружениях аналогичен процессам, происходящим при самоочищении водоемов. Для устройства биологических прудов могут быть использованы естественные впадины местности, заброшенные карьеры, а также специально созданные водоемы. Пруды используют в качестве 2-й ступени биологической очистки, а также для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод с доведением величины БПК<sub>полн</sub> до 5—6 мг/л.

Достоинства биологических прудов – невысокая стоимость строительства и эксплуатации. Недостатки: сезонность работы, большая площадь, низкая окислительная способность, трудность чистки.

### 12.3.2. Биологическая очистка в искусственных условиях

Сооружениями искусственной биологической очистки являются биофильтры и аэротенки.

#### **Биологические фильтры.**

Биофильтры предназначены для частичной или полной очистки сточных вод с доведением БПК<sub>полн</sub> до 15 мг/л.

*Биофильтры* – это большие круглые или прямоугольные сооружения из железобетона или кирпича, загруженные фильтрующим материалом, на поверхности которого выращивается биопленка. Аэрация их может быть естественной и искусственной.

Биопленка растет на наполнителе биофильтра в виде слизистых обрастаний толщиной 1-2 мм и более. Цвет её зависит от состава сточных вод и изменяется от серовато-желтого до темно-коричневого.

Биопленка состоит из бактерий, грибов, дрожжей и других микроорганизмов. В ней встречаются больше разнообразных представителей простейших, колеровок, червей, чем в активном иле. Личинки комаров и мух, черви и клещи поедают активный ил и биопленку вызывая их рыхление. Это способствует интенсификации процесса очистки. В 1 м<sup>3</sup> биопленки содержится  $1 \cdot 10^{12}$  бактерий.

Классификация биофильтров представлена на рис.12.4.

Все материалы, естественные или искусственные, используемые для загрузки биофильтров, должны быть влаго- и морозостойчивыми.

Распределительная и отводящая сети биофильтров рассчитываются на максимальный расход сточных вод.

Для распределения сточных вод по поверхности фильтрующей загрузки применяют разбрызгиватели, оросители и другие устройства.



Рис. 12.4. Классификация биофильтров

*Капельные биофильтры* применяют для полной биологической очистки при производительности очистной станции до 1000 м<sup>3</sup>/сут. Биофильтры с пропускной способностью до 500 м<sup>3</sup>/сут устанавливают в помещениях со среднегодовой температурой воздуха +3...+6 °С. При большей производительности биофильтры размещают в неотапливаемых помещениях.

Основные элементы капельного биофильтра: фильтрующая загрузка, дренаж и распределительное устройство. Аэрация естественная – через поверхность загрузки и через дренаж. Интенсивность процессов биохимического окисления в капельном биофильтре намного больше, чем в сооружениях естественной биологической очистки.

Эффективность очистки по БПК<sub>полн</sub> может достигать 90 % и более. На капельные биофильтры допускается подача сточных вод с исходной БПК<sub>полн</sub> не выше 220 мг/л. При большей концентрации необходима рециркуляция.

*Высоконагружаемые биофильтры* (аэрофильтры) применяются на станциях производительностью до 50 000 м<sup>3</sup>/сут для полной или частичной очистки сточных вод. Различают аэрофильтры и биофильтры с пластиковой загрузкой. Аэрофильтры в отличие от капельных биофильтров имеют большую высоту фильтрующей загрузки и снабжены искусственной вентиляцией.

Орошение поверхности аэрофильтра производится подвижным реактивным оросителем или спринклером. Воздух в герметично закрытое междонное

пространство подается вентилятором.

На эффективность очистки в аэрофилтре влияет высота фильтрующей загрузки, температура сточной воды, удельное количество подаваемого воздуха и расход сточных вод.

В качестве фильтрующей загрузки используют гравий, шлак, керамзит, гальку, пеностекло, шифер и т.д.

*Биофильтры с загрузкой из пластмассы* предназначены для очистки стоков с БПК<sub>полн</sub> не больше 250 мг/л. Рабочая высота принимается равной 3–4 м в зависимости от температуры очищаемой воды и заданной эффективности очистки (80, 85, 90 %).

Фильтрующей загрузкой служат поливинилхлоридовые, полистироловые, полиэтиленовые, полипропиленовые блоки, гладкие или перфорированные пластмассовые трубы диаметром 50–100 мм.

Высота загрузки *башенных* биофильтров при БПК<sub>20</sub> подаваемой на очистку сточной воды, равной 250, 300, 350, 450 и 500 мг/л, принимается соответственно 8, 10, 12, 14 и 16 м. производительность до 50 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Такие биофильтры могут быть одно- и двухступенчатыми. При наличии второй ступени следует устраивать промежуточный отстойник с периодом пребывания воды 1 ч. Размер фракций загрузки принимается равным 40–100 мм. Загрузка размещается на колосниковых решетках слоями по 2–4,5 м. Аэрация загрузки — естественная.

### **Аэротенки.**

В аэротенках для биохимического окисления органических веществ используется активный ил и кислород воздуха.

*Аэротенк* — это резервуар, в котором медленно движется смесь активного ила и сточных вод при непрерывной аэрации.

Продолжительность аэрации бытовых стоков обычно не больше 12 ч.

Из аэротенков смесь сточных вод с активным илом поступает во вторичные отстойники для извлечения из воды активного ила (вторичное отстаивание). Ил, оседающий во вторичных отстойниках, частично возвращается в аэротенки (циркулирующий активный ил), а избыток (избыточный активный ил) подвергается дальнейшей обработке. Последовательность очистки показана на схеме рис. 12.5.

Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. Живая часть представлена скоплениями бактерий, одиночными микроорганизмами, простейшими червями, плесневыми грибами, дрожжами, изредка — личинками насекомых, рачков, а также водорослями и др. (см. рис. 12.3).

Образование активного ила начинается с бактерий, которые выделяют вещества, стимулирующие размножение простейших. Они обладают склеивающей способностью, поэтому активный ил представляет собой буровато-желтые комочки и хлопья, размером 3–150 мкм. Хлопья обладают поверхностью около 1200 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> ила (100 м<sup>2</sup> на 1 г сухого вещества). В 1 м<sup>3</sup> активного ила содержится  $2 \cdot 10^{14}$  бактерий.



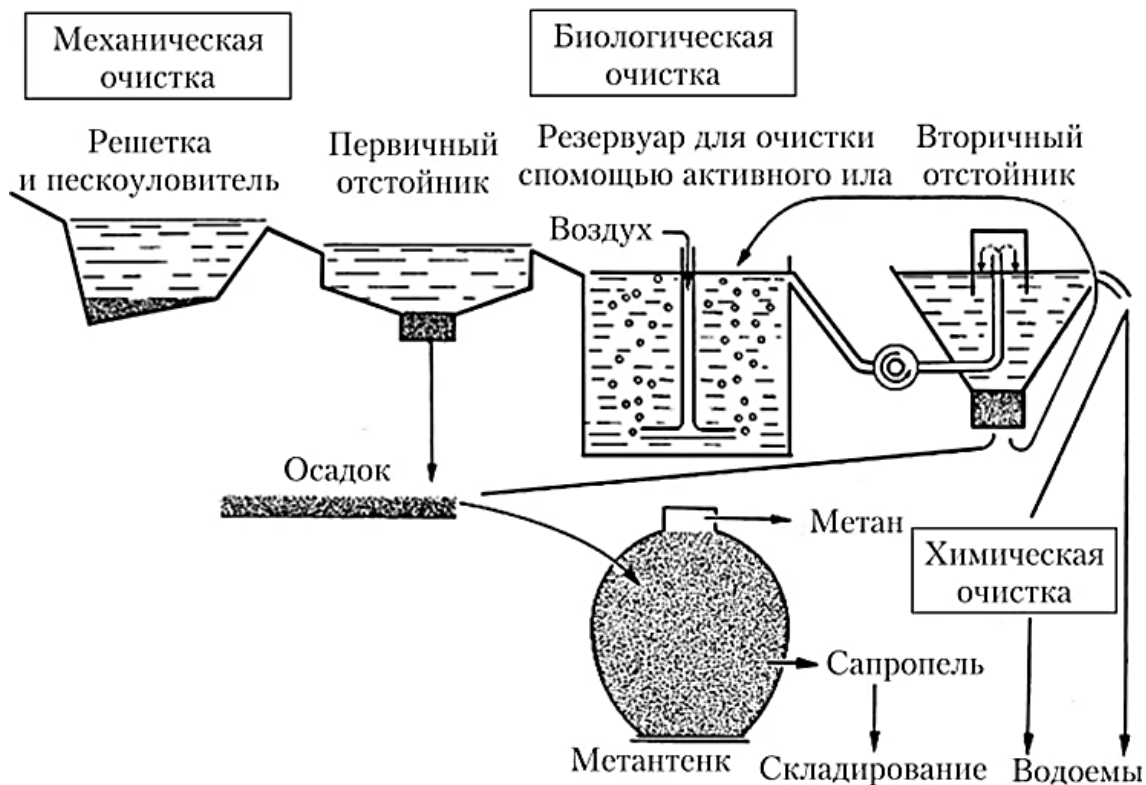


Рис. 12.5. Последовательность очистки сточных вод

### Классификация аэротенков:

- по *конструкции*: круглые, прямоугольные, шахтные, комбинированные, фильтротенки, флототенки;
- по *режиму сточных вод*: проточные, полупроточные, капитальные, с переменным уровнем;
- по *структуре потока*: аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители, аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды, окситенки;
- по *типу аэрации*: пневматическая, комбинированная гидродинамическая, пневмомеханическая;
- по *способу регенерации активного ила*: в отдельном аппарате, в совмещенном аппарате;
- по *числу ступеней*: одно-, двух-, многоступенчатые;
- по *нагрузке на активный ил*: с высокой, обычной и низкой нагрузкой.

**В окситенках** воздух заменяют техническим кислородом, что позволяет увеличить в 5–10 раз окислительную способность процесса, повысить дозы активного ила до 6–10 г/л.

Для подачи воздуха или кислорода в аэротенки применяют различные устройства – аэраторы, которые могут быть пневматические, механические, струйные. При механической аэрации воду с илом перемешивают различными мешалками (рис. 12.6).

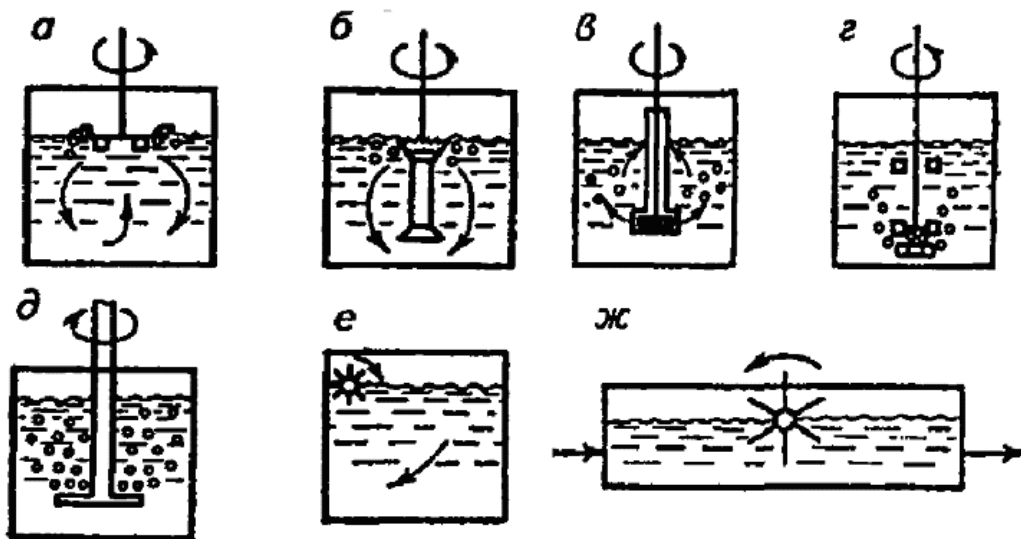


Рис. 12.6. Механические аэраторы

*a* – турбинный, *б* – турбинный с центральной трубой, *в* – всасывающий глубинный, *г*, *д* – глубинные с подачей воздуха соответственно под и через лопасти ротора, *е* – щеточный, *ж* – колесный

Пневматическую аэрацию в зависимости от размера пузырьков воздуха подразделяют на три вида: мелкопузырчатая (диаметр пузырьков 1–4 мм) – воздух подается под давлением через керамические или пластинчатые диффузоры; среднепузырчатая (5–10 мм) – воздух подается через перфорированные трубы или щелевые устройства; крупнопузырчатая (>10 мм) – воздух подается через сопла и трубы.

При струйной аэрации воздух подается с помощью инжектирующих струй воды, захватывающих с собой атмосферный воздух (рис. 12.7).

При высокой исходной концентрации органических примесей в воде (БПК<sub>п</sub> > 0,15 г/л) используют двухступенчатую очистку с окислением 50–70% примесей на первой ступени

Аэротенки очищают сточные воды с высокой эффективностью, позволяя довести значение БПК<sub>полн</sub> до 15 мг/л.

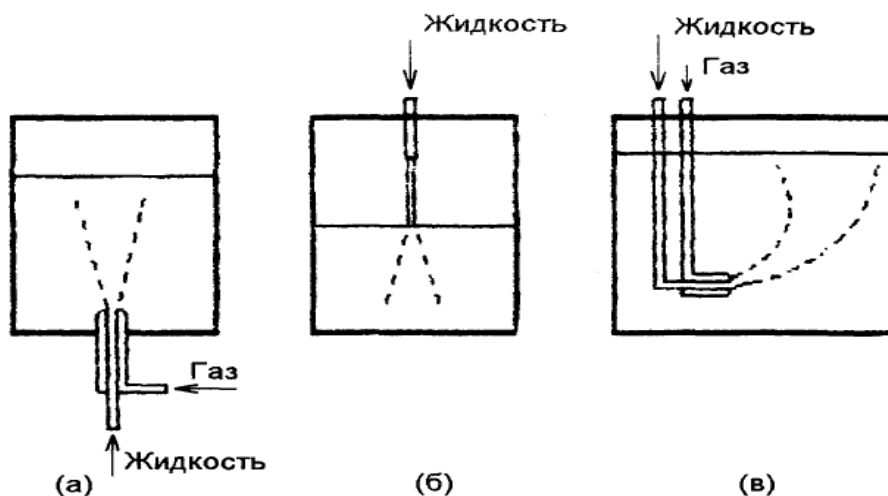


Рис. 12.7. Схемы аппаратов струйной аэрации с различным направлением движения струи

### **ЗАДАНИЕ:**

Найдите и изучите самостоятельно характеристики различных аэраторов. Сравните аэраторы с помощью концептуальной таблицы или диаграммы Венна.

## **12.4. Методы глубокой очистки от органических загрязнений и взвешенных веществ**

Для обеспечения нормативных требований к сбросу очищенных сточных вод часто необходима их доочистка. Поэтому сооружения полной биологической очистки дополняют фильтрами или сооружениями глубокой очистки от биогенных элементов (биологические окислители), физико-химическими методами доочистки или комплексом этих методов. Эти методы позволяют добиться минимальных допустимых концентраций органических соединений азота, фосфора и других компонентов (нефтепродукты, СПАВ, тяжелые металлы и др.). Разновидности методов глубокой очистки показаны на рис. 12.8.

Чаще всего глубокая очистка биологически очищенных стоков вод от взвешенных частиц и органических загрязнений осуществляется процеживанием и фильтрованием (микрофильтры и самотечные фильтры).

В настоящее время существуют комплексные методы, совмещающие фильтрование и биологическую деструкцию остаточных органических загрязнений. Осуществляется такая доочистка с помощью прикрепленной биомассы в установках под названием биореакторы (рис. 12.9).

В качестве загрузочного материала, на котором происходят процессы глубокого изъятия загрязнений, используются полимерные элементы. В биореакторах обработка сточных вод продолжается 0,5–1,0 ч при скорости фильтрации 5...7 м/ч. Обработка в биореакторе позволяет снизить содержание взвеси и БПК с 15–50 до 1–5 мг/л.

При традиционной биологической очистке изымается основная масса органических загрязнений, но не достигается глубокое удаление соединений азота и фосфора (их изъятие достигает 20–40 %).

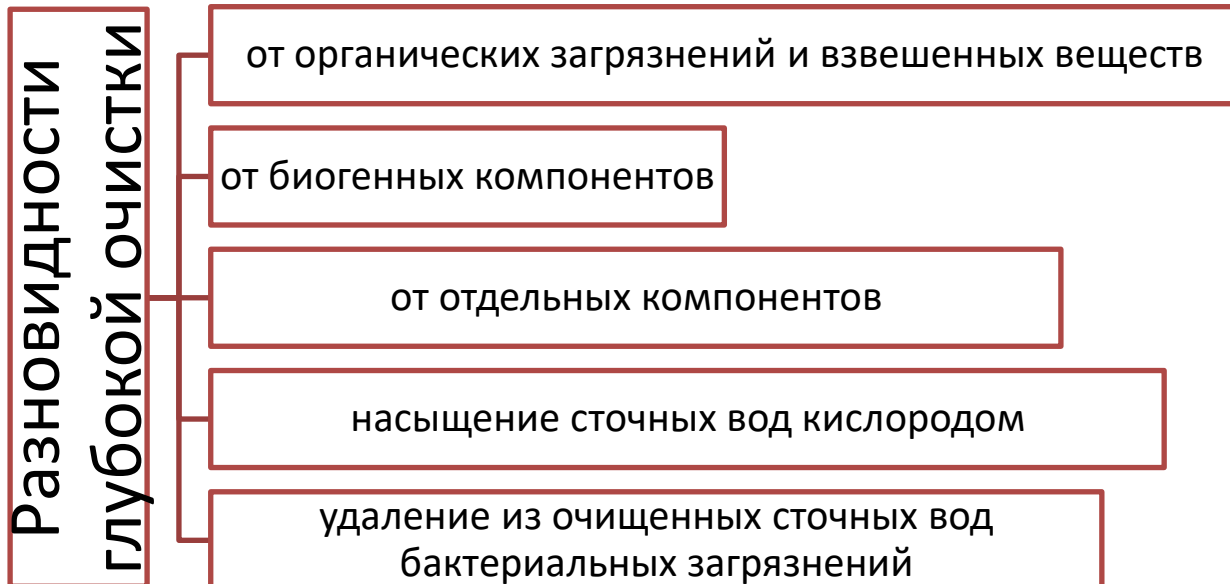


Рис. 12.8. Разновидности глубокой очистки сточных вод

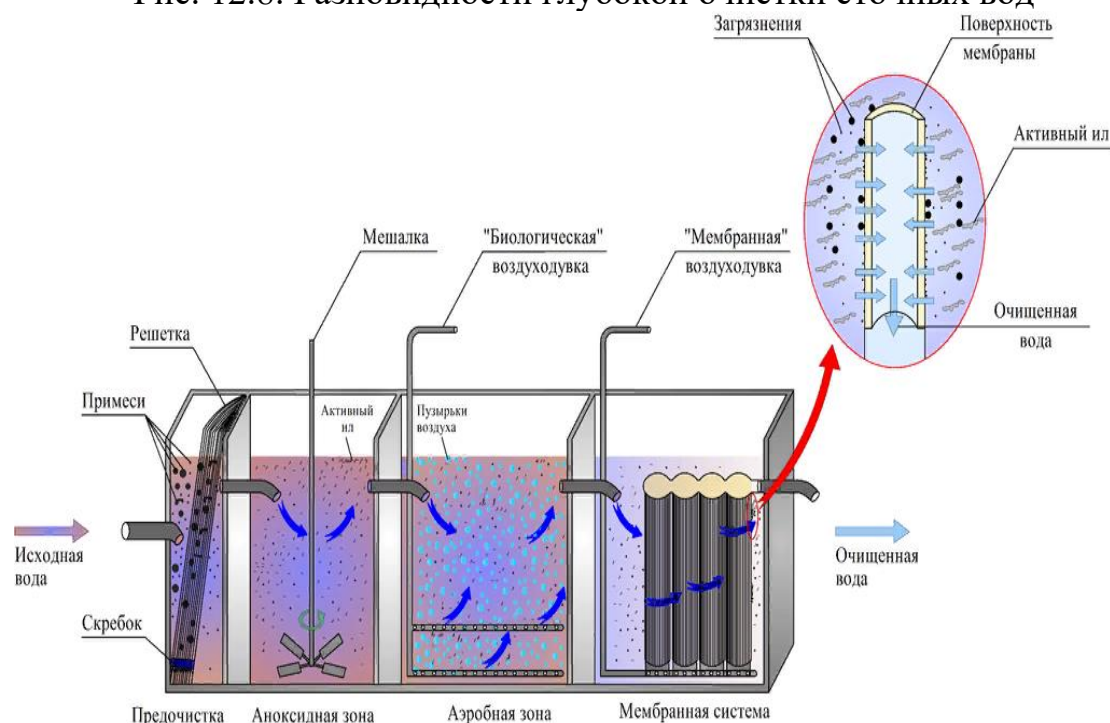


Рис. 12.9. Схема мембранного биореактора

Наиболее эффективная глубокая доочистка сточных вод достигается адсорбцией с помощью углеродных сорбентов (активированных углей), ионоактивных смол и клиноптиолитов – естественных неорганических цеолитов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Опишите сущность биологической очистки сточных вод.
2. Разновидности и условия биологической очистки.
3. Как осуществляется биологическая очистка в естественных условиях?
4. Расчет площади полей фильтрации.
5. Что такое нагрузка на поля орошения и как она определяется?
6. Биологическая очистка в искусственных условиях.
7. Основные параметры аэротенков.
8. Виды биофильтров.
9. Как осуществляют глубокую доочистку сточных вод?

## Глава 13. Виды, методы и сооружения, применяемые для очистки промышленных сточных вод

### 13.1. Химические методы очистки сточных вод. Нейтрализация

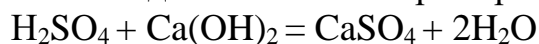
#### 13.1.1. Нейтрализация сточных вод

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, перед сбросом их в водоемы или перед использованием в технологических процессах нейтрализуют. Практически нейтральными считаются воды, имеющие  $pH = 6,5-8,5$ .

Нейтрализацию можно проводить различными путями: смешиванием кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами. Выбор метода нейтрализации зависит от объема и концентрации сточных вод, от режима их поступления, наличия и стоимости реагентов. В процессе нейтрализации могут образовываться осадки, количество которых зависит от концентрации и состава сточных вод, а также от вида и расхода используемых реагентов.

*Нейтрализация смешиванием.* Этот метод применяют, если на одном предприятии или на соседних предприятиях имеются кислые и щелочные воды, не загрязненные другими компонентами. Кислые и щелочные воды смешивают в емкости с мешалкой и без мешалки. В последнем случае перемешивание ведут воздухом при его скорости в линии подачи 20-40 м/с.

*Нейтрализация путем добавления реагентов.* Для нейтрализации кислых вод могут быть использованы:  $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NH_4OH$  (аммиачная вода),  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ , доломит ( $CaCO_3 MgCO_3$ ), цемент. Однако наиболее дешевым реагентом является гидроксид кальция (известковое молоко) с содержанием активной извести  $Ca(OH)_2$  5-10%. Соду и гидроксид натрия следует использовать, если они являются отходами производства. Иногда для нейтрализации применяют различные отходы производства. Например, шлаки сталеплавильного, феррохромового и доменного производств используют для нейтрализации вод, содержащих серную кислоту. При выборе реагента учитывают, будет ли в процессе образовываться осадок или нет. Например



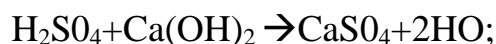
Расход реагента (в данном случае  $Ca(OH)_2$ ) можно определить по формуле

$$g = c(M_n/M_p), \quad (15.1)$$

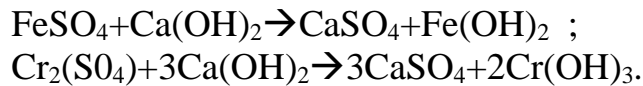
где  $c$  – концентрация примеси в воде,  $кг/м^3$ ;  $M_n$  – молекулярная масса примеси,  $кг/моль$ ;  $M_p$  – молекулярная масса реагента,  $кг/моль$ .

Кислые стоки нейтрализуются и известковым молоком с содержанием активной извести ( $Ca(OH)_2$ )-5-10% или по товарному продукту 7-15%. Основные реакции нейтрализации свободной серной кислоты и реакция взаимодействия солей тяжелых металлов с известковым молоком могут быть представлены следующими уравнениями:

для серной кислоты



для солей металлов



Необходимо отметить, что величина рН в нейтрализаторе кислых стоков и в отстойнике не должна быть больше 9,0, так как при этом получается большой перерасход извести и образуется дополнительная мутность очищенной воды за счет побочной реакции  $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ .

*Нейтрализация фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы.* В этом случае для нейтрализации кислых вод проводят фильтрование их через слой магнезита, доломита, известняка, твердых отходов (шлак, зола). Процесс ведут в фильтрах-нейтрализаторах (рис. 13.1), которые могут быть горизонтальными или вертикальными. Для вертикальных фильтров используют куски известняка или доломита размером 30-80 мм.



Рис. 13.1. Схема фильтра-нейтрализатора  
1 – приёмная камера, 2 – фильтрующая загрузка

*Нейтрализация кислыми газами.* Для нейтрализации щелочных сточных вод в последнее время начинают использовать отходящие газы, содержащие  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$  и др. Применение кислых газов позволяет не только нейтрализовать сточные воды, но и одновременно производить высокоэффективную очистку самих газов от вредных компонентов.

Использование для нейтрализации щелочных сточных вод диоксида углерода имеет ряд преимуществ по сравнению с применением серной или соляной кислот, позволяет резко снизить стоимость процесса нейтрализации. Вследствие плохой растворимости  $\text{CO}_2$  уменьшается опасность переокисления нейтрализованных растворов. Образующиеся карбонаты находят большее применение по сравнению с сульфатами или хлоридами, кроме того, коррозионные и токсичные воздействия  $\text{CO}_3^{2+}$  ионов в воде меньше, чем ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^{3-}$ .

Процесс нейтрализации может быть проведен в реакторах с мешалкой (рис. 13.2), в распылительных, пленочных и тарельчатых колоннах.

Нейтрализация щелочных вод дымовыми газами используется в некоторых производствах, например, в асбестоцементном производстве. Сточные

воды этих производств имеют рН = 12-13. Нейтрализация производится диоксидом углерода дымовых газов (5-6 % CO<sub>2</sub>) в тарельчатом абсорбере.

Нейтрализация щелочных вод дымовыми газами является примером ресурсосберегающей технологии, так как позволяет исключить использование кислот и организовать бессточную схему водопотребления. При этом ликвидируется сброс сточных вод, сокращается забор свежей воды, а также очищаются дымовые газы от кислых компонентов (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и др.) и пыли.

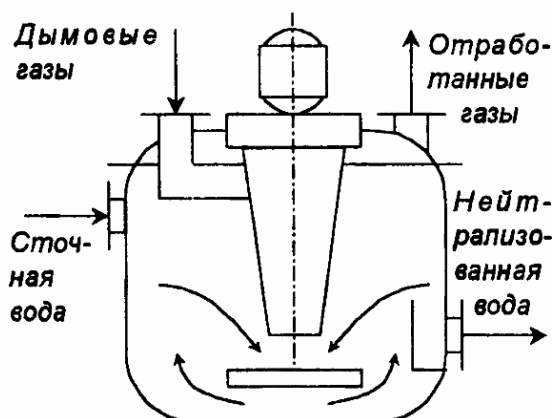


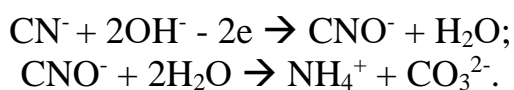
Рис. 13.2. Нейтрализатор дымовыми газами

### 13.1.2. Окислительный метод очистки. Озонирование.

**Окислительный метод очистки** применяют для обезвреживания сточных вод, содержащих токсичные примеси (цианиды, комплексные цианиды меди и цинка) или соединения, которые нецелесообразно извлекать из сточных вод, а также очищать другими методами (сероводород, сульфиды).

Окисление – реакция соединения какого-либо вещества с кислородом, а в более широком смысле — любая химическая реакция, сущность которой состоит в отнятии электронов от атомов или ионов. В практике обезвреживания сточных вод используют окислители: хлор, гипохлорит кальция, гипохлорит натрия, хлорную известь, диоксид хлора, пероксид водорода, озон, технический кислород и кислород воздуха.

Обезвреживание сточных вод хлором или его соединениями — один из самых распространенных способов их очистки от ядовитых цианидов, а также таких органических и неорганических соединений, как сероводород, гидросульфиды, сульфиды, метилмеркаптан и др. Окисление ядовитых цианидов CN<sup>-</sup> осуществляется путем перевода их в нетоксичный цианат CNO<sup>-</sup>, который затем гидролизуется с образованием ионов аммония и карбонат-ионов:

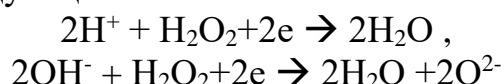


Возможен перевод токсичных соединений в нетоксичный комплекс или осадок (в виде нерастворимых цианидов) с последующим удалением его из сточных вод отстаиванием или фильтрованием.

Конструкция установок по обработке сточных вод методом хлорирования зависит от агрегатного состояния вводимых в воду хлора или хлорсодержащих

реагентов. Если вода обрабатывается газообразным хлором или диоксидом хлора, то процесс окисления происходит в абсорберах; если хлор или диоксид хлора находятся в растворе, то они подаются в смеситель и далее в контактный резервуар, в которых обеспечиваются их эффективное смешивание и требуемая продолжительность контакта с обрабатываемой сточной водой.

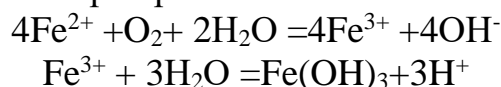
**Окисление пероксидом водорода.** Пероксид (перекись) водорода является бесцветной жидкостью, в любых соотношениях смешивается с водой. Она может быть использована для окисления нитритов, альдегидов, фенолов, цианидов, серосодержащих отходов, активных красителей. Промышленность производит 85-95%-ный пероксид водорода и пергидроль, содержащий 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Пероксид водорода токсичен (ПДК в воде 0,1 мг/л), в кислой и щелочной средах разлагается по следующим схемам:



В кислой среде более отчетливо выражена окислительная функция, а в щелочной – восстановительная.

В кислой среде пероксид водорода переводит соли двухвалентного железа в соли трехвалентного, азотистую кислоту — в азотную, сульфиды — в сульфаты. Цианиды в цианаты окисляются в щелочной среде (pH = 9-12).

**Окисление кислородом воздуха.** Кислород воздуха используют при очистке воды от железа для окисления соединений двухвалентного железа в трехвалентное с последующим отделением от воды гидроксида железа. Реакция окисления в водном растворе протекает по схеме:



Окисление проводят при аэрировании воздуха через сточную воду в башнях с хордовой насадкой. Образующийся гидроксид железа отстаивают в контактном резервуаре, а затем отфильтровывают.

**Озонирование.** Окисление озоном позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, устранение привкусов и запахов и обеззараживание. Озонированием можно очищать сточные воды от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др.

Озон — газ бледно-фиолетового цвета. В природе находится в верхних слоях атмосферы. При температуре  $-111,9^\circ\text{C}$  озон превращается в нестойкую жидкость темно-синего цвета. Физико-химические свойства озона: относительная молекулярная масса 48; плотность (при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 0,1 МПа) 2,154 г/л; температура плавления  $192,5^\circ\text{C}$ ; теплота образования 143,64 кДж/моль; коэффициент растворимости в воде при  $0^\circ\text{C}$  — 0,49, при  $20^\circ\text{C}$  — 0,29.

Чистый озон взрывоопасен, так как при его разложении высвобождается значительное количество тепла; очень токсичен. Максимальная допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны равна 0,0001 мг/м<sup>3</sup>. Обеззараживающее действие озона основано на высокой окислительной способности, обусловленной легкостью отдачи им активного атома кислорода ( $\text{O}_3 = \text{O}_2 + \text{O}$ ). Озон окисляет все металлы, кроме золота, превращая их в оксиды.



При обработке воды озоном происходит разложение органических веществ и обеззараживание воды; бактерии погибают в несколько тысяч раз быстрее, чем при обработке воды хлором. Растворимость озона в воде зависит от рН и содержания в воде растворимых веществ. Небольшое содержание кислот и нейтральных солей увеличивает растворимость озона. Присутствие щелочей снижает растворимость  $O_3$ .

Озон в обрабатываемую сточную воду вводят различными способами: 1) барботированием содержащего озон воздуха через слой воды; распределение воздуха происходит через фильтры; 2) противоточной абсорбцией озона водой в абсорберах с различными насадками, 3) смешиванием с озono-воздушной смесью в эжекторах или роторных механических смесителях.

Действие озона в процессе окисления может происходить в трех различных направлениях: непосредственное окисление с участием одного атома кислорода; присоединение целой молекулы озона к окисляемому веществу с образованием озонидов; каталитическое усиление окисляющего воздействия кислорода, присутствующего в озонированном воздухе.

Окисление веществ может быть прямое и непрямое, а также может осуществляться катализом и озонлизом.

**Примером прямых реакций** может служить окисление ряда органических и минеральных веществ ( $Fe^{2+}$   $Mn^{2+}$ ), которые после озонирования осаждаются в форме нерастворимых гидроксидов или переводятся в диоксиды и перманганаты.

**Непрямое окисление** — окисление радикалами, например, группой ОН и другими, образующимися в результате перехода озона из газовой фазы в жидкость и его саморазложения. Интенсивность непрямого окисления прямо пропорциональна количеству разложившегося озона и обратно пропорциональна концентрации присутствующих в воде загрязнителей.

**Озонлиз** представляет собой процесс фиксации озона на двойной или тройной углеродной связи с последующим ее разрывом и образованием озонидов, которые, как и озон, являются нестойкими соединениями и быстро разлагаются:

**Катализ** — каталитическое воздействие озонирования заключается в усилении им окисляющей способности кислорода, который присутствует в озонированном воздухе.

Озон получают из кислорода воздуха под действием электрического разряда в генераторах. Перед подачей воздуха или чистого кислорода в генератор его предварительно осушают, так как с увеличением влажности воздуха выход озона уменьшается. Расход электроэнергии на получение 1 кг озона из хорошо осушенного воздуха для озонаторов различных типов составляет 13-26 кВт·ч, из технического кислорода 6-12 кВт·ч, а из неосушенного воздуха — 43-57 кВт·ч. Расход электроэнергии на осушение и компрессию воздуха для получения 1 кг озона 6-10 кВт·ч.

Озон подают в сточную воду в виде озono-воздушной или озонкислородной смеси. Концентрация озона в смеси — около 3%. Для усиления процесса окисления смесь диспергируют в сточной воде на мельчайшие пузырьки газа.

На рис. 13.3 показаны виды контактных камер для смешивания сточных вод с озono-воздушной смесью. Такие установки применяются обычно для обработки сточных вод с легко окисляемыми примесями.

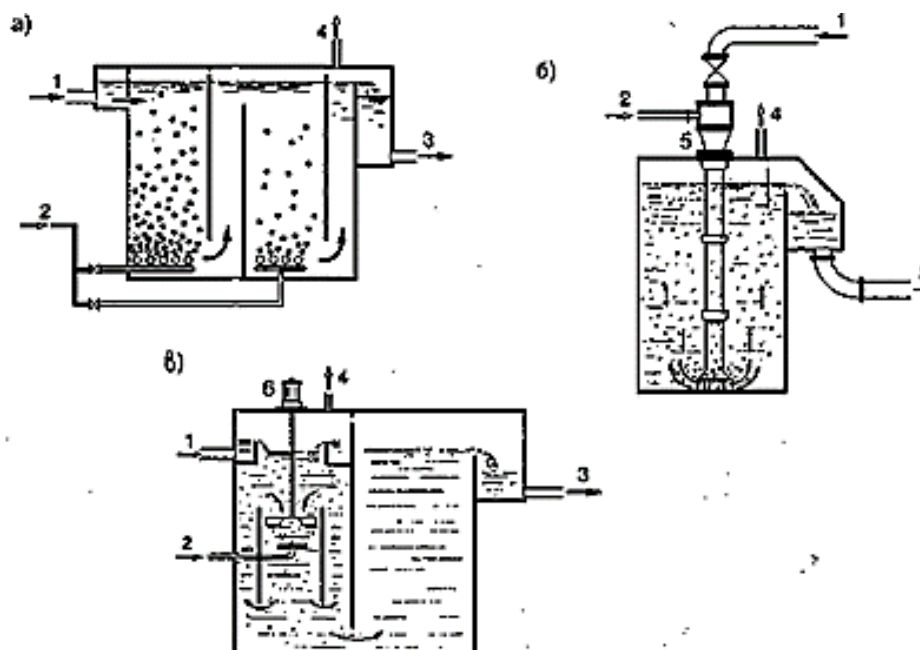


Рис.13.3. Контактные камеры:

а – двухсекционная барботажная; б – камера, оборудованная инжектором; в – камера, оборудованная импеллером; 1,3- подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – подача озono-воздушной смеси; 4 – выпуск отработанной озono-воздушной смеси; 5 – инжектор; 6 – импеллерное устройство

Количество неиспользованного в процессе обработки воды озона может составлять 2-8%. Поэтому необходимо проводить разбавление газов до безопасных концентраций озона перед их выбросом в атмосферу; деструкцию озона или его утилизацию.

*Для деструкции остаточного озона применяют адсорбцию, катализ или пиролиз.* При адсорбции газы пропускают через колонну с активным углем в виде зерен диаметром 1-6 мм. Недостатком процесса является то, что уголь легко сорбирует органические вещества. В результате он медленно окисляется по мере окисления органических веществ озном. В среднем затрачивается 450 г активного угля на 1 кг озона.

Деструкция катализом состоит в быстром разложении озона на кислород и атомный кислород в присутствии катализатора (платиновой сетки) при 60-120°C. Способ эффективен при значительных концентрациях озона в обрабатываемом воздухе. Продолжительность контакта с катализатором не более 1 с. Катализаторы регенерируют в печах при 500°C в течение 6-7 ч.

Пиролиз применяют для деструкции при незначительных концентрациях озона в газе. Процесс проводят при температуре 340-350 °C, его продолжительность 3 с.

Процесс очистки сточных вод значительно сокращается при совместном использовании ультразвука и озона, ультрафиолетового облучения и озона.

Ультрафиолетовое облучение ускоряет окисление в  $10^2$ - $10^4$  раз. Процесс окисления можно разделить на две стадии: 1) фотохимическое возбуждение молекул под действием УФ-облучения; 2) окисление озоном. На первой стадии образуются высокоактивные в отношении озона свободные радикалы и соединения с низкой молекулярной массой, которые, поглощая свет, окисляются быстрее, чем исходные.

По сравнению с другими окислителями (например, хлором) озон имеет ряд преимуществ. Его можно получать непосредственно на очистных установках, причем сырьем для его получения служит или технический кислород, или атмосферный воздух. Перспективность применения озонирования как окислительного метода обусловлена также тем, что озонирование не приводит к увеличению солевого состава очищаемых сточных вод и не загрязняет воду продуктами реакции, а сам процесс легко поддается полной автоматизации.

## 13.2. Физико-химическая очистка сточных вод

Методы физико-химической очистки очень разнообразны, к ним относятся коагуляция примесей, флотация, сорбция, электрохимическая очистка, эвапорация и др.

*Флотация – метод очистки промышленных сточных вод от гидрофобных мелкодисперсных загрязнений, основанный на явлении смачивания жидкостью твердых или жидких несмешивающихся с ней поверхностей.*

### 13.2.1. Очистка сточных вод флотацией

Метод применяют для удаления из сточных вод нерастворимых в воде диспергированных загрязнений, которые самопроизвольно плохо отстаиваются при механической очистке (жиров, масел, смол, нефтепродуктов, гидроксидов тяжелых металлов и др.), в ряде случаев флотацию применяют для очистки воды от растворенных веществ, например ПАВ («пенная сепарация» (рис. 15.4)). Применяется на предприятиях практически всех областей промышленности.

Основные достоинства флотации – непрерывность, высокая скорость и простота процесса, широкий диапазон ее использования, возможность селективного выделения и рекуперации удаляемых веществ, высокая степень очистки (до 98%) и сравнительно небольшие капитальные и эксплуатационные затраты.

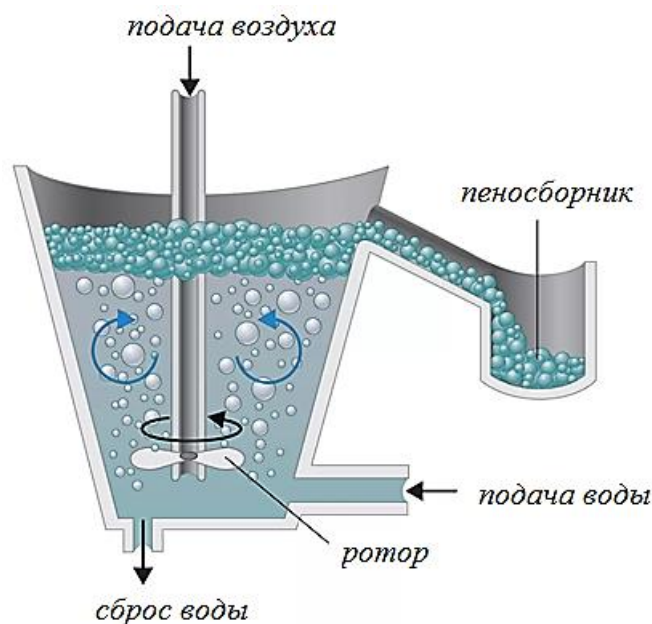


Рис. 13.4. Схема пенной флотации (сепарации)

Процесс флотационной очистки заключается в удалении гидрофобных частиц загрязнений за счет прилипания их к всплывающим пузырькам воздуха с образованием пенного слоя на поверхности очищаемой сточной воды.

Прилипание частицы к поверхности газового пузырька возможно только тогда, когда частица гидрофобная, т.е. не смачивается (или плохо смачивается) жидкостью.

На эффект флотации значительное влияние оказывают размер и количество пузырьков воздуха, распределенных в воде. Эффективная флотация требует возможно более тонкого диспергирования воздуха. Оптимальным размером воздушных пузырьков считается 15—30 мкм. Следует указать, что флотационная очистка протекает достаточно успешно и при крупности пузырьков воздуха до 100 и даже 200 мкм.

#### **Различают следующие способы флотационной обработки сточных вод:**

1. флотация с выделением пузырьков воздуха из раствора
2. флотация с механическим диспергированием воздуха
3. флотация с подачей воздуха через пористые материалы
4. электрофлотация
5. биологическая и химическая флотация.

**Флотация с выделением воздуха из раствора** применяется при очистке производственных сточных вод, содержащих очень мелкие частицы загрязнений путем создания в них пересыщенного раствора воздуха. Метод основан на зависимости растворимости газов воздуха в воде от давления. На практике применяют 3 способа создания пересыщенного раствора соответственно различают 3 вида флотации: **вакуумную, напорную и эрлифтную**.

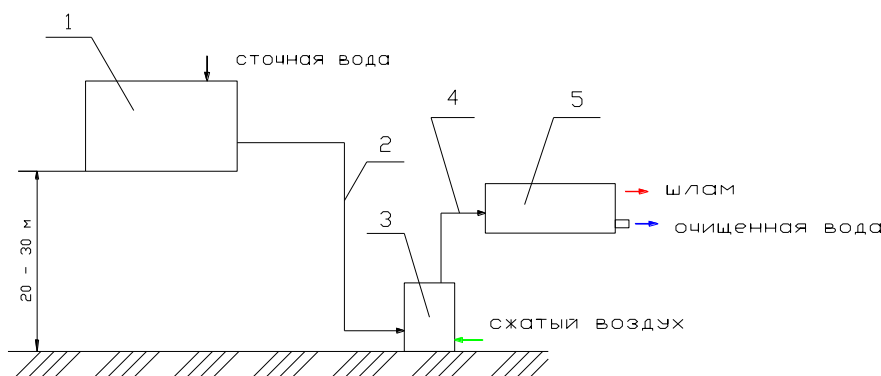
1) При **вакуумной** флотации сточная вода, поступая в аэрационную камеру, насыщается воздухом при атмосферном давлении и направляется во флотационную камеру, где при помощи вакуум-насоса создается разрежение 30-40 кПа (225 – 300 мм рт.ст.). В результате уменьшения растворимости газов

в воде при понижении давления в объеме очищаемой воды будут образовываться мелкие пузырьки воздуха, которые и флотируют загрязнения.

2) При **напорной** флотации схема получения пузырьков воздуха в очищаемой воде противоположна: воду насыщают воздухом при повышенном давлении, затем внешнее давление снижают, растворимость газов в воде уменьшается, и они выделяются в объеме очищаемой воды в виде мелких пузырьков. Напорные установки более просты, поэтому напорная флотация более распространена. Применяется в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, металлургической, химической и машиностроительной промышленности. Производительность установки составляет от 5...10 до 1000...2000 м<sup>3</sup>/ч; они позволяют очищать стоки с высокой концентрацией загрязнения (до 4...5 кг/м<sup>3</sup>).

3) **Эрлифтные** установки (рис. 13.5) более экономичны и просты, чем вакуумные и напорные, широко применяется в химической промышленности. Затраты энергии в них в 2...4 раза меньше, чем в напорных; недостатком является необходимость размещения флотационных камер на большой высоте.

Сточные воды, находящиеся во флотационной камере, расположенной на высоте 20-30м, по трубопроводу 2 поступают в аэратор 3, куда подается сжатый воздух, который растворяется под большим давлением. Поднимаясь по эрлифтному трубопроводу 4, водная смесь поступает во флотатор 5 и обогащается пузырьками воздуха, которые выделяются во флотаторе, образуемая воздушная пена с частицами загрязнителя (в виде шлама) удаляется самотеком или собирается скребком, а очищенная вода выходит по сливному патрубку.



**Рис. 13.5. Схема эрлифтной установки**

1 – флотационная камера; 2, 4 – трубопроводы; 3 – аэратор; 5 – флотатор

**Флотация с механическим диспергированием воздуха.** При перемешивании струи воздуха в воде создается интенсивное вихревое движение, воздушная струя распадается на отдельные пузырьки. Механическое перемешивание осуществляется **импеллерами** – турбинками насосного типа. Импеллер представляет собой диск диаметром до 600...700мм с радиальными обращенными вверх лопатками. При вращении импеллера в жидкости возникает большое число мелких вихревых потоков, которые разбиваются на пузырьки определенной величины. Эффективность очистки зависит от скорости вращения импеллера – чем больше скорость, тем эффективнее очистка. Однако при превыше-

нии критического значения окружной скорости вращения импеллера резко возрастающая турбулентность может привести к разрушению хлопьевидных частиц и снизить качество очистки.

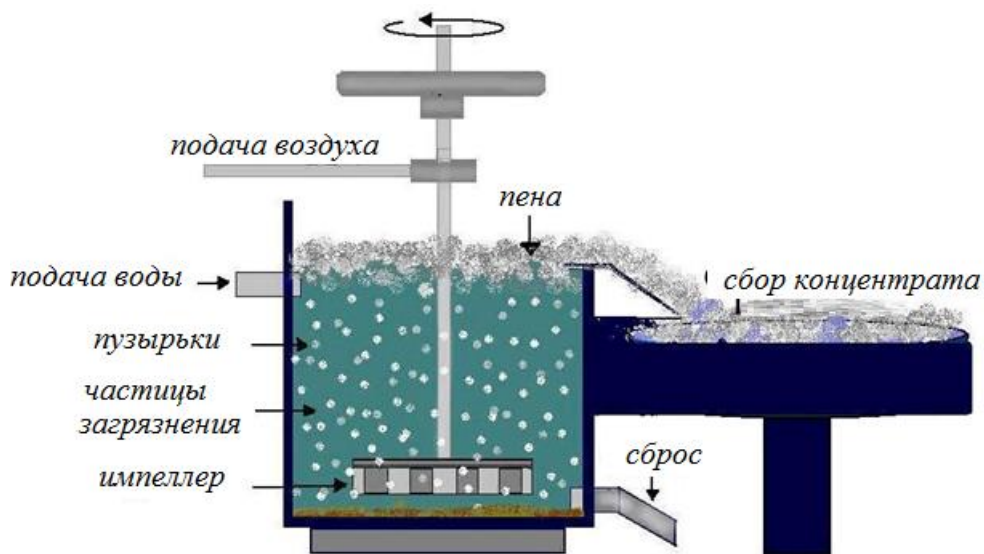


Рис. 13.6. Процесс импеллерной флотации

**Флотация с подачей воздуха через пористые материалы** проводится пропуском воздуха через пористые керамические пластины или колпачки, трубы, насадки, уложенные на дне флотационной камеры (рис. 13.7). Недостатком метода является возможность зараствания и засорения пор, а также трудности выбора материалов, обеспечивающих выход мелких, близких по размеру пузырьков.

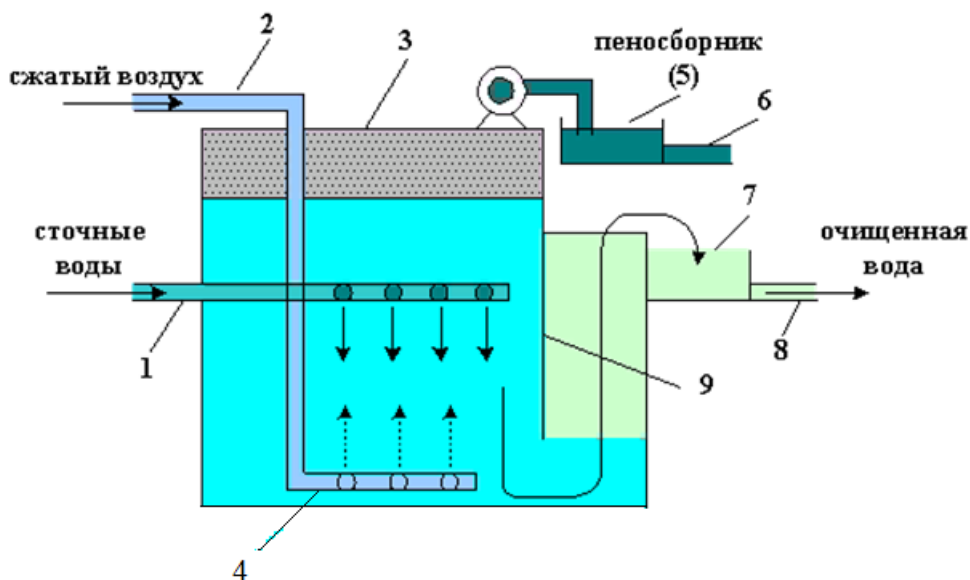


Рис. 13.7. Флотация с подачей воздуха через пористые материалы

1 – трубопровод подачи сточной воды, 2 – трубопровод подачи воздуха, 3 – слой пены, 4 – перфорированная труба, 5 – пеносборник, 6 – отвод остающейся воды, 7 – сбор очищенной воды, 8 – отвод очищенной воды, 9 – перегородка

**Электрофлотация** отличается от других способов флотационной очистки сточных вод тем, что пузырьки газа образуются при электролизе воды.

**Биологическая флотация** применяется для уплотнения осадков сточных вод. При биологической флотации осадок из первичных отстойников подогревается паром в специальной емкости до 35 – 55°C и при этих условиях выдерживается несколько суток. В результате деятельности микроорганизмов выделяются пузырьки газов, которые флотируют частицы осадка в пенный слой, где они уплотняются и обезвоживаются.

**Химическая флотация** отличается тем, что для получения пузырьков газа в очищаемую воду добавляются специальные реагенты (хлорная известь с коагулянтами и др.). При реакции реагентов с водой или загрязнениями воды выделяются газообразные вещества: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> и другие.

Для извлечения из сточных вод ионов редких металлов может быть использована **ионная флотация**. В этом случае в сточную воду, находящуюся во флотационной камере, вводят пузырьки воздуха и вещество-собиратель (ПАВ), которое образует ионы, имеющие заряд, противоположный заряду извлекаемого иона (металла). Ионы ПАВ и загрязнителя концентрируются на поверхности газовых пузырьков и выносятся в пену, удаляемую из камеры. Затем пена разрушается и из нее извлекаются сконцентрированные ионы удаляемого вещества (металла).

**Образование флотационной пены на поверхности воды и способы ее удаления.** Пена образуется на поверхности воды в результате всплывания пузырьков воздуха, несущих на себе удаляемые из воды примеси. При флотации природных вод образующаяся пена должна быть достаточно прочной и не допускать обратного попадания загрязнений в воду.

**Удаление пены из флотатора** производят либо кратковременным подъемом уровня воды с отводом ее через подвесные лотки, расположенные равномерно по площади камеры, либо с помощью скребковых механизмов, перемещающих пену к сборным лоткам. Потери воды при сбросе пены подъемом уровня воды принимают 1 ... 1,5% от расхода обрабатываемой воды. При удалении пены скребковыми механизмами скорость движения скребков в прямоугольных камерах принимают до 0,02 м/с, в круглых — окружную скорость 0,015... 0,02 м/с, при частоте вращения 6... 10 с<sup>-1</sup>.

В зарубежной практике наибольшее распространение получили скребки-транспортёры, которые применяют для удаления очень вязких пен. Во флотаторах, имеющих в плане круглую форму, применяют вращающиеся скребки. На установках флотационного осветления используют даже **лопастные пеносьемники**, которые устанавливают у сливной кромки пеносорборного желоба.

При проектировании установок импеллерных, пневматических и с диспергированием воздуха через пористые материалы необходимо принимать:

- продолжительность флотации 20-30 мин;
- расход воздуха при работе в режиме флотации 0,1-0,5 [м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>];
- расход воздуха в режиме пенной сепарации 3-4 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (50-200 л на 1г извлекаемых ПАВ) или 30-50м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>\*ч);
- глубину воды в камере флотации Н<sub>ф</sub>= 1,5-3м.;

- Окружная скорость импеллера  $10-15^m/c$ ;
- Камеру для импеллерной флотации – квадратную со стороной, равной  $V=6d$  ( $d$ =диаметр импеллера 200-750 мм.);
- скорость выхода воздуха из сопел при пневматической флотации 100-200 м/с
- диаметр сопел 1-1,2 мм.
- Диаметр отверстий пористых пластин 4-20мкм.
- Давление воздуха под пластинами 0,1-0,2 Мпа ( $1-2\text{кгс}/\text{см}^2$ ).

Основным параметром расчета импеллерных установок является коэффициент аэрации  $\alpha=0,35$

При проектировании напорных флотационных установок следует принимать:

- продолжительность флотации - 20-30 мин;
- количество подаваемого воздуха, л на 1 кг извлекаемых загрязняющих веществ: 40 – при исходной их концентрации  $C_{\text{вх}}$  менее 200 мг/л, 28 – при  $C_{\text{вх}} = 500$ , 20 – при  $C_{\text{вх}} = 1000$  мг/л, 15 – при  $C_{\text{вх}} = 3-4$  г/л;
- флотокамеры с горизонтальным движением воды при производительности до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , с вертикальным - до 200, с радиальным - до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- горизонтальную скорость движения воды в прямоугольных и радиальных флотокамерах - не более 5 мм/с;
- подачу воздуха через эжектор во всасывающий патрубок насоса - при небольшой высоте всасывания (до 2 м) и незначительных колебаниях уровня воды в приемном резервуаре (0,5-1,0 м), компрессором в напорный бак – в остальных случаях.

### 13.2.2. Электрохимические методы очистки стоков

Электрохимические методы очистки сточных вод основаны на пропускании через них постоянного электрического тока высокого напряжения при подаче его через электроды.

Аппараты для электрохимической очистки сточных вод могут быть как с не подвергающимися (электролизеры), так и с подвергающимися электролитическому растворению анодами (электрокоагуляторы). Делятся на несколько видов.

**Электролизеры.** Для удаления из стоков растворенных примесей (фенолов, спиртов, альдегидов, азокрасителей и др.) применяют процессы анодного окисления и катодного восстановления. В аппарате-электролизере на аноде ионы растворенного вещества отдают электроды (реакция электрохимического окисления), а на катоде происходит присоединение электронов (реакция восстановления). При этом вещества, находящиеся в воде, полностью распадаются с выделением  $\text{CO}_2$  и воды или образуются более простые и нетоксичные вещества, которые можно удалить другим методом. В качестве анодов используют электролитически нерастворимые материалы (графит, магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и др.), а катоды изготавливаются из молибдена, графита, нержавеющей стали и др. Для повышения электропроводности вод и снижения расхода электроэнергии к водам добавляют поваренную соль.



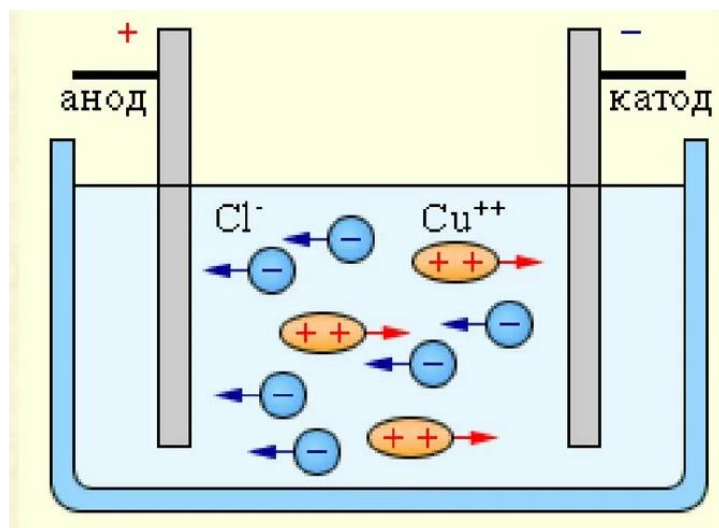


Рис.13.8. Схема очистки воды от хлорида меди электролизом

Электролизеры применяют, например, для обработки цианосодержащих сточных вод при расходе сточных вод до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  и исходной концентрации цианидов не менее  $100 \text{ мг/л}$ . Аноды изготавливают из графита, титана с металлооксидным покрытием и др., а катоды - из стали. Корпус электролизера изнутри покрывают материалами, стойкими к воздействию хлора и его кислородных соединений и оборудуют вентиляционным устройством для удаления выделяющегося газообразного водорода.

**Электрокоагуляция** (рис. 13.9). Основана на принципе образования гидроксидов металлов и агрегации частиц. При применении растворимых стальных или алюминиевых электродов металл электрода растворяется, и в воду переходят его катионы, которые, встречаясь с гидроксильными группами, образуют гидраты окиси металлов в виде хлопьев, т.е. наступает интенсивная коагуляция. Недостаток метода – повышенные расходы металла и электроэнергии.

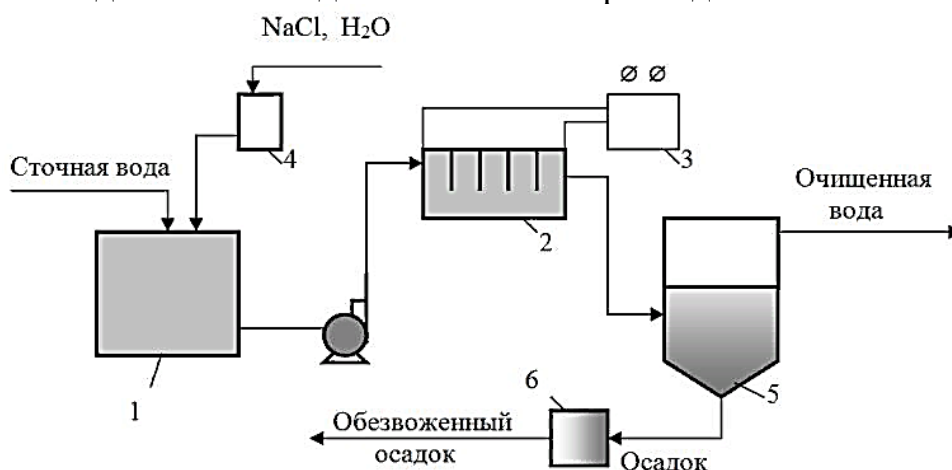


Рис. 13.9. Схема электрокоагуляционной очистки сточных вод

1 – усреднитель стоков; 2 – электрокоагулятор; 3 – источник постоянного тока; 4 – бак для приготовления раствора  $NaCl$ ; 5 – отстойник; 6 – аппарат для механического обезвоживания осадка

Электрокоагуляторы с алюминиевыми пластинчатыми электродами применяют для очистки концентрированных маслосодержащих сточных вод (от-

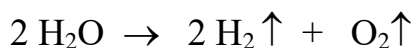
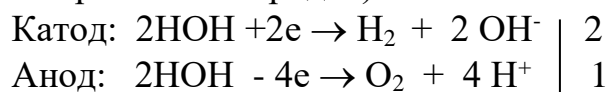
работанных смазочно-охлаждающих жидкостей), образующихся при обработке металлов резанием и давлением, с концентрацией масел не более 10 г/л. При обработке сточных вод с более высоким содержанием масел необходимо предварительное разбавление предпочтительно кислыми сточными водами. Остаточная концентрация масел в очищенных сточных водах должна быть не более 25 мг/л.

Электрокоагуляторы со стальными электродами следует применять для очистки сточных вод предприятий различных отраслей промышленности от шестивалентного хрома и других металлов при расходе сточных вод не более 50 м<sup>3</sup>/ч, концентрации шестивалентного хрома до 100 мг/л, исходном общем содержании ионов цветных металлов (цинка, меди, никеля, кадмия, трехвалентного хрома) до 100 мг/л, при концентрации каждого из ионов металлов до 30 мг/л, минимальном общем солесодержании сточной воды 300 мг/л, концентрации взвешенных веществ до 50 мг/л.

Корпус электрокоагулятора должен быть защищен изнутри кислотостойкой изоляцией и оборудован вентиляционным устройством. Электрокоагуляторы имеют следующие рабочие параметры: анодную плотность тока - 150-250 А/м<sup>2</sup>; время пребывания сточных вод в электрокоагуляторе - до 3 мин; расстояние между соседними электродами - 5-10 мм; скорость движения сточных вод в межэлектродном пространстве – не менее 0,03 м/с.

Удельный расход электричества для удаления из сточных вод 1г Cr<sup>6+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> при наличии в сточных водах только одного компонента - соответственно 3,1; 2-2,5; 4,5-5; 6-6,5 и 3-3,5 А·ч; удельный расход металлического железа для удаления из сточных вод 1 г шестивалентного хрома - 2-2,5 г; удельный расход металлического железа для удаления 1 г никеля, цинка, меди, кадмия - соответственно 5,5-6; 2,5-3; 3-3,5 и 4-4,5 г.

**Электрофлотация.** Применяется для очистки сточных вод от взвешенных частиц и осуществляется при помощи пузырьков газа, которые образуются при электролизе воды: на катоде происходит восстановление воды с образованием молекулярного водорода, на аноде выделяется кислород (при использовании инертных электродов):



Пузырьки H<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>, поднимаясь вверх в слое сточной воды, флотируют взвешенные частицы загрязнения. При использовании неинертных электродов (железных или алюминиевых) на аноде происходит анодное окисление металла, который в виде хлопьев гидроксида переходит в очищаемую воду, и эффект такой флотации увеличивается. На хлопьях коагулянта закрепляются пузырьки воздуха, происходит интенсивная коагуляция загрязнений. Процесс в целом называют электрокоагуляционно-флотационным (*или электрофлотоквагуляцией*).

Электрофлотатор состоит из успокоителя, куда поступает сточная вода, электродного отделения, где она насыщается газовыми пузырьками, и отстойной части, откуда всплывший шлам удаляется скребком в шламоприемник. При малых объемах очищаемых сточных вод (до 15 м<sup>3</sup>/ч) установки имеют одну камеру, а при больших – две.

Электрохимические способы очистки сточных вод имеют ряд достоинств:

1. Сравнительно небольшие массово-габаритные характеристики установок для очистки воды.
2. Относительно низкие энергозатраты.
3. Не требуется добавления вредных реагентов, не повышается общее содержание в воде на выходе.
4. Не утилизируемый остаток образуется в малых количествах и может быть размещен на полигоне.

### 13.2.3. Очистка воды сорбцией

***Сорбционная очистка – это метод очистки, основанный на поглощении загрязняющих веществ из сточных вод твердым телом или жидкостью. Поглощающее тело называют сорбентом, а поглощаемое вещество – сорбатом.***

*Адсорбция* – поглощение вещества всем объемом жидкого сорбента. *Абсорбция* – поглощение вещества поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента. Сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется хемосорбцией. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно или совместно с другими методами очистки для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ, а также в целях последующего использования очищенной воды в системах оборотного водоснабжения. Метод применим для очистки сточных вод от ароматических соединений, красителей, углеводов, слабых электролитов. При содержании в сточных водах только неорганических соединений, а также низших одноатомных спиртов этот метод неприменим. В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели, активные глины, уголь и др. Активность сорбента характеризуется массой поглощаемого вещества на единицу объема или массы сорбента (кг/м<sup>3</sup>, кг/кг).

**Процесс сорбции может проводиться в статических и динамических условиях.** В соответствии с этим различают статическую и динамическую активность сорбента. Статическая активность сорбента характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента к моменту достижения равновесия при постоянных температуре жидкости и начальной концентрации вещества. Динамическая активность сорбента

характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате.

**Сорбция – процесс обратимый.** Сорбат (загрязнение) может переходить из сорбента обратно в раствор (очищаемую сточную воду).

Если в сточной воде присутствуют несколько загрязняющих веществ, то следует определять, возможна ли их совместная адсорбция. Скорость процесса адсорбционной очистки зависит от концентрации, химической природы растворенных веществ, температуры воды, свойств адсорбента.

В зависимости от области применения метода сорбционной очистки, расположения адсорберов в общем комплексе очистных сооружений, состава сточных вод, вида сорбента выбирают определенную схему сорбционной очистки и тип адсорбера.

**Насыпной фильтр – наиболее простой вид адсорбера,** применяемый перед сооружениями биологической очистки. Он представляет собой колонну с неподвижным слоем сорбента, через который фильтруется сточная вода. Наиболее рациональное направление фильтрования жидкости – снизу вверх. В этом случае происходит равномерное заполнение колонны по всему сечению, относительно легко вытесняются пузырьки воздуха или газов, попадающие в слой сорбента вместе со сточной водой. В колонне на беспровальную решетку с отверстиями 5-10 мм и шагом 10-20 мм укладывается поддерживающий слой мелкого щебня и крупного гравия высотой 40 – 50 см, далее - слой зерен сорбента. Сверху слой сорбента закрывают слоем гравия и щебня, решеткой. Процесс десорбции проводят при помощи растворителей или пара.

**Сорбционная очистка может быть:**

- **регенеративной, когда извлеченные вещества утилизируются,**
- **деструктивной, когда извлеченные вещества уничтожаются.**

В зависимости от назначения сорбционной очистки применяются различные методы регенерации сорбента. Для извлечения адсорбированных веществ используют **экстракцию** их органическим растворителем, **отгонку адсорбированного вещества с водяным паром, испарение** адсорбированного вещества током газообразного инертного теплоносителя. Легколетучие органические вещества десорбируют воздухом, инертными газами, перегретым паром. При этом температура воздуха должна быть 120 – 140<sup>o</sup>C, перегретого пара – 200-300<sup>o</sup>C, а инертных газов – 300 – 500<sup>o</sup>C. В качестве растворителей при десорбции могут использоваться легколетучие органические вещества (**дихлорэтан, бутилацетат и др.**). Растворитель отгоняется из сорбента перегретым водяным паром. При деструктивной очистке применяют термические или окислительные методы (в бескислородной среде). При этом часть сорбента неизбежно теряется.

В качестве **сорбентов** могут использоваться углеродные и неуглеродные природные и искусственные материалы.

Основной вид сорбента – активные угли (АУ). При производстве АУ углеродсодержащее сырье (уголь, антрацит, древесина, торф, полимеры, промышленные отходы) подвергают карбонизации – обжигу при высокой температуре в инертной атмосфере без доступа воздуха. Полученный карбонизат обладает плохими адсорбционными свойствами, поскольку размеры его пор и внутренняя площадь поверхности невелики. Поэтому карбонизат подвергают активации. Активация углей может осуществляться посредством обработки водяным паром или специальными химическими реагентами. Активация водяным паром проводится при температуре 800–1000 °С в контролируемых условиях. При этом на поверхности пор происходит химическая реакция между водяным паром и углем, в результате чего образуется развитая структура пор и увеличивается их внутренняя поверхность.

В Узбекистане в 2015 г. группа ученых изобрела и запатентовала уникальную технологию производства активированного угля методом высокотемпературного пиролиза. Технология узбекских ученых признана эффективным и абсолютно безвредным производством и одобрена Академией наук Узбекистана, Госкомприроды и Агентством по трансферу технологий при Минэкономике.

Активные угли подразделяются:

По цели применения:

*газовые*, используемые для адсорбции газов и паров;

*рекуперационные* – применяются для адсорбции паров из воздуха при содержании паров  $> 5 \text{ г/дм}^3$ ;

*осветляющие* – для адсорбции разных веществ, в основном органических, из водного раствора.

По способу производства:

Дробленые; гранулированные; порошковые.

По исходному сырью (рис. 13.10):

из древесины, самая известная марка – БАУ (березовый АУ);

из каменного угля – КАД и КАД-йодный, АГ-3 и др.;

из торфа – например, СКТ;

из косточек фруктовых плодов и скорлупы – 207СР, Граносорб-Ф, -К и др.

Для сорбционной очистки воды больше всего используются *гранулированные* и *порошковые* активные угли. Преобладающий размер частиц (не менее 90%) гранулированных углей – от 0,18 до 7 мм, порошковых – не более 0,18 мм. В России выпускается около 30 марок активных углей, в США – примерно 90 марок.

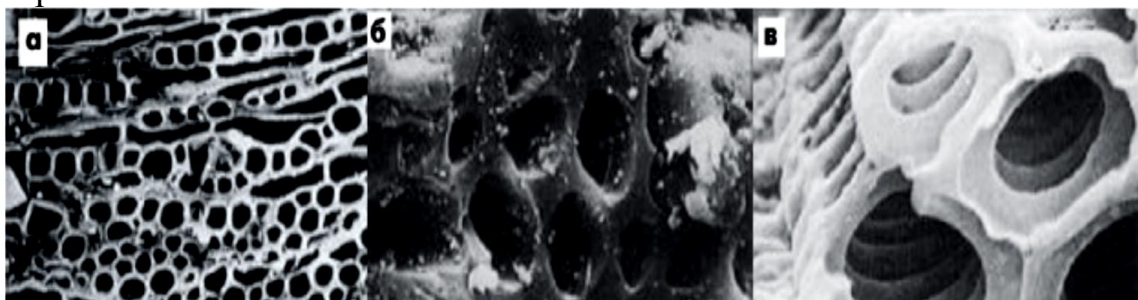


Рис. 13.10. Структуры активированных материалов:

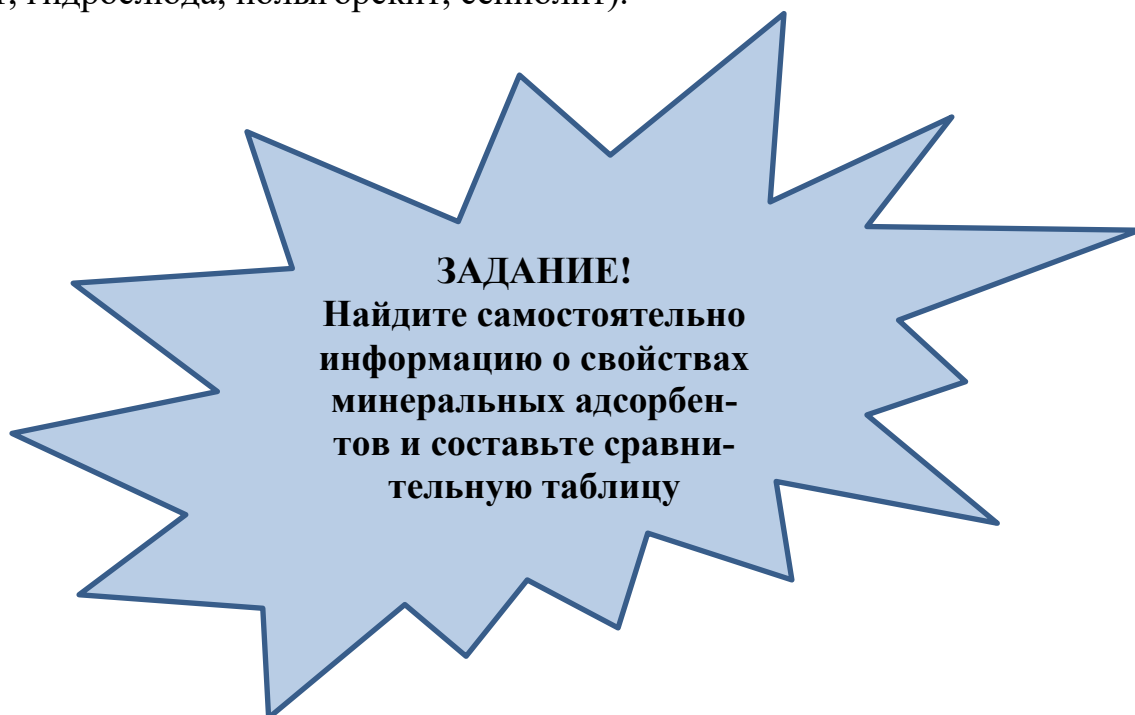
а – карбонизированная древесина; б – активированный каменный уголь; в – активированная скорлупа кокоса

**Углеродные сорбенты.** Эффективными сорбентами могут быть признаны некоторые углеродные материалы, не являющиеся активным углем. Во многих случаях вместо АУ выгоднее использовать каменноугольный кокс, пек, электродный пековый кокс, нефтяной кокс, важное преимущество которых – малозольность. Сорбционная емкость этих материалов меньше, чем у АУ.

Качественно сорбируемость органических соединений можно оценить так: менее других сорбируются простые вещества в ионной форме, несколько лучше – в молекулярной. Сорбируемость органических веществ увеличивается в ряду: гликоли – спирты – кетоны – сложные эфиры – альдегиды – недиссоциированные кислоты – ароматические соединения, где каждое последующее вещество сорбируется лучше предыдущего.

Высокой сорбционной емкостью, по сравнению с АУ, обладают разработанные новые сорбенты – углеродные волокнистые материалы, получаемые из полимерных гидратцеллюлозных и полиакрилонитриловых волокон термообработкой в потоке благородных газов при 600–1050°С. Для увеличения сорбционной емкости в процессе обработки сырья к нему добавляют соли тяжелых металлов.

В процессе водоподготовки также находят применение неуглеродные сорбенты на минеральной основе: *диатомит* (диатомовая земля, инфузорная земля, горная мука, кизельгур), *опока* (мергель, серо-белая глина), *керамзит* (от греч.: *keramos* – глина), *силикаты* (вермикулит, монтмориллонит, каолинит, гидрослюда, польгорскит, сепиолит).



Широко применяется особая группа природных минералов – цеолиты (от греч. *zeo* – киплю и *lithos* – камень), относящиеся к алюмосиликатам щелочных или щелочноземельных металлов (рис. 13.11).

Общая формула:  $A_m [Al_nSi_p-nO_2p]t \cdot qH_2O$ , где А – Ca, Na, Ba, Sr, K, Mg, Mn; *m*, *n*, *p*, *t*, *q* – количества молекул веществ.

Всего в природе обнаружено 39 видов цеолитов, обладающих свойством вспучиваться и выделять воду при нагревании. Чаще всего в состав силикатов цеолитов входят кальций и натрий, реже – барий, стронций, калий и очень редко – магний и марганец.

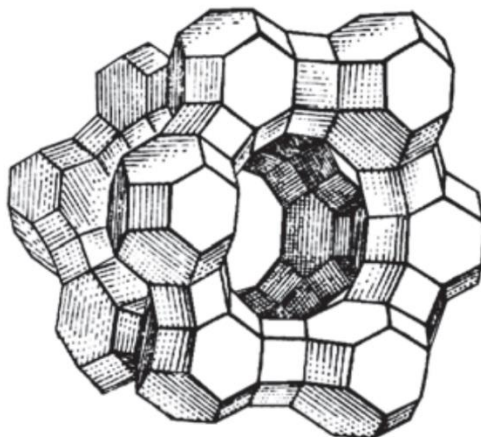


Рис. 13.11. Модель элемента ажурной кристаллической структуры цеолита

Общее свойство – способность постепенно без разрушения и изменения кристаллической решетки отдавать воду при нагревании и затем вновь поглощать ее при охлаждении, а также обмениваться катионами с окружающим раствором. Адсорбционные полости природных цеолитов, в которых находится вода, соединяются между собою и внешним пространством входами-окнами.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

1. Химическая очистка сточных вод.
2. Реагентная очистка.
3. Нейтрализация дымовыми газами.
4. Фильтры-нейтрализаторы.
5. Как рассчитать дозу реагента?
6. Физико-химические методы очистки сточных вод.
7. Флотация и ее виды.
8. Процесс напорной флотации.
9. Какие виды электрохимической очистки Вы знаете?
10. Достоинства и недостатки электрокоагуляции.
11. В чем заключается сорбционная очистка?
12. Назовите виды адсорбентов.
13. Что относится к углеродным сорбентам?
14. Десорбция извлеченных загрязнителей.
15. Регенерация сорбентов.

## Глава 14. Канализация малых населенных пунктов и применяемые сооружения

### 14.1. Понятие «малой канализации»

Малой канализацией считаются сети и сооружения, рассчитанные на отведение и очистку бытовых и подобных им по составу производственных стоков при расходах до 2000 м<sup>3</sup>/сутки. Норма водоотведения бытовых стоков в малых населенных пунктах обычно не превышает 200 л/сут·чел.

Отдельно рассматривают класс индивидуальных очистных сооружений, производительность которых составляет не более 25 м<sup>3</sup>/сут. Индивидуальные очистные сооружения устраивают для очистки сточных вод от отдельных домов или групп зданий. Бытовые стоки можно подразделить на два потока: 1) хозяйственный – «серый», включающий слив от умывальников, кухонных моек, ванн и т. п.; 2) фекальный – «черный» (унитазов и писсуаров). Фекальные выделения взрослого человека составляют около 1,5 кг/сут (в том числе мочи около 1,25 кг). Количество «серых» стоков в зависимости от степени благоустройства может составлять от 15–40 до 100–200 л/чел·сут. На формирование фекальных стоков уходит около 15 л/чел·сут чистой воды. Из-за сильных различий физико-химического состава хозяйственных и фекальных стоков, их иногда считается целесообразным обезвреживать отдельно, не объединяя в единый поток.

При проектировании, строительстве и эксплуатации малой канализации необходимо соблюдать общие основные положения, которые рассматривались в предыдущих главах.

Независимо от того, размещены ли очистные сооружения малой канализации на территории объекта (для отдельно стоящих зданий) или вне его (канализование целого населенного пункта), должны соблюдаться установленные санитарно-защитные зоны — разрывы.

Для канализации в малых населенных пунктах могут создаваться групповые системы канализации, обслуживающие группы населенных мест, с относительно крупными сооружениями для очистки и обеззараживания сточной воды, или локальные системы малой производительности для обслуживания отдельных населенных пунктов, групп зданий, отдельных коммунальных сооружений и т. д., с малыми установками для очистки и обеззараживания воды. Возможные варианты водоотведения в малых населенных пунктах показаны на рис. 14.1.

Групповые системы водоотведения сооружаются в районах с большой плотностью населения и близким расположением населенных пунктов; локальные системы — в районах с небольшой плотностью населения и отдаленном взаимном расположении населенных пунктов, а также для таких объектов как пионерские лагеря, дома отдыха, санатории и кемпинги.

Требования к очистным установкам малой канализации:

1. простота изготовления и эксплуатации,
2. минимум обслуживающего персонала,



3. высокая надежность процессов очистки и обеззараживания при применении доступных реагентов (с исключением дорогостоящей доставки из отдаленных точек).

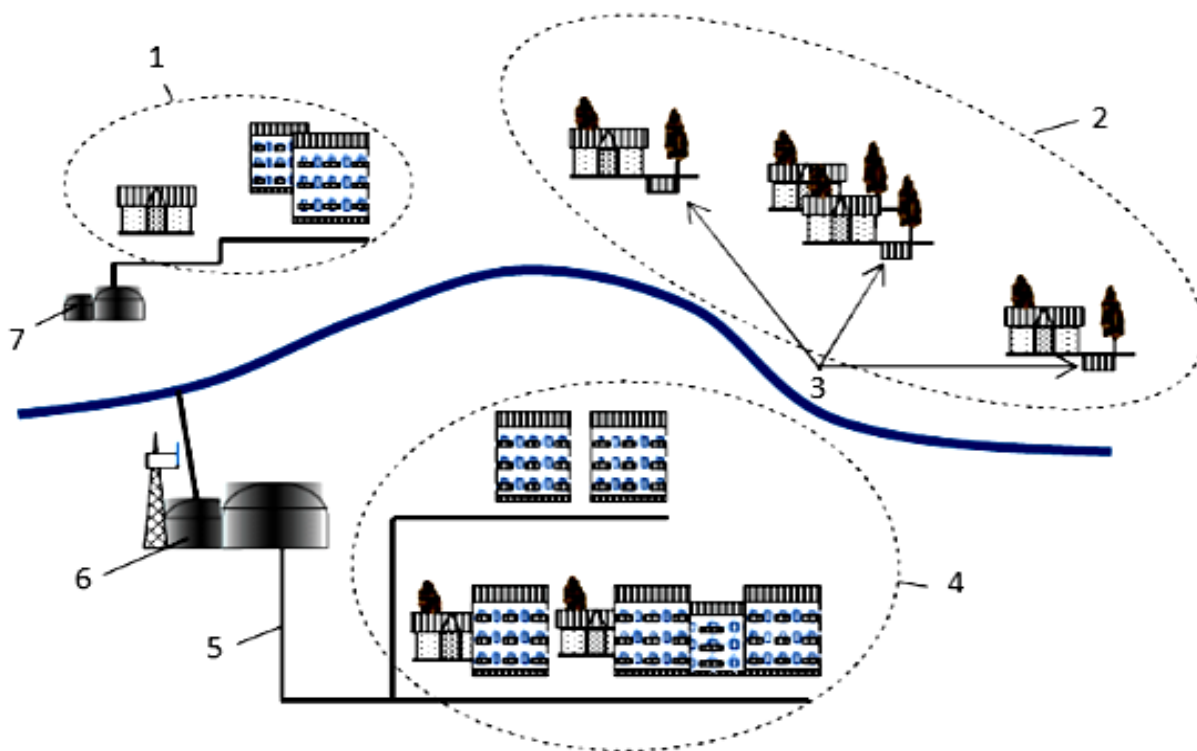


Рис. 14.1. Системы водоотведения малых населенных пунктов  
1 – группа домов; 2 – неплотная застройка; 3 – автономные системы водоотведения; 4 – плотная застройка; 5 – канализационная сеть; 6 – очистные сооружения; 7 – местная система водоотведения; 5, 6 – централизованная система водоотведения; 3, 7 – децентрализованная система водоотведения

Очистные сооружения должны располагаться с подветренной стороны к ближайшему жилому зданию и одновременно ниже по направлению течения грунтовых вод от водозаборных сооружений.

Следует рассчитывать очистные сооружения на возможность эксплуатации жителями объекта канализования (местные очистные сооружения), либо на обслуживание техническим персоналом (поселковые очистные сооружения).

#### 14.2. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод

В малых системах канализации рекомендуется применять следующие очистные сооружения: а) решетки с ручной чисткой; б) песколовки (при производительности 200 м<sup>3</sup>/сутки и более); в) фильтрующие колодцы и траншеи; г) септики или двухъярусные отстойники; д) подземные поля фильтрации, аэробные биологические пруды, биофильтры, циркуляционные окислительные каналы и аэротенки, работающие по принципу продленной аэрации; е) вторичные отстойники; ж) хлораторные и контактные резервуары; з) иловые площадки.

Также рекомендуются к применению аэрационные установки полной и неполной биологической очистки, с выполнением аэробной стабилизации избыточного активного ила.

### 14.2.1. Очистка очень маленьких объемов сточных вод

Для очистки сточных вод расходом до  $1 \text{ м}^3/\text{сут}$  наиболее экономичными и надежными сооружениями являются фильтрующие колодцы и траншеи, песчано-гравийные фильтры и септики.

*Фильтрующие колодцы* (рис. 14.2) устраивают в песчаных и супесчаных грунтах. Для большей эффективности очистки рекомендуется укладывать в колодце фильтрующий слой мощностью  $1 \text{ м}$  из щебня или гравия. Грунтовый слой между основанием фильтра и наивысшим отметкой уровня грунтовых вод должен иметь мощность не меньше  $1 \text{ м}$ . Нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  фильтрующей поверхности колодца зависит от типа грунта ( $80 \text{ л/сут}$  для песчаных почв,  $40 \text{ л/сут}$  для супесей). Фильтрующий колодец позволяет достичь эффективности очистки  $100 \%$  по БПК<sub>полн</sub> и по взвешенным веществам.

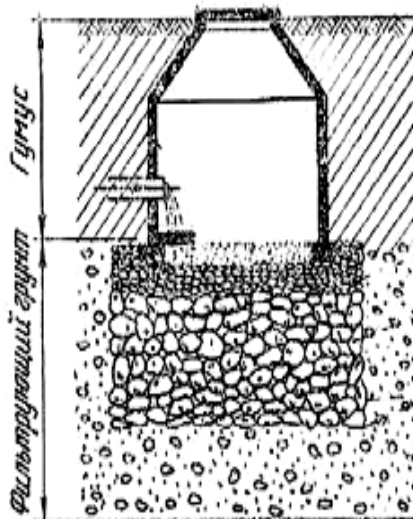


Рис. 14.2. Фильтрующий колодец

В качестве первичных отстойников могут применяться септики при количестве сточных вод до  $25 \text{ м}^3/\text{сутки}$  и двухъярусные отстойники для расхода более  $25 \text{ м}^3/\text{сутки}$ .

*Септики* применяются для механической очистки сточных вод до осуществления естественной биологической очистки (рис. 14.3), но иногда могут использоваться и как самостоятельные сооружения. Изготавливаются из железобетона или кирпича с обеспечением гидроизоляции. Септики промышленного производства могут быть металлические или пластмассовые. Производительность септика обычно равна  $0,4\text{--}12 \text{ м}^3/\text{сут}$ , но в особых случаях можно проектировать септики на производительность  $25 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Длительность очистки сточных вод в септике составляет  $1\text{--}3$  суток, выдерживание осадка —  $6\text{--}12$  месяцев. За время нахождения в септике осадок уплотняется и частично разлагается по анаэробной схеме, влажность его к моменту выгрузки составляет около  $90 \%$ .

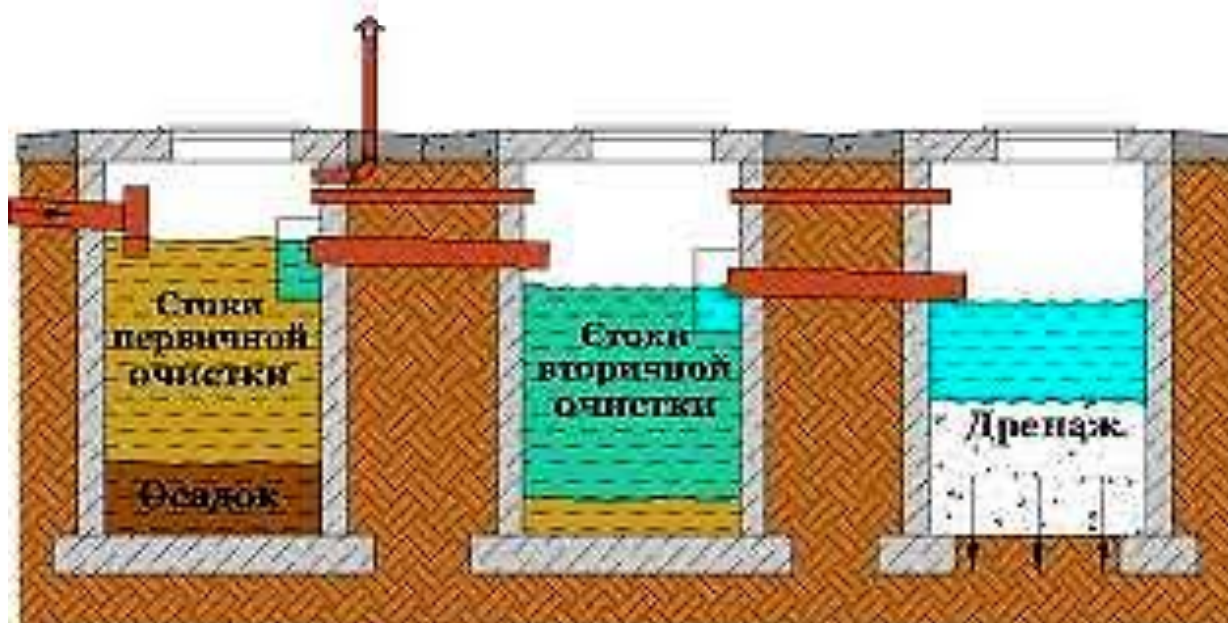


Рис. 14.3. Устройство септика

При расходах сточных вод менее  $5 \text{ м}^3/\text{сут}$  полный расчетный объем септика принимается равным 3-хсуточному притоку, более  $5 \text{ м}^3/\text{сут}$  – 2,5-суточному.

Септики могут быть однокамерными (с расходом до  $1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ), двухкамерными (до  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ ), трехкамерными (при больших расходах).

Объем зоны накопления осадка в септике  $W_{\text{ил}}$  ( $\text{м}^3$ ) определяется по формуле

$$W_{\text{ил}} = 0,1875 NT / 1000, \quad (14.1)$$

где  $0,1875$  – расчетное количество осадка на 1 человека в сутки, л;  $N$  – число жителей, использующих септик, чел.;  $T$  – период между выгрузками осадка из септика, сут.

Скопившийся ил удаляют через иловыжимную трубу насосом в ассенизационную машину. Приблизительно 20 % осадка нужно оставлять в иловой камере для обеспечения быстрого размножения анаэробных микроорганизмов во вновь поступающем осадке.

Главный недостаток септика – образование корки на поверхности жидкости, затрудняющей выход образующихся при брожении метана и сероводорода. Кроме того, выпавший осадок поднимается с пузырьками газа, приводя загрязнению уже очищенной воды.

*Поля подземной фильтрации* являются рациональным устройством биологической очистки сточных вод при расходе до  $15 \text{ м}^3/\text{сутки}$  (рис. 14.3). Для их устройства требуется достаточный по площади участок земли, расположенный на допустимом расстоянии от населенного пункта, вниз по течению грунтовых вод от водозаборных сооружений (расстояние от водозабора не меньше 50 м), супесчаные и песчаные грунты.

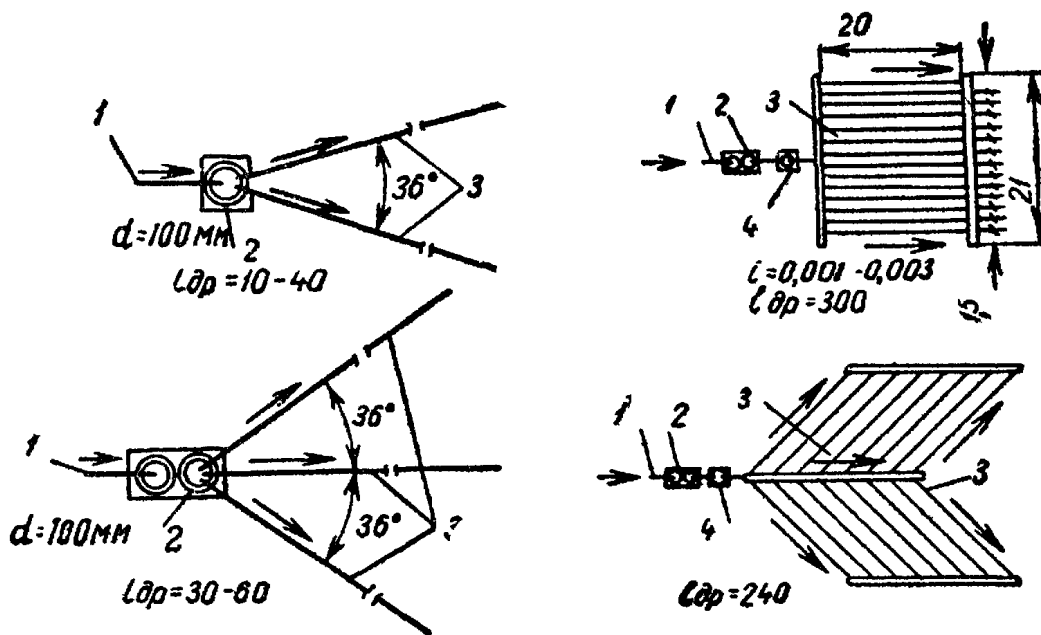


Рис. 14.3. Схема полей подземной фильтрации  
 1 – выпуск из здания, 2 – септики; 3 – дрены (D 100 мм); 4 – дозирующая камера

Оросительные трубы должны быть заглублены не более 1,8 м и не менее 0,5 м от поверхности грунта и выше уровня грунтовых вод не менее, чем на 1 м. Нагрузка на поля подземной фильтрации зависит от климатических и грунтовых условий. Система канализации с полями подземной фильтрации включает в себя септики, дозирующие и распределяющие устройства и сеть дрен (оросительные трубы).

Место расположения септика выбирается так, чтобы обеспечить присоединение к нему выпусков от санитарных узлов канализуемого объекта без строительства смотровых колодцев.

Биологическая очистка стоков, распределяемых с помощью сети дрен, уложенных на глубине 0,3— 1,2 м, происходит в толще грунта. Диаметр труб для устройства дрен принимается не меньше 100 мм, укладываются они параллельно или радиально в песчаных грунтах с уклоном 0,001—0,003, в супесях и суглинках — горизонтально. Длина каждой дрены не должна быть более 20 м. Расстояние между соседними дренами принимается так, чтобы площадь между ними орошалась полностью (обычное расстояние для песков 1,5—2 м, для супесей 2,5 м).

Для систем подземной фильтрации обеспечивают вытяжную вентиляцию через канализационные стояки в зданиях, а на концах оросительных труб устанавливают вентиляционные стояки диаметром 100 мм для притока воздуха.

Необходимая общая длина  $L$ , м, оросительных труб

$$L = \frac{Q}{qKt} , \quad (14.2)$$

где  $Q$  — суточный приток сточных вод,  $\text{м}^3$ ;  $q$  — нагрузка на 1 м оросительных труб,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;  $K$  — поправочный коэффициент, зависящий от среднегодового объема атмосферных осадков ( $H$ ); при  $H = 500$  мм  $K = 1$ ; при  $H > 600$  мм  $K = 0,7$  и  $0,8$ ;  $t$  — коэффициент, зависящий от режима эксплуатации полей подземной фильтрации; при круглогодичном действии  $t = 1$ , а при сезонном  $t = 1,2$ .

Целесообразно применение полей подземной фильтрации в районах со среднегодовой температурой воздуха более  $10^\circ\text{C}$  (допускается укладка дрен на глубине менее 1 м от поверхности земли).

Эффект очистки бытовых сточных вод на полях подземной фильтрации так же высок, как и на полях с поверхностной фильтрацией.

*Фильтрующие траншеи* (рис. 14.4) устраивают в грунтах со слабой фильтрующей способностью (суглинки, глины). На дне траншей укладывают оросительные и дренажные сети. Обычно траншеи устраивают рядом с оврагами, траншеями, болотами или водоемами, в которые затем самотеком перемещаются очищенные сточные воды. Длину фильтрующей траншеи определяют расчетом, максимальная допускаемая длина 30 м, ширина траншеи по дну — не меньше 0,5 м, заглубление оросительной сети — не меньше 0,5 м. Дренажная сеть располагается ниже оросительной сети на 0,8–1,0 м.

Промежуток между оросительной и дренажной сетью засыпают крупным песком. Нагрузка на погонный метр фильтрующей траншеи принимается 50–70 л/сут.

*Песчано-гравийные фильтры* (рис. 14.5) по устройству аналогичны фильтрующим траншеям, только выполняются в виде котлованов, в которых параллельными линиями укладываются оросительные и дренажные трубы на расстоянии 1,0–1,5 м по высоте и в плане.

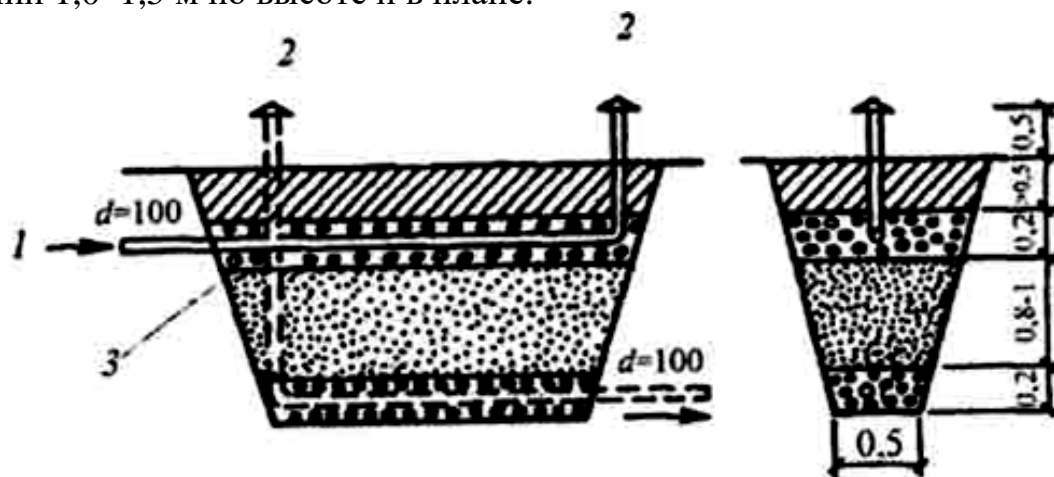


Рис. 14.4. Фильтрующая траншея:

- 1 — подача осветленной сточной воды; 2 — вентиляционный стояк;  
3 — оросительная сеть; 4 — дренажная сеть

Трубы обсыпают слоем гравия, щебня или котельного шлака (толщина слоя 15–20 см), остальное пространство заполняют крупным песком. Нагрузка на 1 м длины такая же, как для фильтрующей траншеи.

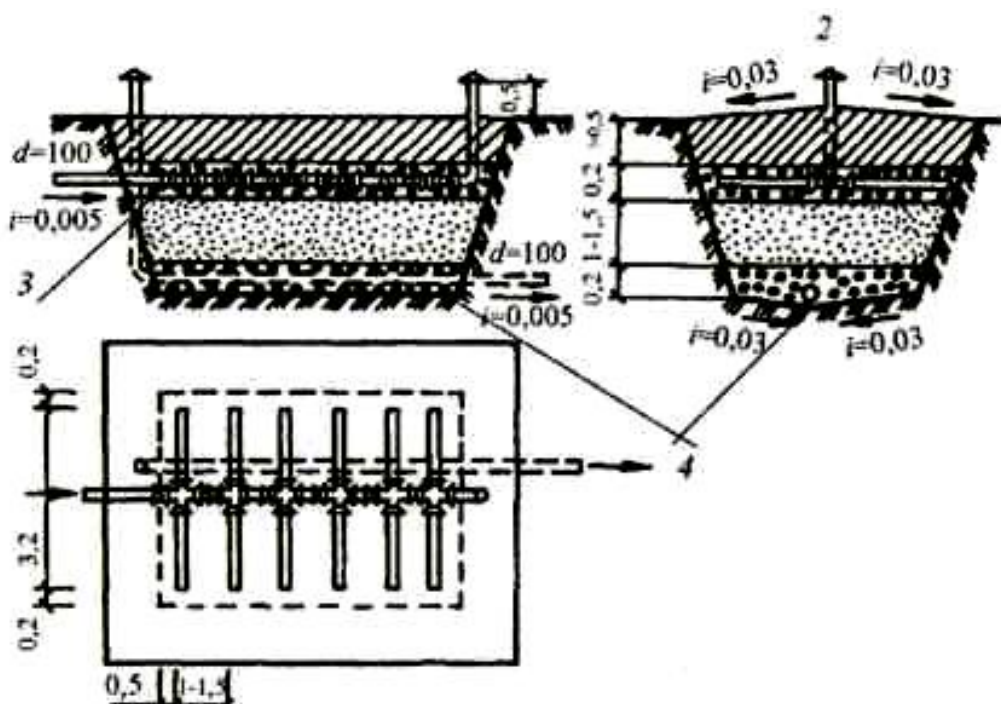


Рис. 14.5. Песчано-гравийный фильтр:  
 1 – подача осветленной сточной воды; 2 – вентиляционный стояк;  
 3 – оросительная сеть; 4 – дренажная сеть

#### 14.2.2. Аэробная очистка стоков малых населенных пунктов

В системах малой канализации могут применяться такие сооружения биологической очистки как циркуляционные аэрационные каналы.

В отличие от других сооружений биологической очистки, аэрационные каналы предназначены для очистки неразбавленных высококонцентрированных стоков (при БПК<sub>5</sub> = 1000—5000 мг/л и более). Сточные воды могут подаваться в аэроканал без предварительного отстаивания (после решеток и песколовков).

Аэроканалы являются сооружениями полной биологической очистки сточных вод активным илом при продленной аэрации. При нагрузках по БПК<sub>5</sub> на активный ил до 200 г/(кг-сутки) происходит частичная минерализация активного ила в аэроканале, и таким образом уменьшается количество избыточного активного ила. При низкой нагрузке по БПК<sub>5</sub> 50 г/(кг-сутки) происходит практически полная минерализация активного ила; количество избыточного активного ила уменьшается в 2,8 раза и составляет только 30 г сухого вещества из расчета на одного жителя в сутки (при очистке бытовых стоков) вместо 85 г, получаемых из аэротенков.

По схеме работы аэроканалы делятся на проточные и периодического действия. При использовании проточных аэроканалов строят отдельные или включенные в конструкцию аэроканала вторичные отстойники. В аэроканалах периодического действия отделение активного ила и выпуск очищенных сточных вод производятся непосредственно из аэроканала при выключенном аэраторе. Наиболее распространенная форма аэроканала — вытянутый в плане кольцевой канал с трапецидальным сечением. В центре аэроканала имеется разделя-

ющая перегородка, реже — вторичный отстойник. Дно и откосы канала укреплены бетоном. Рабочая глубина аэроканалов — от 0,7 до 4 м. Как правило, в аэроканалах устанавливают в начале прямого участка механические поверхностные аэраторы.

Окислительные каналы, используемые круглый год, применяются в южных районах, сезонного действия — в районах со средней зимней температурой не ниже минус 25° С.

### Циркуляционный окислительный канал (ЦОК).

Распространение данные сооружения получили в западной Европе, используются для обработки небольшого объема сточных вод. ЦОК (рис. 14.6) представляет собой замкнутый канал О-образной формы (овальной) трапециевидального или прямоугольного сечения. Скорость движения потока в сооружении 0,25-0,45 м/с, что предотвращает выпадения ила. Движение жидкости в сооружении обеспечивается горизонтальным роторным аэратором.

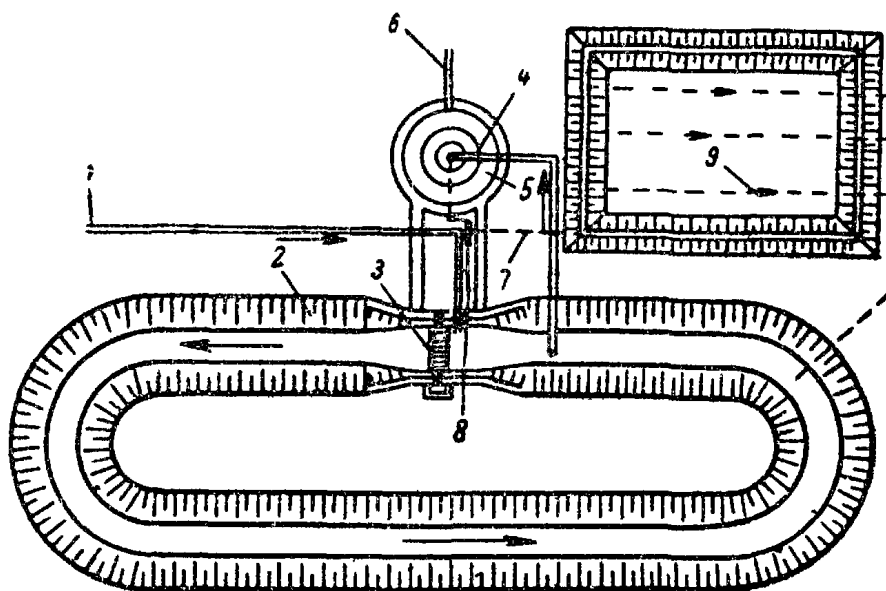


Рис. 14.6. Циркуляционный окислительный канал

1 — поступление сточных вод; 2 — боковая стенка канала; 3 — механический аэратор; 4 — подача сточных вод во вторичный отстойник; 5 — вторичный отстойник; 6 — выпуск очищенной воды; 7 — отвод осадка на иловые площадки; 8 — возвратный ил; 9 — иловые площадки.

ЦОК работает по принципу аэротенка продленной аэрации, как правило без первичного отстаивания, средняя продолжительность пребывания в них сточных вод около 40 суток.

ЦОК бывают периодического и непрерывного действия. В каналах периодического действия разделение иловой смеси осуществляется непосредственно в сооружении при выключенном аэраторе. В сооружении непрерывного действия для этой цели используются вторичные отстойники. ЦОК могут использоваться для очистки бытовых стоков населенных пунктов с населением до 30000 человек.

Иловые площадки, предназначенные для обезвоживания осадка из первичных и вторичных отстойников, как правило, устраиваются на естественном

грунте без дренажа; они могут быть открытыми или располагаться под навесом. Полезная площадь иловых площадок должна определяться из условия 0,33 м<sup>2</sup> на одного жителя. Число карт должно быть не менее двух.

### **14.3. Компактные аэрационные установки для биологической очистки сточных вод**

Компактные аэрационные установки предназначены для биологической очистки сточных вод методом «полного окисления» с аэробной стабилизацией избыточного активного ила, а также методом контактной стабилизации.

Типовые установки разрабатываются на пропускную способность от 12... 700 м<sup>3</sup>/сутки.

Очистка осуществляется методом «полного окисления» органических загрязнений, находящихся в жидкой и твердой фазах сточных вод в аэробных условиях. При использовании таких установок не требуется устройство отдельных сооружений для сбраживания осадка или иловых площадок. Установка представляет собой металлический резервуар, разделенный перегородками на зону аэрации и зону отстаивания. На входе устроен пескоуловитель и решетка с прозорами 16 мм.

В Узбекистане на заводе ООО «ZAVOD TENMASH» (г. Чирчик) выпускается оборудование для очистки малых объемов сточных вод, образующихся в коммунальном и сельском хозяйстве. Выпускаемое оборудование представляет собой локальную очистную станцию (ЛОС) – емкость подземного или надземного типа и цилиндрического вида, предназначенную для глубокой биологической очистки бытовых сточных вод, при отсутствии централизованной системы канализации. Размеры ЛОС рассчитываются на производительность от 1 до 2000 м<sup>3</sup>/сут. Очищенная вода соответствует нормам для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения. Тип подвода сточной и отвода очищенной воды может быть как самотечный, так и напорный. Устройство ЛОС показано на рис. 14.7.

Подаваемая сточная вода проходит через сороулавливающую корзину, задерживающую крупный мусор, и попадает в камеру денитрификации, из которой с помощью насоса перекачивается в аэротенк, снабженный гибкими трубчатыми аэраторами. Из аэротенка вода перетекает в камеру отстаивания, где освобождается от взвешенных веществ, в том числе активного ила. Далее с помощью насоса жидкость подается в аэробный реактор, в котором происходит биологическая очистка за счет биопленки, выращиваемой на полимерной ершовой загрузке (рис. 14.8)



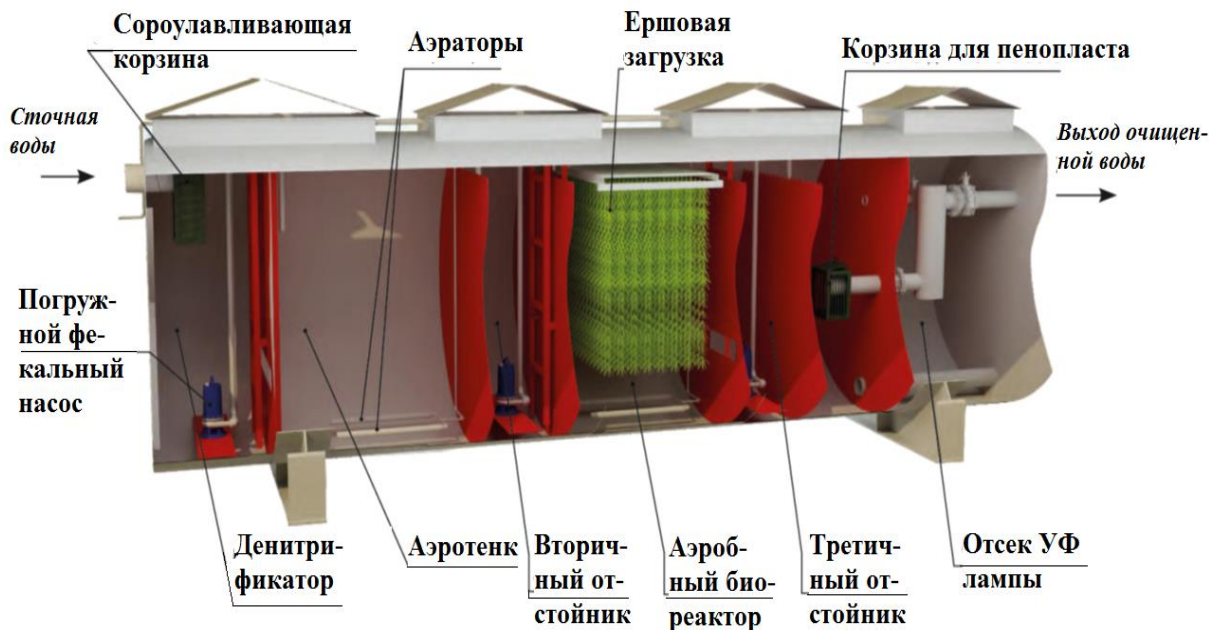


Рис. 14.7. Устройство ЛОС для очистки бытовых сточных вод



Рис. 14.8. Полимерная ершовая загрузка для выращивания биопленки

После биореактора вода освобождается от взвешенных веществ в третичном отстойнике и подаётся в камеру фильтрования, проходя доочистку в фильтре с плавающей загрузкой из пенопласта. Последней стадией очистки является обеззараживание с помощью ультрафиолетовых ламп.

Как видно из рисунка, очистные установки Чирчикского завода совмещают механическую, биологическую и физико-химическую очистку. Следует отметить, что все элементы очистных установок, кроме насосов и компрессоров, производятся в Узбекистане.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что называется «малой канализацией»?
2. Опишите особенности очистки малых объемов сточных вод.
3. Устройство фильтрующего колодца.
4. Что представляется собой септик?
5. Устройство и работа полей подземной фильтрации.
6. Какими могут быть компактные сооружения биологической очистки?
7. Как действует циркуляционный окислительный канал?

## **Глава 15. Проблемы очистки сточных вод животноводческих комплексов**

### **15.1. Статистические данные о животноводстве в Республике Узбекистан**

По данным Госкомстата РУз в 2018 году в республике из общего объема производимой продукции сельского хозяйства 46,8 % приходилось на продукцию животноводства, а в январе – марте 2021 года эта цифра достигла 93,9%.

В Джизакской, Навоийской, Кашкадарьинской, Хорезмской областях и Республике Каракалпакстан отмечено развитие животноводства (61,5 - 52,5 % от общего объема сельскохозяйственной продукции).

Общее поголовье крупного рогатого скота достигло 12 726,6 тыс голов (в том числе коров – 4 522,2 тыс голов), овец и коз – 21 287,4 тыс голов, птицы – 81 538,9 тыс голов.

### **15.2. Особенности и проблемы очистки сточных вод животноводческих ферм**

На животноводческих комплексах образуются следующие виды сточных вод: навозные, производственные (загрязненные и незагрязненные), дождевые (загрязненные и малозагрязненные) и бытовые. На птицефабриках образуются сточные воды тех же видов, за исключением навозных.

Навозные сточные воды отводятся непосредственно из помещений для содержания животных через каналы со щелевым покрытием или по поверхности полов при бесканальной системе. Расходы сточных вод при удалении навоза представлены в табл. 15.1.

Загрязненные производственные воды на животноводческих комплексах образуются на убойно-санитарных пунктах, в ветеринарно-санитарных пропускниках, карантинных помещениях, при мойке корнеплодов для приготовления корма, на доильных площадках, топливозаправочных пунктах, в установках химической водоочистки, в гаражах и т. д. Состав этих вод представлен в табл. 15.2.

Табл. 15.1

Удельные расходы воды (л/сут·голова) для удаления экскрементов и удельные расходы навозных сточных вод на животноводческих комплексах

Системы удаления	Комплекс крупного рогатого скота			
	откормочный		молочный	
	воды для удаления экскрементов	навозных сточных вод	воды для удаления экскрементов	навозных сточных вод
Самотечная:				
непрерывного действия (самосмывная)	8-9	56	15-16	171
периодического действия (шиберная)	15-17	63	30-32	193
Смывная:				
гидросмывные установки (бесканальная система)	—	—	—	—
баки, насадки (в каналах с решетками)	30—50	100	40—60	256

Табл. 15.2

Характеристика загрязненных производственных сточных вод животноводческих комплексов

Группа сточных вод	Концентрация загрязнений, мг/л		ХПК. мг О/л	БПК <sub>полн</sub> мг О <sub>2</sub> /л	БПК <sub>5</sub>
	взвешенные вещества	нефтепродукты			
Общий сток (после очистки на локальных сооружениях)	400-500	—	350—450	300-400	250-350
От кормоцехов (мойка корнеплодов)	6000	—	2000	1600	1000
От ветеринарно-санитарных пропускников, амбулаторий и лабораторий, от изоляторов, карантинных помещений	350—500	—	350—550	300-450	200-300
От мытья молочного оборудования, доильных площадок, полов и путей к ним	350	—	350-550	300-450	200-300
От мытья транспортных средств	700-3000	100—500	150-250	100-200	50-100

На птицефабриках (разведение кур яичного и мясного направления, уток, гусей, индеек) загрязненные производственные сточные воды образуются при мытье оборудования, тары, полов птичников, в цехах убоя птицы, в инкубаторах, при обработке тушек, утилизации отходов и т.д. (табл. 15.3). Удаление помета на птицефабриках предусматривается в основном механическим способом с последующей тепловой или биотермической обработкой его для использования в качестве удобрения. В канализацию попадают лишь остатки помета.

Незагрязненные производственные сточные воды на рассматриваемых объектах отводятся от охлаждающих систем компрессоров, холодильных установок, дымососов и т. д.

Загрязненные дождевые сточные воды образуются на открытых площадках для содержания животных, на постоянных стоянках автотранспорта и другого технического оборудования.

Табл.15.3.

Характеристика загрязненных производственных сточных вод птицефабрик

Группа сточных вод	Концентрация загрязнений. мг/л		ХПК, мг O <sub>2</sub> /л	БПК <sub>полн</sub>	БПК <sub>5</sub>
	взвешенные вещества	азот аммиака		мг O <sub>2</sub> /л	
Общий сток (после очистки на локальных сооружениях) птицефабрики направления:					
яичного	400	15	700	500	250
мясного:					
в обычное время	250	20	300	200	100
в момент залповых сбросов	1400	150	3400	2400	1200
От цехов клеточного содержания:					
в обычное время	200	—	300	200	100
при смене поголовья	1200	—	2000	1500	750
От инкубатория:					
в обычное время	200	—	450	300	150
при чистке	800	—	700	500	250
От цехов убоя	2000	—	5000	2600	1300

Применяемые на крупных комплексах технологии мокрой уборки навоза, в первую очередь гидросмыв, приводят к образованию значительных объемов высококонцентрированных сточных вод. Сточные воды, образующиеся на животноводческих фермах, представляют собой многокомпонентные высококонцентрированные смеси, содержащие механические минеральные примеси (песок, а также бетонные и керамзитовые частицы, выбиваемые копытами животных из решетчатых полов), органические и неорганические загрязнения растительного и животного происхождения (табл. 15.4).

Расход и состав сточных вод определяются нормами водоотведения, числом выращиваемых животных (мощностью предприятия), режимом питания и составом кормов. Нормы расхода воды на сельскохозяйственных животных приведены в табл. 15.5. Суточный расход сточных вод составляет до 5000 м<sup>3</sup>/сут.

Состав навозных стоков

Показатели	Стоки свиней	Стоки КРС
рН	7,1 - 7,2	6,0 - 7,7
Взвешенные вещества, мг/л	12400 - 20950	1232 - 8600
Сухой остаток, мг/л	13500	3700 - 5000
Общий азот, мг/л	1696 - 4370	1300 - 3884
Аммиачный азот, мг/л	643 - 1430	1400 - 2691
Фосфаты, мг/л	430 - 900	155 - 1850
Хлориды, мг/л	142 - 600	122 - 930
Сульфаты, мг/л	186	400 - 446
ХПК, мг/л	7600 - 40000	5892 - 11696
БПК, мг/л	2952 - 6716	1800 - 9200
Бактерии группы кишечных палочек	$10^4 - 3,8 \cdot 10^6$	$10^3 - 3 \cdot 10^5$
Энтерококки	$0 - 0,2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^6$
Стафилококки	$10^{10} - 10^{12}$	$10^5 - 10^7$
Клостридии	$1,8 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2 - 1,6 \cdot 10^4$
Сальмонеллы	В большинстве отобранных проб	
Яйца гельминтов в 1 л	158 - 427	

Ввиду низких норм водоотведения сточные воды животноводческих ферм характеризуются высокими концентрациями загрязнений. Концентрация грубодиспергированных примесей достигает 7000—14 000 мг/л, органических веществ по ХПК — от 7100 до 13 600 мг/л и достигает 20 000 мг/л, по БПК<sub>5</sub> — от 3100 до 4800 мг/л и достигает 8500 мг/л. Отношение БПК<sub>5</sub> к ХПК составляет в среднем 0,8, что свидетельствует о наличии в сточной воде органических веществ, легко подвергающихся биологическому окислению.

Особенностью состава данных сточных вод является высокое содержание в них азота (общего) — до 1000 мг/л и отношение содержания азота к углероду, составляющее 1:8, а не 1:20, как это рекомендуется для нормальной работы сооружений биологической очистки. Азот аммонийный в концентрациях свыше 150 мг/л подавляет процесс окисления в аэротенках. Кроме того, сточные воды животноводческих комплексов опасны в санитарном отношении из-за возможности присутствия в них бактериологических загрязнений. В связи с этим необходима очистка таких сточных вод перед сбросом в водоем или в городскую канализацию.

## Нормы водопотребления животноводческих ферм

№	Наименование водопотребителя	Среднесуточная норма потребления на одну голову скота, птиц, зверей, л/сут
1.	Коровы молочные	100
2.	Коровы мясные	70
3.	Быки и нетели	60
4.	Молодняк крупного рогатого скота в возрасте до 2 лет	30
5.	Телята в возрасте до 6 мес.	20
6.	Лошади рабочие, верховые, рысистые и не кормящие матки	60
7.	Лошади племенные и кормящие матки	80
8.	Жеребцы-производители	70
9.	Жеребята в возрасте до 1,5 лет	45
10.	Овцы взрослые	10
11.	Молодняк овец	6
12.	Куры	1
13.	Индейки	1,5
14.	Утки и гуси	2
15.	Кролики	3
16.	Ветеринарная лечебница (на одно крупное животное)	100
17.	Ветеринарная лечебница (на одно мелкое животное)	50
<b>Примечания</b>		
<i>Для молодняка птицы нормы следует уменьшить вдвое.</i>		
<i>В жарких и сухих районах допускается увеличение нормы на 25 %.</i>		
<i>В нормы включён расход воды на мойку помещения, клеток, молочной посуды, приготовление кормов и т.д.</i>		

Известно, что очистка данных стоков вызывает значительные трудности. Проблемы, возникающие при очистке сточных вод, возможно разделить на две группы: технические и технологические.

К техническим проблемам относятся в первую очередь сложности связанные с работой оборудования в достаточно тяжелых условиях. Сюда можно отнести такие операции как перекачка стоков, перемешивание усредняющих емкостей, устройство аэрации в сооружениях биологической очистки, организация рециркуляционных потоков, обезвоживание осадка. Данная группа проблем может быть решена за счет применения современного оборудования.

Сложности, возникающие при перекачке и перемешивании связаны с высокой концентрацией взвешенных веществ, в среднем 20 г/л и наличием в стоках ингредиентов, засоряющих насосы – опилки, солома и т.п. Также в стоках, как правило, содержится значительное количество песка. Кроме того, возможно образование кристаллов струвита (аммонийфосфат магния).

Для надежной перекачки сильно загрязненных сточных вод используются фекальные насосы.

Основные технологические проблемы, возникающие при очистке сточных вод животноводческих комплексов характеризуются следующим образом:

- высокие затраты энергии на очистку
- образование больших количеств осадка
- несоответствие качества очищенных сточных вод предъявляемым требованиям.

### **15.3. Методы очистки сточных вод животноводческих ферм**

Очистка рассматриваемых сточных вод представляет собой комплексный технологический процесс с использованием механических, химических или физико-химических и биологических методов. Выбор схемы очистки зависит от методов дальнейшей утилизации очищенных стоков.

Для животноводческих комплексов следует принимать полную раздельную систему канализации с устройством сетей навозных, производственно-бытовых и дождевых сточных вод, отдельно для вод с высокими концентрациями загрязнений (загрязненных) и низкими концентрациями (малозагрязненных).

При подготовке сточных вод для удобрительных поливов сельскохозяйственных угодий разрабатываются и внедряются способы и устройства для механического отделения твердой фазы от жидкой (процеживание, отстаивание, центрифугирование, пресс-обезвоживание), для термического или химического обеззараживания. При сбросе сточных вод в водоем или в городскую канализацию осветленная вода после сооружений механической очистки подвергается химической, биологической или физико-химической обработке.

Механическая очистка сточных вод обеспечивает задержание крупных взвешенных веществ и щетины на дуговых ситах, барабанных ситах и в виброгрохотах, отделение песка в песколовках и грубодисперсных примесей в отстойниках, гидроциклонах и на ситах.

Усреднение расхода и концентраций является необходимой технологической операцией для обеспечения надежности работы последующих очистных сооружений. Сооружения этого назначения предусматриваются большинством проектов очистных сооружений животноводческих комплексов. В ряде случаев усреднители блокируются с насосными станциями подачи сточных вод на очистку. Стоки в этих сооружениях еще не очищены, поэтому их перемешивание вызывает наибольшие трудности. В ряде случаев используют насосы, не обеспечивающие полного перемешивания и потребляющие значительное количество энергии.

#### **15.3.1. Очистка навозных сточных вод**

В зависимости от направления дальнейшего использования различают несколько схем очистки стоков животноводства.

**Схема I. Разделение навозных сточных вод на фракции с последующей обработкой и использованием их в качестве органических удобрений.**

Навозные сточные воды подают в резервуар-усреднитель и затем перекачивают на сооружения для отделения песка (гидроциклоны, песколовки). Для задержания крупной взвеси и щетины воду направляют на дуговые, барабан-

ные сита или виброгрохоты и далее для разделения на фракции подают в вертикальные, горизонтальные или радиальные отстойники, рассчитанные на 2—3-часовой приток воды. Эффект осветления по взвешенным веществам достигает 70—80%. Угол наклона днища отстойника, если он не оборудован скребковым механизмом, принимают не менее 60°. Выпуск осадка из отстойников производят через 3—4 ч.

Обезвоживание осадка возможно с применением осадительных и фильтрующих центрифуг, виброгрохотов, шнековых прессов и других аналогичных устройств. Влажность обезвоженного осадка 70—80%. Полученный кек обеззараживается в ходе биотермического процесса на площадках с твердым покрытием в течение 1 мес летом и 2 мес зимой и вносится в почву разбрасывателями твердых органических удобрений.

Жидкая фракция из отстойников и фильтрат после механического обезвоживания осадка подаются в карантинные ёмкости, рассчитанные на 10-суточное хранение массы (6 суток выдержка и 4 суток обеззараживание), а затем перекачиваются в 2-3-секционные и 2-3-ступенчатые хранилища, рассчитанные на полугодовое накопление, после чего вносятся в почву в качестве органических удобрений оросительными системами и установками.

**Схема II. Использование жидкой фракции навоза от свиноводческих комплексов в рыбоводно-биологических прудах.** В отличие от схемы I осветленную жидкость из отстойников направляют в аэробный пруд-накопитель (работающий круглый год) и далее последовательно еще на три ступени прудов: водорослевый, рачковый, рыбоводный (работающие в теплое время года); затем следует аккумулятор чистой воды. Часть очищенной воды подвергают обеззараживанию и используют для смыва навоза в каналах свинарников, остальную воду направляют на орошение сельскохозяйственных угодий.

**Схема III. Биологическая очистка навозных сточных вод.** Разделение навозных сточных вод на фракции, обработка осадка и его использование аналогичны схеме I.

Осветленные воды после отстойников подают в 2-ступенчатые аэротенки-смесители продленной аэрации (2,5 – 3 сут) с последующей доочисткой в биологических прудах или на песчаных фильтрах и обработкой озоном. Часть очищенных сточных вод можно использовать для смыва навоза; основной объем воды направляют на орошение сельскохозяйственных угодий или сбрасывают в водоем.

**Схема IV. Использование гомогенизированного (неразделенного) навоза.** Навоз из помещений для содержания животных удаляют механическим или гидравлическим способом в карантинные емкости, рассчитанные на 10-суточное хранение массы. Из карантинных емкостей навоз или навозные сточные воды соответственно вывозят или перекачивают в хранилища, рассчитанные на шестимесячное выдерживание, и после естественного обеззараживания и дегельминтизации используют в качестве удобрения.

**Схема V. Разделение навозных сточных вод комплексов крупного рогатого скота на фракции с последующей обработкой и использованием их в качестве органических удобрений.** Навозные стоки разделяют на фракции с помощью центрифуг, виброгрохотов, шнековых прессов и др. Полученную твердую фракцию влажностью 80% подвергают биотермической обработке



(выдерживание в буртах) в течение 1 мес летом и 2 мес зимой, после чего вносятся в почву.

Применяемые для очистки навозных сточных вод физико-химические методы (коагуляция, флотация и адсорбция) сводятся к выделению в осадок коллоидных и растворенных органических примесей. В качестве коагулянтов используется сернокислый алюминий, гидроокись кальция, хлорное или сернокислое железо и др. Эффект очистки по ХПК в этом случае составляет 80%. Нередко физико-химические методы очистки используются для предварительной очистки сточных вод на I ступени перед их дальнейшей обработкой биологическим методом. Однако такая обработка не всегда может положительно влиять на работу сооружений биологической очистки, поскольку при этом увеличивается содержание солей в воде и снижается количество не только трудноокисляемых веществ, но и легкоокисляемых, что может привести к уменьшению скорости биологического окисления.

Схема очистки сточных вод животноводства с использованием физико-химических методов представлена на рис. 15.1.

Большое внимание уделяется биологическим методам очистки. Вследствие ряда технологических и экономических преимуществ биологические методы по сравнению с химическими и физико-химическими могут рассматриваться как весьма перспективные. Следует отметить, что при биологической очистке сточных вод животноводческих комплексов применяются преимущественно многоступенчатые схемы, включающие различные методы очистки и типы сооружений, которые позволяют интенсифицировать процесс в целом.

Аэрация - обеспечение кислородом биологических процессов путем подачи воздуха - всегда вызывала для высококонцентрированных сточных вод животноводческих комплексов серьезные технические проблемы.

Это связано в первую очередь с характеристиками массопередачи кислорода в данной среде. Вследствие высокого содержания, концентраций органических веществ, а также поверхностно-активных веществ, образующихся при гидролизе и создающих эффект вспенивания на аэротенках, массопередача кислорода затрудняется. Кроме того, применение механических поверхностных аэраторов затруднено в условиях вспенивания, а мелкопузырчатые пневматические системы подвержены кальматации в условиях высоких концентраций ила и особенно при образовании струвита.

Основным методом, удаляющим до 70% загрязнений по ХПК, определяющим качество очистки и потребляющим наибольшее количество энергии является аэробная биологическая очистка. Биологическая очистка сточных вод животноводческих комплексов проводится в 2 (реже в одну) ступени. Удаление азота и фосфора на таких сооружениях как правило не предусматривалось. В результате при современных нормах этот вид очистки не может обеспечить необходимые показатели. Затраты энергии при использовании аэробного метода достигают 6 кВт/м<sup>3</sup> сточных вод, образование осадка 0,2-0,3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> а время процесса может достигать 5 сут.

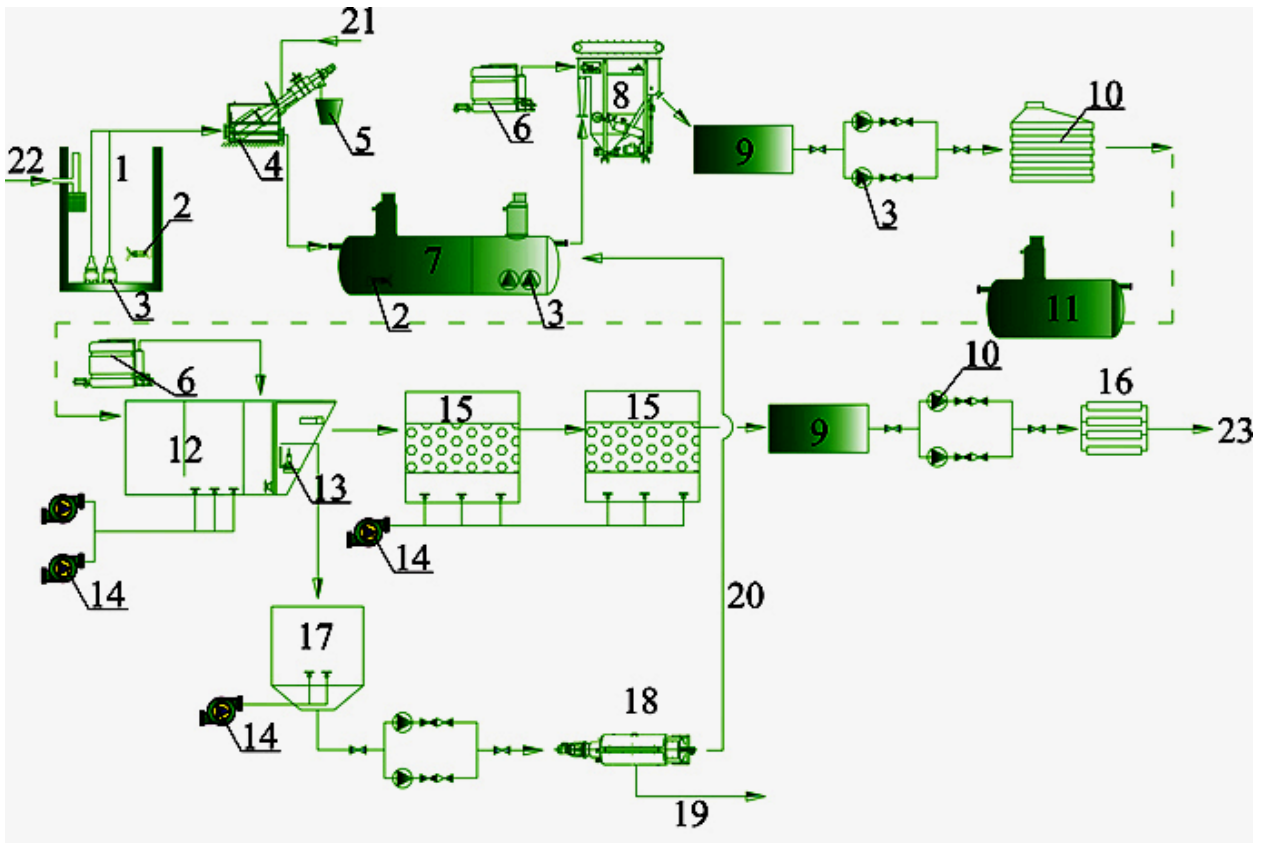


Рис. 15.1. Схема очистки сточных вод животноводческих комплексов

- |   |  |
|---|--|
| 1. Насосная станция                           | 13. Насос откачки осадка               |
| 2. Миксер                                     | 14. Компрессор                         |
| 3. Насос                                      | 15. Биофильтр                          |
| 4. Шнековая барабанная решетка                | 16. УФ обеззараживание                 |
| 5. Ёмкость сбора осадка                       | 17. Аэробный стабилизатор осадка       |
| 6. Станция дозации                            | 18. Шнековый обезвоживатель            |
| 7. Резервуар - усреднитель с загрузкой        | 19. Обезвоженный осадок на утилизацию  |
| 8. Флотатор                                   | 20. Отвод жидкой фракции в усреднитель |
| 9. Резервуар                                  | 21. Подача воды на промывку            |
| 10. Преаэратор                                | 22. Подача исходной воды на очистку    |
| 11. Первичный отстойник                       | 23. Отвод очищенной воды               |
| 12. Биореактор (нитрификатор, денитрификатор) |  |

Для зоны высоких нагрузок характерен процесс неполной биологической очистки без нитрификации. При этом за счет удаления имеющих кислую реакцию летучих жирных кислот в составе легко окисляемых веществ и гидролиза белков с образованием аммонийного азота рН среды растет. В результате активно идут процессы образования струвита и других нерастворимых солей фосфора. В результате может наблюдаться удаление до 80% фосфора. Однако одновременно возникают значительные трудности в эксплуатации. Струвит не только откладывается на стенах аэротенков, лотках и водосливах, но и в трубопроводах и даже в насосах и на аэрационных системах. Также для этой зоны характерны наименьшие удельные затраты воздуха. Изменения, вносимые в технологическую схему с целью преодоления описанных недостатков, зависят

от требований к качеству очищенной воды и этапа реконструкции существующих сооружений.

Наиболее простым приемом является организация высоконагружаемой ступени аэробной очистки.

Внедрение и разработка многоступенчатых схем очистки продиктованы высокой остаточной концентрацией в очищенной воде биогенных элементов (азота и фосфора). При биологической очистке сточных вод ферм происходит снижение азота и фосфора за счет ассимиляции активным илом соответственно на 25—35 и 15—20%.

Нередко биологически очищенные сточные воды обрабатываются на II ступени совместно с производственными стоками, лишенными биогенных элементов. Такая схема очистки позволяет экономить реагенты (ментол и др.), необходимые для проведения процесса денитрификации, который имеет преимущества перед химическими методами удаления азота, когда отношение БПК<sub>5</sub> к концентрации азота больше 7. В связи с этим требуется дополнительное введение в сточную воду углеродного питания для микроорганизмов.

При очистке воды в метантенках 15—18% суммарного содержания общего азота выделяется в виде газа (молекулярного азота), содержание аммонийного азота в очищенной воде возрастает за счет азота органических соединений при распаде последних. На основе материального баланса можно установить, что на I ступени аэротенка анаэробно-аэробной схемы 9—10 % суммарного количества общего азота расходуется на прирост ила и до 35% удаляется за счет процессов нитри-денитрификации в аэротенках и биосорбере. Количество азота органических соединений снижается при анаэробно-аэробной очистке на 83%, из них 54% удаляется в метантенке, 34% в аэротенках и 12% в биосорбере. Это свидетельствует о распаде белковых соединений, главным образом, в процессе анаэробного сбраживания.

При двухступенчатой аэробной очистке на I ступени аэротенка 20—22% суммарного содержания общего азота расходуется на прирост активного ила и до 40% удаляется при нитри-денитрификации. В этой схеме очистки количество азота органических соединений снижается не более чем на 64%.

Необходимо отметить, что нитрификация начинается в аэротенке I ступени в обеих схемах, а в биосорбере процесс нитрификации интенсифицируется.

Технико-экономические показатели свидетельствуют о том, что многоступенчатые схемы с метантенками на I ступени и аэротенками на II ступени и с двухступенчатыми аэротенками примерно равноценны. Однако анаэробно-аэробная схема имеет ряд технологических преимуществ, к числу которых относятся: низкий прирост активного ила в метантенках; более глубокий распад белковых веществ; уменьшение расхода воздуха на аэрацию; более низкий иловый индекс в аэротенках; высокая стабильность работы сооружений; меньшая чувствительность к залповым сбросам.

Преимущества анаэробно-аэробной обработки сточной воды возрастают при эксплуатации метантенков в мезофильном режиме, поскольку в этом случае существенно снижается расход топлива для обогрева метантенков.

Для достижения глубокой очистки по ХПК и азоту необходимо произвести перевод сооружений на технологию, предполагающую удаление азота - нитри-денитрификацию.

В данной схеме сначала происходит окисление аммонийного азота с образованием нитратов, а затем восстановление нитратов до газообразного азота. При внедрении данной технологии не только может быть достигнут экологический эффект, связанный с выполнением требований к качеству очистки по азоту но и достигается стабилизация технологического процесса в условиях низких нагрузок, так как удаляется азот нитратов, повышение концентрации которого влияет на падение рН в зоне низких нагрузок.

Кроме экологического и технологического эффекта внедрение нитри-денитрификации в условиях глубокой очистки приводит и к существенному экономическому эффекту. Следует учитывать, что процесс нитрификации идет со значительными затратами кислорода. Окисление 1 мг азота аммонийного эквивалентно 4,6 мг БПК или 6 – 8 мг ХПК. В то же время процесс денитрификации идет с потреблением ХПК.

### **15.3.2. Очистка производственно-бытовых сточных вод**

Очистка производственно-бытовых сточных вод животноводческих промышленных комплексов и птицефабрик производится на сооружениях полной биологической очистки (в естественных или искусственных условиях).

Дождевые сточные воды с территорий содержания животных и птиц (выгульные, моционные площадки и т.п.) следует отстаивать, а затем собирать в емкости для дальнейшего использования или направлять на очистку в зависимости от местных условий. В случае использования жидкой фракции навоза для орошения сельскохозяйственных угодий осветленные дождевые воды применяют для ее разбавления.

Осадок из отстойников можно подавать в емкости твердой фракции навоза или на механическое обезвоживание. При отсутствии полей орошения и наличии канализационных очистных сооружений производственно-бытовых сточных вод возможна подача на них (небольшими порциями) дождевых вод, загрязненных навозом. В этом случае расчет емкостей следует вести на максимальное суточное многолетнее (10—20 лет) выпадение осадков.

Объем навоза, смываемого в дождевую канализацию после сухой уборки площадок для пребывания животных, следует принимать в пределах 10—30% расчетного количества навоза на площадках.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Какие виды сточных вод образуются на животноводческих комплексах?
2. Особенности состава сточных вод животноводческих ферм
3. Из чего складывается расход воды на фермах?
4. От чего зависят объемы образования навозных стоков?
5. Что такое струвит?
6. Проблемы очистки сточных вод животноводческих ферм.
7. Особенности биологической очистки сточных вод ферм.
8. Объяснит назначение карантинных емкостей.

## Глава 16. Методы и сооружения обработки осадков сточных вод

### 16.1. Образование осадка в очистных сооружениях

На очистных сооружениях предприятий и жилищно-коммунального хозяйства городов и поселков образуется большое количество осадков, которые отличаются как физико-механическими свойствами, так и по химическому составу. Значения удельных показателей образования осадков некоторых очистных сооружений и канализационных систем приведены в табл. 16.1.

Табл. 16.1.

Удельные значения показателей образования осадков очистных сооружений и канализационных систем

Хв п/п	Наименование отраслей, производств или мест, где проводится очистка сточных вод	Наименование образующихся осадков	Значения удельных показателей
1	Очистка сточных вод при производстве электро- и теплоэнергии ТЭС	Осадки сточных вод	0,1 г/л стоков
2	Очистка сточных вод промышленных предприятий: черной металлургии цветной металлургии целлюлозно-бумажной промышленности коксохимического производства нефтеперерабатывающей промышленности основной химии производства кальцинированной соды текстильной промышленности пищевой промышленности (кроме сахарной) сахарной промышленности	Осадки сточных вод Осадки сточных вод Осадки сточных вод Осадки сточных вод Нефтешламы нефтеперерабатывающих заводов Осадки сточных вод Осадки сточных вод Осадки сточных вод Осадки сточных вод	0,7—1,0 г/л стоков 0,1—8 г/л стоков 0,25—0,4 г/л стоков 0,3—1,8 г/л стоков до 10 кг/г перерабатываемой нефти 5—20 г/л стоков до 120 г/л стоков 0,25—12 г/л стоков 0,35—2,8 г/л стоков до 0,7—30 г/л стоков
3	Очистка сточных вод гальванопроизводств: при реагентном способе обезвреживания (очистке вод) при электрокоагуляционном способе обезвреживания (очистке вод)	Осадки очистных сооружений (при влажности 98...99,6 %) Осадки очистных сооружений (при влажности 98...99,6 %)	3—10 % от объема сточных вод 6—12 % от объема сточных вод
4	Очистка сточных вод на городских станциях аэрации	Осадки очистных сооружений (смесь осадков первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила при средней влажности 96,2 %)	0,5—1,0 % от объемов сточных вод

### 16.2. Состав и свойства осадков сточных вод

Осадки очистных сооружений подразделяются на первичные и вторичные. Первичные осадки – грубодисперсные примеси (твердая фаза), которые

можно выделить из воды механической очисткой (процеживанием, седиментацией, фильтрацией, флотацией, центробежной очисткой). Вторичные осадки – примеси, первоначально имевшие форму коллоидных, молекулярных и ионных загрязнений, но перешедшие в твердую фазу под действием биологической или физико-химической очистки воды.

Состав осадков очень неоднороден по размеру частиц (от 10 мм и более до коллоидных и молекулярных частиц).

Классификация осадка сточных вод по различным показателям представлена на рис. 16.1.

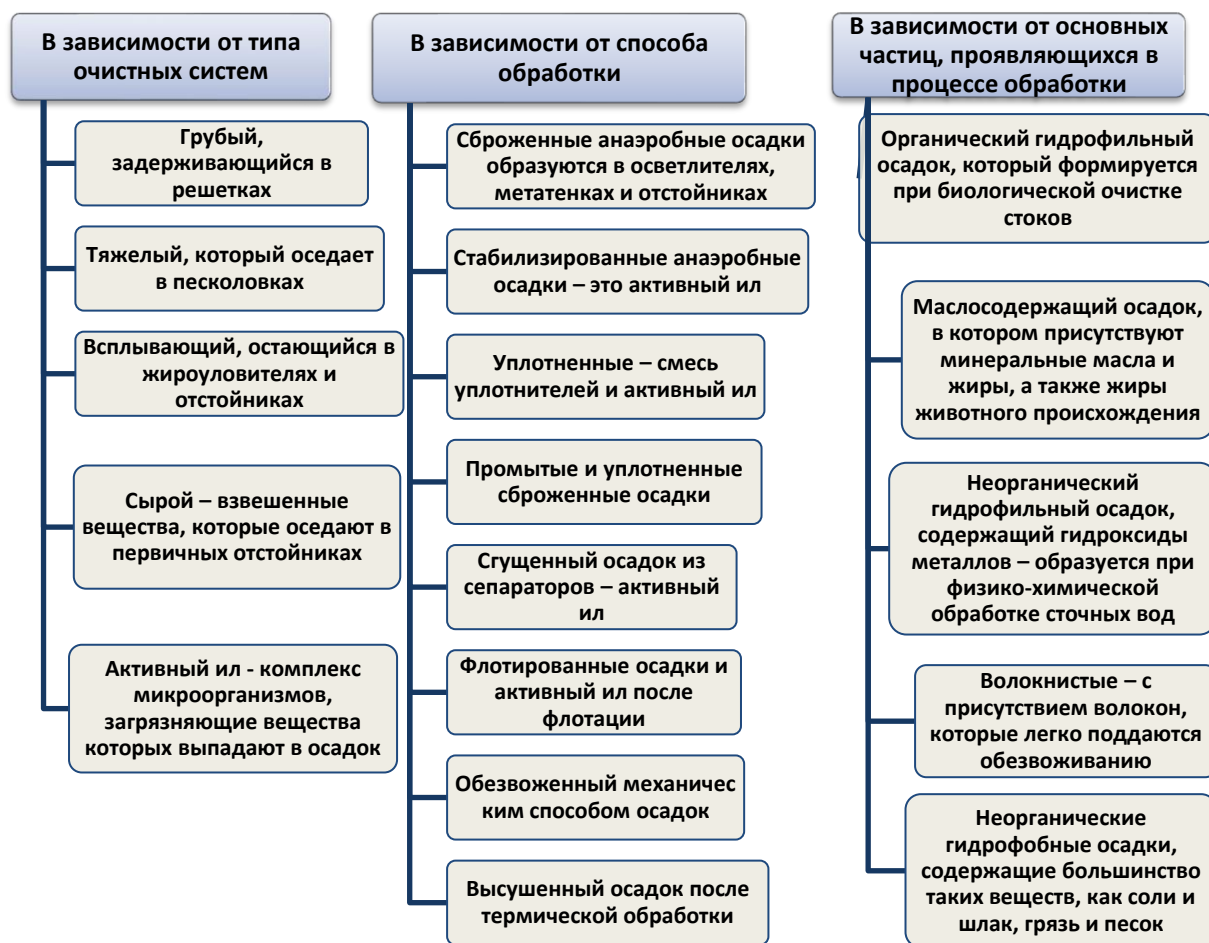


Рис. 16.1. Классификация осадка очистных сооружений

### 16.3. Утилизация осадков промышленной канализации.

Осадки промышленных предприятий, содержащие повышенное количество тяжелых металлов, токсичных веществ и нефтепродуктов обезвреживают, как правило, огневым методом.

Наибольшее количество осадков этой группы в виде шламов с содержанием до 90—95 % влаги образуются на гальванических производствах, в нефтепереработке и цветной металлургии.

Эти шламы содержат значительные количества ценных минеральных компонентов: металлов (никеля, меди, цинка, хрома, ванадия, железа) и минеральных солей. Например, только на предприятиях химической промышленности количество железосодержащих шламов составляет около 120 тыс. т/год;

цинксодержащих — 70 тыс. т/год; медьсодержащих — 13 тыс. т/год; отработанных никельсодержащих катализаторов — 500 т/год. Большинство шламов загрязнено органическими примесями, в том числе высокотоксичными. Захоронение этих отходов в шламонакопителях требует значительных капитальных затрат, при этом не устраняется угроза загрязнения окружающей среды и в то же время безвозвратно теряются ценные компоненты. Повторное использование извлеченных из шламов металлов позволяет существенно экономить природное сырье для производства таких дефицитных и дорогостоящих металлов, как никель, хром, медь, цинк, ванадий, молибден и др.

В зависимости от состава и физико-химических свойств шламов, разрабатывают и применяют различные методы их обезвреживания и переработки: химические, физико-химические термические и комбинации этих методов. В ряде случаев единственными возможными методами обезвреживания шламов являются термические, в частности огневой. Огневая обработка позволяет полностью обезвредить горючие составляющие шламов с получением безвредных продуктов полного горения и зольных остатков, состоящих в основном из металлов или их оксидов. Полученные металлы используют при производстве сплавов ферромолибдена и феррованадия.

Прокалка шламов в барабанных вращающихся печах не гарантирует полного окисления органических веществ, что приводит к загрязнению атмосферы продуктами неполного горения и не позволяет получать чистые минеральные продукты.

В последние годы для огневой переработки шламов находят широкое применение циклонные печи.

Термическая переработка шламов и осадков в циклонных печах обеспечивает полное обезвреживание токсичных органических веществ и улавливание ценных минеральных продуктов.

Может проводиться огневая переработка никельсодержащих шламов, например, анилинокрасочного (сыпучий зольный остаток следующего состава: 77,3-81,2% NiO; 3,6-6% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 11-12 % SiO<sub>2</sub>; 3,4-7,8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Комбинированная переработка медьсодержащих шламов производится следующим образом: после отмывки шлама водой, обезвоживания и прокалки нерастворимого в воде остатка получают оксид меди CuO, который можно использовать в качестве добавок для получения микроудобрений; в производстве хлорида меди CuCl, широко применяемого в качестве сырья при получении многих химических продуктов; в производстве медного купороса и др.

Огневая переработка молибденсодержащих шламов. В производстве синтетических жидких топлив методом гидрогенизации углей образуется шлам, в котором кроме органических соединений и золы угля содержатся соединения железа и молибдена. После огневой обработки полученные соединения применяются в качестве катализатора.

#### **16.4. Типы сооружений и методы обработки осадков городской канализации**

Существуют 3 вида сооружений по обработке осадка городской канализации:

- 1) септики (септик-тенки);

- 2) двухъярусные отстойники;
- 3) осветлители-перегниватели.

Для обработки осадка используют следующие способы:

- 1) сушка осадка в естественных условиях (на иловых площадках). Недостаток – потребность больших земельных площадей;
- 2) механическая обработка: центрифугирование, фильтр-прессование, фильтрование;
- 3) термическая обработка – сжигание обезвоженного осадка.

Разновидности методов и сооружений обработки осадка показаны на рис. 16.2.

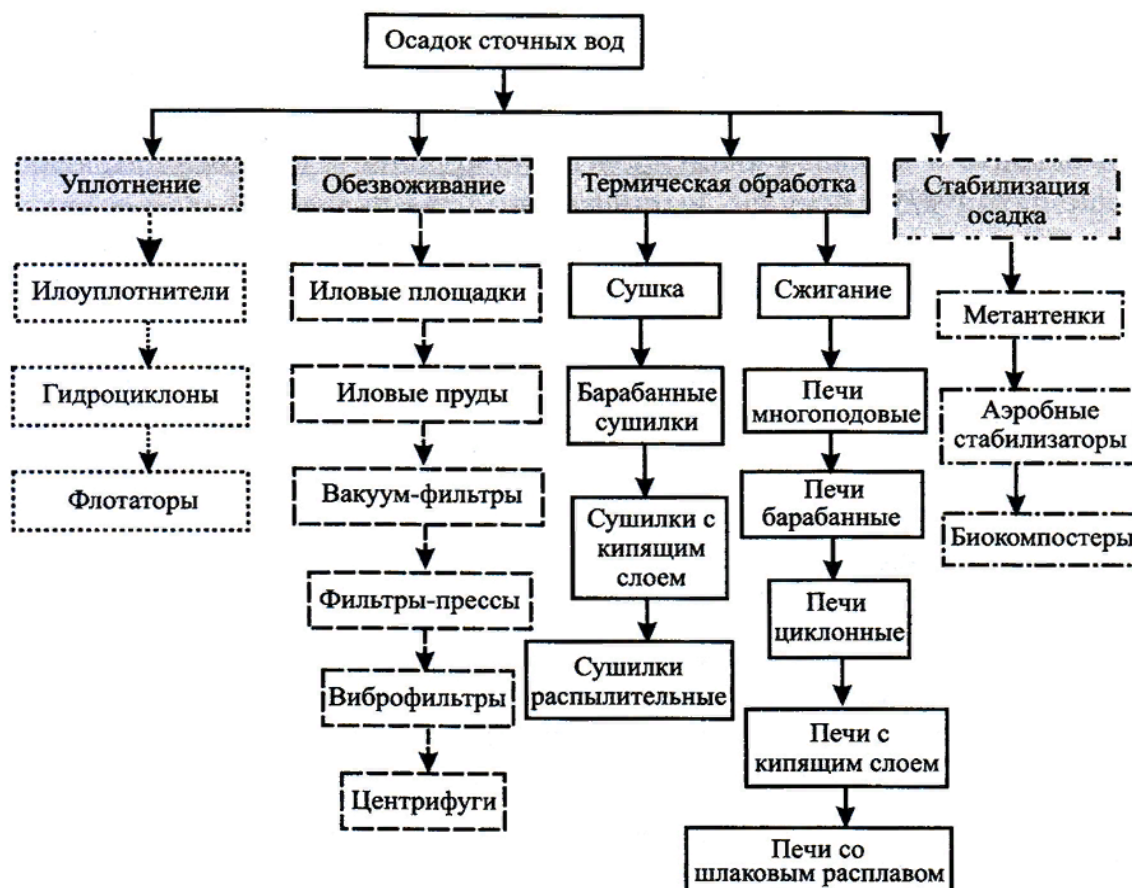


Рис. 16.2. Методы и устройства обработки осадка

## 16.5. Утилизация осадка сточных вод городской канализации

Утилизация осадков сточных вод создает неограниченные возможности для превращения отходов в полезное сырье, из которого можно получать ценные продукты для народного хозяйства. На рис. 16.3 приведена классификация основных направлений в утилизации осадков сточных вод. Особую ценность представляет активный ил станций аэрации, он может использоваться как ценное органическое удобрение или в виде кормовой добавки.



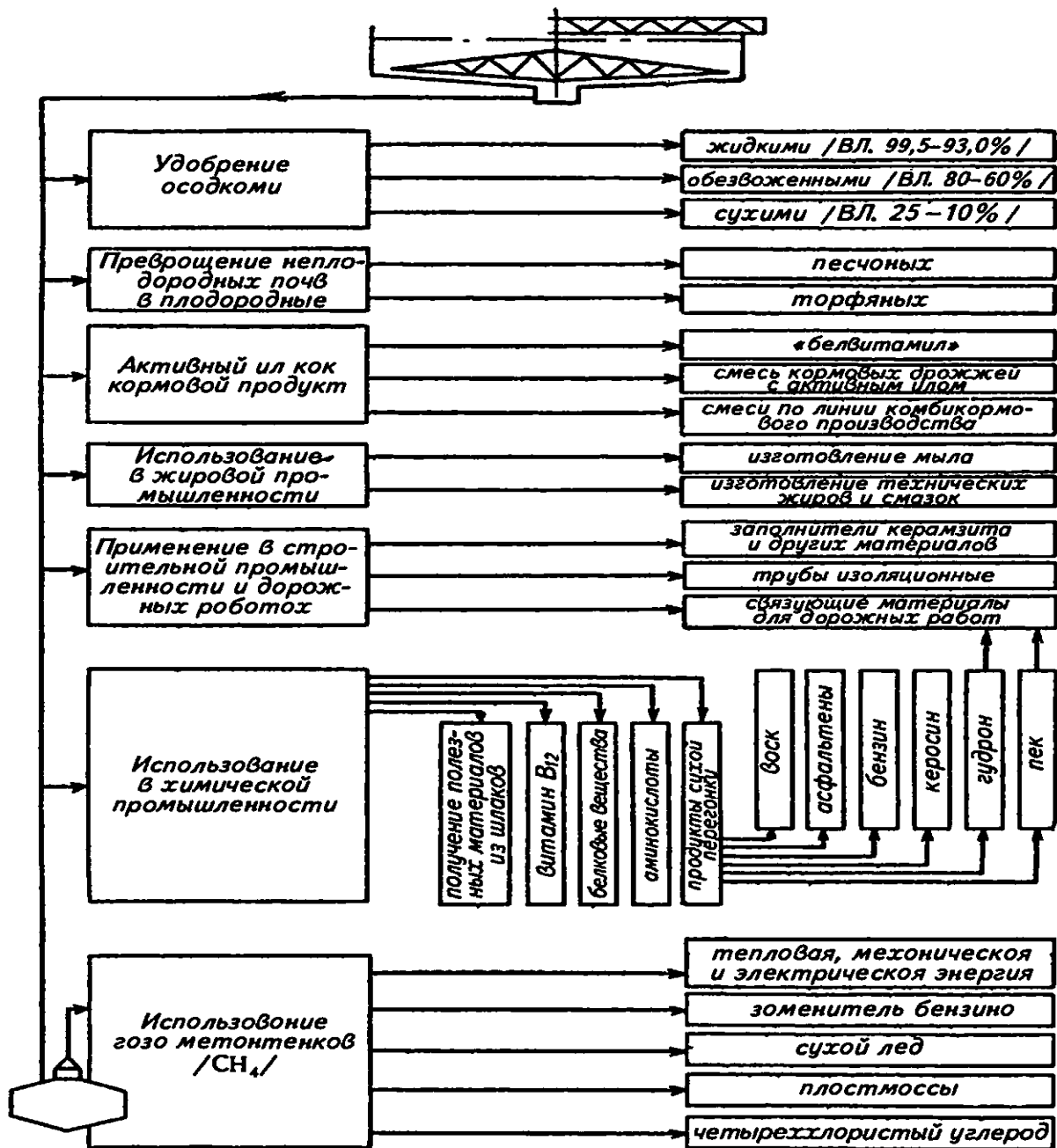


Рис. 16.3. Схема утилизации осадков сточных вод

В осадках содержится свободная и связанная вода. Свободная вода (60-65%) сравнительно легко может быть удалена из осадка, связанная вода (30-35%) — коллоидно-связанная и гигроскопическая — гораздо труднее. Коллоидно-связанная влага обволакивает твердые частицы гидратной оболочкой и препятствует их соединению в крупные агрегаты. Некоторое количество этой влаги удаляется после коагуляции в процессе фильтрования.

Удаление влаги из осадков механическим путем является наиболее экономичным и распространенным методом снижения их влажности, массы и объема. Для механического обезвоживания осадков применяются вакуум-фильтры, фильтр-прессы и осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка (рис. 16. 4).

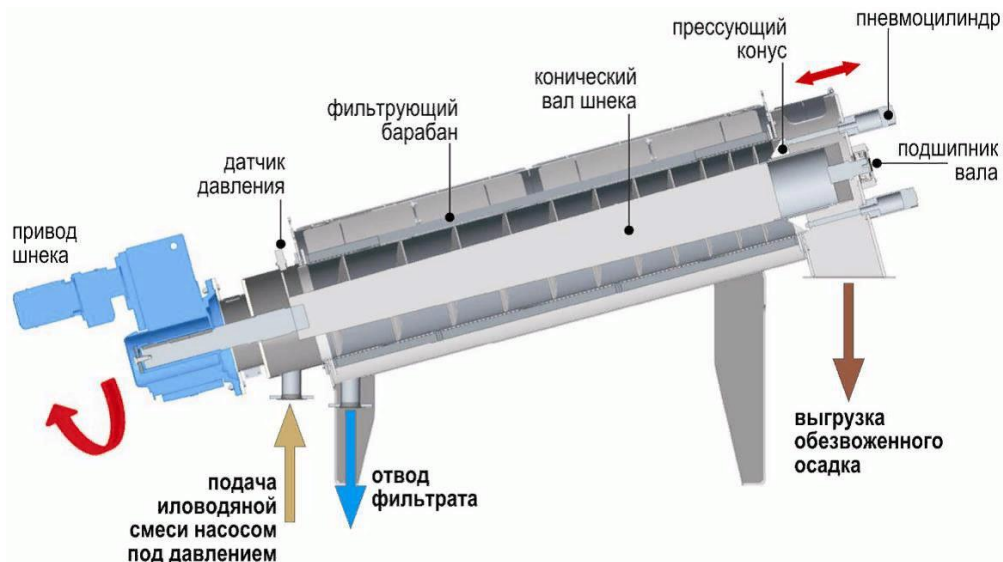


Рис. 16.4. Горизонтальная центрифуга со шнековой выгрузкой осадка

Общая последовательность этапов обработки осадка показана на рис. 16.5.



Рис. 16.5. Схема процессов обработки осадка

**Уплотнение осадка.** Уплотнение осадков связано с удалением свободной влаги и является необходимой стадией всех технологических схем обработки осадков. При уплотнении удаляется в среднем 60% влаги и масса осадка сокращается в 2,5 раза. Наиболее трудно уплотняется активный ил. Влажность активного ила составляет 99,2-99,5%. Взвешенные частицы ила имеют небольшой размер и плотную гидратную оболочку, которая препятствует уплотнению частиц. Уплотнение активного ила сопровождается ростом удельного сопротивления при фильтровании. Для уплотнения используют гравитационный, флотационный, центробежный и вибрационный методы.

**Гравитационный метод** уплотнения является наиболее распространенным и применяется для уплотнения избыточного активного ила и сброженных осад-

ков. Он основан на оседании частиц дисперсной фазы. В качестве илоуплотнителей используют вертикальные или радиальные отстойники. Гравитационное уплотнение не эффективно: наблюдается высокая концентрация взвешенных веществ в отделяемой воде и большая влажность уплотненных осадков, что удорожает последующую их обработку.

Для интенсификации процесса используют: коагулирование осадков, например обрабатывают осадок хлорным железом; перемешивание с помощью стержневых мешалок; совместное уплотнение различных видов осадков, например, совместное уплотнение сырого осадка из первичного отстойника и активного ила; термогравитационный метод, который основан на нагревании иловой жидкости. При этом гидратная оболочка вокруг частиц активного ила разрушается, часть связанной воды переходит в свободную, и процесс уплотнения улучшается. Оптимальная температура нагрева 80-90°C.

**Флотационный метод** уплотнения осадков основан на прилипании частиц активного ила к пузырькам воздуха и всплывании вместе с ними на поверхность. Для образования пузырьков воздуха может быть использован метод напорной флотации, вакуум-флотации, электрофлотации и биологической флотации (за счет развития и жизнедеятельности микроорганизмов при подогреве осадка до 35-55°C). Достоинства метода состоят в сокращении продолжительности процесса и более высокой степени уплотнения. Сгущение активного ила проводят в гидроциклонах, центрифугах и сепараторах. Процессы протекают в поле центробежных сил при высоких скоростях разделения.

#### **Стабилизация осадков.**

Стабилизация осадков – предотвращение загнивания осадков – основана на изменении физико-химических характеристик осадков и подавлением жизнедеятельности гнилостных бактерий. Достигается:

- минерализацией органического вещества (анаэробное метановое брожение, аэробная стабилизация, тепловая обработка, биотермическое разложение);
- изменением активной реакции среды (повышением величины рН путем введения щелочей)
- уничтожением кислотных микроорганизмов нагреванием (пастеризация, тепловая обработка, термическая сушка);
- обезвоживанием осадков (удалением влаги фильтрованием и испарением);
- введением химических веществ и соединений, подавляющих развитие микроорганизмов (химические методы).

Обычно стабилизацию ведут при помощи микроорганизмов в анаэробных и аэробных условиях. В анаэробных условиях проводится сбраживание в септиках, двухъярусных отстойниках, осветлителях-перегнивателях и метантенках. Септики и отстойники используют на установках небольшой производительности. Наиболее широкое распространение получили метантенки (рис. 16.6)

Перед подачей в метантенк осадок должен быть по возможности обезвожен. Основными параметрами аэробного сбраживания являются температура, регулирующая интенсивность процесса, доза загрузки осадка и степень его перемешивания. Процессы сбраживания ведутся в мезофильных (30-35°C) и термофильных (50-55°C) условиях. Полного сбраживания органических веществ

в метантенках достичь нельзя. Все вещества имеют свой предел сбраживания, зависящий от их химической природы. В среднем степень распада органических веществ составляет около 40%.

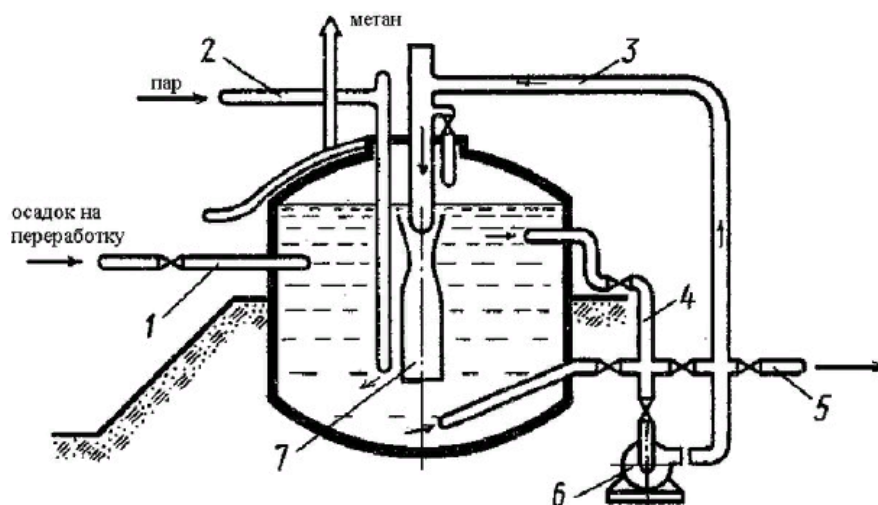


Рис. 16.6. Схема устройства метантенка

1 – приемная труба, 2 – подача пара, 3 – трубопровод циркулирующего осадка, 4 – выпуск иловой воды, 5 – выпуск сброженного осадка, 6 – насос для циркуляции и перемешивания осадка, 7 – гидрозелеватор

Для достижения высокой степени анаэробного сбраживания необходимо соблюдать по возможности высокую температуру процесса, концентрацию беззольного вещества более 15 г/л, интенсивную степень перемешивания, рН среды 6,8-7,2. Снижает эффективность сбраживания присутствие катионов тяжелых металлов (меди, никеля, цинка), избыток ионов  $\text{NH}_4^+$ , сульфидов, некоторых органических соединений и в том числе детергентов.

Существуют предельно допустимые концентрации токсичных веществ, при которых возможно метановое брожение, например:

Вещество	Толуол	Ацетон	Бензол	Хром( $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{6+}$ )	Медь
ПДК, мг/л	200	200	200	25/3	25

При сбраживании выделяются газы, которые в среднем содержат 63-65% метана, 32-34%  $\text{CO}_2$ . Теплотворная способность газа 23 МДж/кг. Его сжигают в топках паровых котлов. Пар используют для нагрева осадков в метантенках или для других целей. Сбраживание в метантенке осадка промышленных сточных вод из-за высокого содержания влаги, солей металлов и детергентов необходимо производить при снижении нагрузки на 25-50%.

Высокая влажность и большое содержание белка *в активном иле* приводят к низкому выходу газа при анаэробном сбраживании. Исходя из этого, выгоднее в метантенках сбраживать только сырой осадок из первичных отстойников, а активный ил подвергать аэробной стабилизации. Аэробная стабилизация заключается в продолжительной обработке ила в аэроционных сооружениях с пневматической, механической или пневмомеханической аэрацией. В результате такой обработки происходит распад (окисление) основной части биоразлагаемых органических веществ (до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$ ).

Оставшиеся органические вещества становятся неспособными к загниванию, т. е. стабилизируются. Расход кислорода на процесс стабилизации приблизительно равен 0,7 кг/кг органического вещества, Недостаток процесса по сравнению со сбраживанием — высокие затраты на аэрирование. Применять аэробную стабилизацию рекомендуется на сооружениях производительностью не более 80-100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

**Кондиционирование осадков.** Этот процесс предварительной подготовки осадков перед обезвоживанием или утилизацией проводят для снижения удельного сопротивления и улучшения водоотдающих свойств осадков вследствие изменения их структуры и форм связи воды. От условий кондиционирования зависит производительность аппаратов обезвоживания, чистота отделяемой воды и влажность обезвоженных осадков. Кондиционирование проводят реагентными и безреагентными способами.

**Тепловая обработка осадков.** Установки тепловой обработки предназначены для кондиционирования органических осадков сточных вод (сырых или сброженных) перед их механическим обезвоживанием. Один из способов — нагревание осадка в автоклавах до 170-200°С в течение 1ч. За это время разрушается коллоидная структура осадка, часть его переходит в раствор, а оставшаяся часть хорошо уплотняется и фильтруется. Тепловая обработка осадков производится в интервале температур 180—205 °С и времени 0,5—2 ч. Достоинства метода: осуществление в реакторе кондиционирования, стерилизации; компактность установки. Недостаток — сложность эксплуатации установки.

**Метод замораживания и оттаивания** имеет ограниченное применение. Его сущность заключается в том, что при замораживании часть связанной влаги переходит в свободную, происходит коагуляция твердых частиц осадка и снижается его удельное сопротивление. При оттаивании осадки образуют зернистую структуру, их влагоотдача повышается. Замораживание проводят при температуре от -5 до -10°С в течение 50-120 мин. Для замораживания используют аммиачные холодильные машины.

**Обезвоживание осадков.** Осадки обезвоживают на иловых площадках и механическим способом. Иловые площадки — это участки земли (корты), со всех сторон окруженные земляными валами. Если почва хорошо фильтрует воду и грунтовые воды находятся на большой глубине, иловые площадки устраивают на естественных грунтах. При залегании грунтовых вод на глубине до 1,5 м фильтрат отводят через специальный дренаж из труб, а иногда делают искусственное основание. Рабочая глубина площадок — 0,7-1 м. Иловую воду после уплотнения направляют на очистные сооружения.

В районах с теплым климатом для очистных сооружений производительностью более 10000 м<sup>3</sup>/сут могут быть оборудованы площадки с поверхностным удалением воды. Они представляют собой каскад из 4-8 площадок.

Иловые площадки-уплотнители сооружают глубиной до 2 м с водонепроницаемыми стенами и дном. Принцип их действия основан на расслоении осадка при отстаивании. При этом жидкость периодически отводят с разных глубин над слоем осадка, а осадок удаляют специальными машинами.

**Механическое обезвоживание осадков** проводят на вакуум-фильтрах (барбанных, дисковых, ленточных), листовых фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах и виброфильтрах.

На вакуум-фильтрах из осадков может быть удалено в среднем 80%, на дисковых — 90%, а на фильтр-прессах — 98% общего количества механически связанной воды. *Обезвоживающие установки с центрифугами.* Достоинствами установки центрифугирования являются простота, экономичность, низкая влажность обезвоженных осадков, легкость в управлении. Для обезвоживания используют в основном шнековые центрифуги, производительность которых при обработке осадков из первичных отстойников составляет 8-30 м<sup>3</sup>/ч, а сброженных осадков 12-40 м<sup>3</sup>/ч. Удельный расход энергии составляет 2,5-3,3 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемого осадка.

**Термические методы обработки осадков.** Сушку осадков производят в случае их подготовки к рекуперации. Для сушки применяют конвективные сушилки: барабанные, со встречными струями, с кипящим слоем, распылительные. В качестве сушильного реагента используют топочные газы, перегретый пар или горячий воздух. Наиболее часто применяют дымовые газы при 500-800 °С. Широкое распространение для термической сушки обезвоженных осадков сточных вод получили барабанные сушилки.

Вакуум-сушка осадков осуществляется в барабанных вакуум-сушилках гребкового типа. В результате вакуум-сушки получают дегельминтизированный гранулированный сухой продукт с влажностью 30—40 %. Сушка осадков осуществляется водяным паром с температурой насыщения 150 °С, подаваемым в обогревающие рубашки вакуум-сушилок при остаточном давлении в аппаратах 0,01—0,02 МПа. При температуре около 85 °С в период кипения осадка в течение не менее 20 мин происходит его дегельминтизация.

**Дегельминтизации** могут подвергаться как исходные, так и механически обезвоженные осадки сточных вод. Дегельминтизация жидких осадков осуществляется введением в них острого пара путем перемешивания или эжектирования. Расход пара определяется из расчета прогревания всей массы осадка до температуры 60—65 °С. Наряду с обработкой острым паром дегельминтизация может осуществляться путем пастеризации осадков в различных теплообменниках либо с помощью теплоэлектронагревателей. В процессе дегельминтизации путем прогревания влажность осадков не снижается. Для сокращения расхода тепла на дегельминтизацию осадки целесообразно предварительно сгущать и обезвоживать. Для обеззараживания механически обезвоженных осадков могут применяться установки по дегельминтизации осадков (рис. 16.7).

Камера дегельминтизации состоит из металлического пластинчатого транспортера с приемным бункером и установленных над ним газовых горелок инфракрасного излучения. Над остальной лентой транспортера установлены 24 горелки, разделенные на четыре группы по шесть горелок. Над горелками установлен вытяжной зонт.

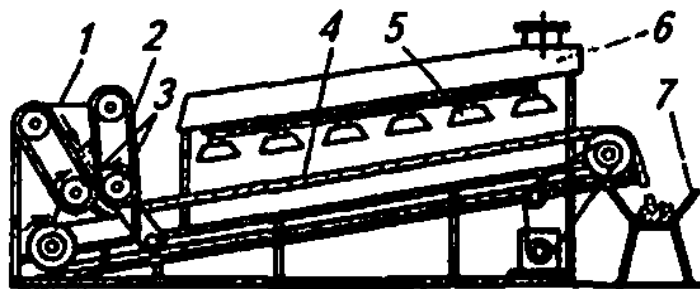


Рис. 16.7. Схема установки по дегельминтизации осадков:

1 — приемный бункер; 2 — подвижные стенки бункера; 3 — регулировочные валы; 4 — металлическая лента транспортера; 5 — газовые горелки инфракрасного излучения; 6 — вытяжной зонт; 7 — транспортер обработанного осадка

При движении по металлическому транспортеру осадок прогревается газовыми горелками инфракрасного излучения, вследствие чего происходит его обеззараживание и дополнительное снижение влажности на 2—5 %. Для обеззараживания осадка его температура должна повышаться до 60 °С.

Камеры дегельминтизации (КДГМ) предназначены для обеззараживания механически обезвоженных осадков на станциях аэрации производительностью до 20—30 тыс. м<sup>3</sup>/сут. сточных вод. Осадок, прошедший КДГМ, может утилизироваться в качестве удобрения.

**ПОДУМАЙТЕ!** Возможны ли другие способы дегельминтизации и как их можно осуществить?

**Сжигание осадков.** Осадки подвергаются сжиганию (обжигу), если их утилизация невозможна или экономически нецелесообразна, а также если территория для их складирования ограничена или отсутствует, и в тех случаях, когда это требуется по санитарно-гигиеническим соображениям.

**Рекуперация активного ила.** Из расчета по сухому веществу в активном иле содержится 37-52% белков, 20—35% аминокислот, а также витамины группы В. Он может быть использован для кормления животных, рыб и птиц.

Разработаны различные технологические схемы получения белково-витаминного кормового продукта (белвитамила), производства смеси кормовых дрожжей с илом и получения технологического витамина В<sub>12</sub> для комбикормовой промышленности.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Образование осадка в очистных сооружениях.
2. Назовите виды осадка.
3. Технология утилизации осадка городских канализаций.
4. Переработка осадка промышленной канализации.
5. Какие методы обезвоживания осадка Вы знаете?
6. Кондиционирование осадка.
7. Получение кормовых добавок из активного ила.

## Глава 17. Общая схема станции очистки сточных вод

### 17.1. Технологическая схема очистной станции

Технологическая схема станции очистки сточных вод формируется в зависимости от расхода сточных вод, степени их загрязненности и требуемой степени очистки. Например, если концентрация взвешенных веществ должна быть уменьшена на 40—50%, а величина БПК на 20—30%, то достаточно ограничиться механической очисткой. Примерный состав сооружений можно принять по схеме, показанной на рис. 17.1. Такая схема подходит при расходах сточных вод не более 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

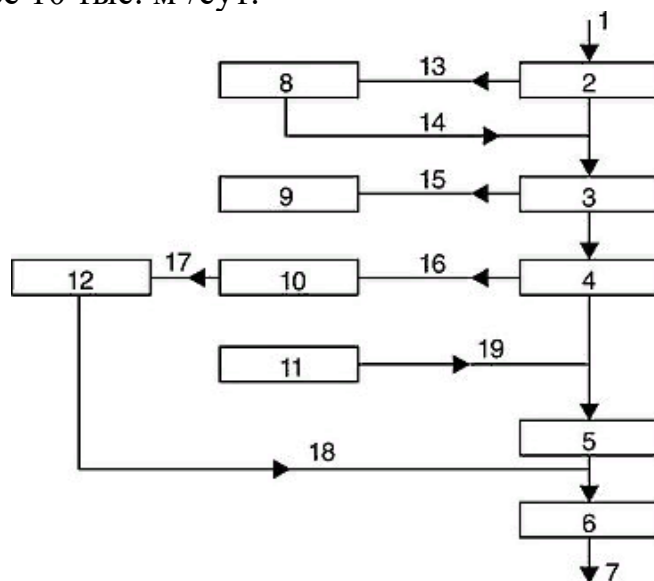


Рис. 17.1. Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод:

1 —подача сточных вод; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — отстойники; 5 — смесители; 6 — контактный резервуар; 7 — выпуск; 8 — дробилка; 9 — песковые площадки; 10 — метантенк; 11 — хлораторная; 12 — иловые площадки; 13 — отбросы; 14 — пульпа; 15 — песчаная пульпа; 16 — сырой осадок; 17 — сброженный осадок; 18 — дренажная вода; 19 — хлорная вода

Сточные воды, подаваемые на очистную станцию, проходят через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживаются хлорированием. Отходы с решеток измельчаются в дробилке до состояния пульпы и сбрасываются в канал перед или после решеток, или же вывозятся на полигон в неизмельченном виде. Осадок, образующийся в песколовках, подается на песковые площадки. Осадок из отстойников перекачивается в метантенки для окисления органических веществ и получения биогаза. Обезвоживание перебродившего осадка осуществляется на иловых площадках, дренажная вода с которых подается в канал перед контактным резервуаром.

Большие расходы сточных вод (от 50 тыс. до 2—3 млн м<sup>3</sup>/сут) требуют применения технологической схемы, включающей механическую и биологическую очистку. Механическая очистка осуществляется с помощью решеток,



песколовок и отстойников. Сырой осадок из первичных отстойников обрабатывается в метантенках. Биологическая очистка сточных вод по этой схеме производится в аэротенке.

## **17.2. Компонировка плана очистной станции**

Генеральный план очистной станции компоновывается после выполнения технологических и гидравлических расчетов сооружений по очистке воды и обработки осадков, трубопроводов, каналов и лотков, соединяющих сооружения между собой, после вычисления габаритных размеров основных и вспомогательных производственных зданий, подсобных помещений. При разработке генерального плана должны учитываться санитарные нормы, требования пожарной профилактики и техники безопасности. Для генерального плана принимается масштаб 1:200, 1:500 или 1:1000.

На генеральном плане показываются основные и вспомогательные сооружения и здания, подводные и отводные лотки, каналы и трубопроводы, проезды, все имеющиеся коммуникации, трансформаторная подстанция, котельные. Также на генплане указывают все расстояния между сооружениями, дорогами и др.

Здания и сооружения на площадке очистных сооружений размещают в зависимости от их высотного расположения, определяющего объемы земляных работ.

Очистные сооружения следует размещать в соответствии с естественным уклоном местности, минимизировать объем планировочных работ и обеспечить самотечное движение сточной воды по сооружениям. Размещение очистных сооружений должно быть компактным и симметричным, чтобы обеспечить равномерность распределения сточных вод между отдельными сооружениями и сократить пути перемещения воды и осадка. Целесообразно устанавливать сооружения блоками: 2 песколовки, 2-4 первичных отстойника, 2-4-6 аэротенков, 3-4 вторичных отстойника и т.д.

Расстояния между очистными сооружениями принимаются в зависимости от их назначения, условий грунта, способа ведения работ и уровня грунтовых вод. При размещении сооружений на местности с постоянным уклоном можно принимать следующие расстояния:

- между группами одноименных сооружений – 2-3 м; разноименных – 5-10 м;
- между сооружениями механической очистки и биофильтрами (с учетом насыпи) – 15-20 м;
- между очистными сооружениями и иловыми площадками (с учетом озеленения их, размещения устройств для отвода поверхностных вод, подъездных путей, подводящих коммуникаций и т.п.) – 25-30 м;
- между сооружениями (в зависимости от их объема) – 20-50 м.

Котельная, как правило, размещается в центре теплопотребителей, но не ближе 25 м от метантенков.

Каждое здание и сооружение обеспечивается подъездными путями для подвоза материалов и оборудования, между зданиями должны прокладываться дороги.

На очистных станциях располагаются производственные и административные здания, принимаемые по типовым проектам. В административных зданиях размещают: контору, производственно-технический отдел, химическую лабораторию, пищеблок, комнаты отдыха, прачечную для рабочей одежды.

Мастерские и склады желательнее блокировать с гаражом.

На крупных станциях предусматривается устройство технического водопровода, вода которого подается в здание решеток (к дробилкам, к насосам гидроэлеваторов), в цех механического обезвоживания для промывки осадка и приготовления растворов реагентов, а также к поливочным кранам для отмыва лотков на очистных сооружениях и полива зеленых насаждений.

Для собственных нужд очистной станции предусматривается канализация, в которую поступают дренажные воды с песковых и иловых площадок, иловая вода из илоуплотнителей, конденсат из метантенков, бытовые стоки от производственных и административных зданий, грязная промывная вода с песчаных фильтров, а также осадок из контактных резервуаров. Стоки местной канализации подаются местной насосной станцией в приёмную камеру очистных сооружений.

При компоновке генплана очистной станции требуется учитывать взаимное расположение отдельных сооружений. Иловые площадки должны располагаться по отношению к очистным сооружениям со стороны, противоположной жилой застройке. Там же размещают и другие сооружения по обработке осадка. С той же стороны прокладывают основную магистраль, располагая вдоль неё прочие производственные и вспомогательные здания. При таком решении часть территории станции остаётся свободной для дальнейшего её расширения. Всю территорию очистной станции следует озеленять и ограждать капитальным забором высотой 2 м.

Компоновка станций очистки сточных вод может быть весьма разнообразной в зависимости от размеров отведенной территории, типа сооружений и местных условий.

## **17.2. Высотная схема**

При проектировании комплекса очистных сооружений необходимо не только наметить их размещение на плане отведенной под строительство площадки, но и составить предварительную «высотную схему станции», т. е. установить предполагаемые отметки расчетных уровней воды во всех сооружениях. Для этого до получения в результате гидравлических расчетов значений потерь напора в самих сооружениях, арматуре и коммуникациях используются осредненные значения этих потерь, полученные из опыта проектирования и эксплуатации. Для составления предварительных высотных схем могут быть приняты значения потерь напора, указанные в табл. 17.1.

Таблица 17.1

## Местные потери напора в сооружениях очистной станции

Наименование сооружения	Местные потери напора $h^m$ , м
Приемная камера	0,05-0,10
Решетки-дробилки	0,20-0,40
Решетки	0,10-0,20
Песколовки горизонтальные с круговым движением воды	0,30-0,35
Песколовки горизонтальные с прямолинейным движением воды	0,35-0,40
Песколовки тангенциальные	0,30-0,35
Песколовки аэрируемые	0,20-0,25
Преаэраторы	0,20-0,25
Распределительная чаша отстойников	0,30-0,40
Дюкерная подающая труба	0,05-0,10
Отстойники вертикальные	0,40-0,50
Отстойники горизонтальные	0,35-0,40
Отстойник радиальные	0,40-0,55
Осветлители-перегниватели	0,80-0,90
Двухъярусные отстойники	0,25-0,30
Аэротенки	0,25-0,40
Биофильтры с реактивными оросителями	$H + 1,50^*$
Биофильтры со спринклерными оросителями	$H + 2,50^*$
Контактные резервуары	0,35-0,40
Смеситель – лоток «Паршала»	0,10-0,30
Песчаные фильтры доочистки	2,50-3,00*

*Примечания: 1. На сооружения, отмеченные \*, очищаемые стоки подаются самотеком;  $H$  – высота загрузки биофильтра. Указанные биофильтры – круглые в плане. 2. На биофильтры прямоугольные в плане и песчаные фильтры доочистки, запроектированные по действующим типовым проектам, очищаемые сточные воды подаются насосными установками.*

Кроме того, потери напора имеются в коммуникациях между сооружениями и около 0,5 м напора может теряться в измерительной аппаратуре при вводе воды на станцию и при отводе ее.

Если учитывать кроме местных потерь напора в сооружениях все линейные (потери по длине) в лотках и трубах, то общая величина потерь напора на станции очистки в схеме с аэротенками составит приблизительно 3-4 м, в схеме с биофильтрами (при самотечной подаче сточных вод) – 8-10 м. Для определения отметок уровня воды в каждом сооружении необходим гидравлический расчет лотков и каналов.

### **17.3. Построение профиля «по илу»**

Перемещение осадка (профиль «по илу») по очистным сооружениям также по возможности должно быть самотечным. Однако, как правило, подача циркулирующего активного ила в аэротенки из вторичных отстойников, а также избыточного активного ила в илоуплотнители, преаэраторы или биокоагуляторы требуют устройства иловой насосной станции. Подача осадка из первичных отстойников и уплотненного активного ила в метантенки чаще всего решается с помощью насосной станции. В схемах со стабилизаторами также используется перекачка осадков. Сброженный осадок из метантенков на иловые площадки проектируется самотеком, для чего метантенки устанавливаются так, чтобы разность отметок уровня осадка в камере выгрузки метантенка и уровня осадка в распределительной лотке самой удаленной иловой площадки была равна сумме всех гидравлических потерь и свободного напора на излив 1,0 м. Минерализованный осадок из аэробных стабилизаторов после снижения влажности в илоуплотнителях подается на иловые площадки насосами. Профиль движения ила (профиль «по илу») составляют на основе высотной схемы очистной станции. Начинают построение профиля движения ила от выпуска сырого осадка из самого удаленного первичного отстойника и доводят его до иловых площадок или цеха механического обезвоживания и сооружений по обеззараживанию осадка. Профиль движения осадка может начинаться и от выпуска активного ила или биопленки из самого дальнего вторичного отстойника и доводится до сооружений по обезвоживанию и обеззараживанию осадка. При проектировании площадок-илоуплотнителей, иловых площадок с дренажом и иловых площадок с поверхностным отведением воды вычерчивается разрез по площадкам и показывается коллектор иловой воды до насосной станции.

### **17.4. Генеральный план Саларской станции аэрации**

В качестве примера рассмотрим генеральный план Саларской станции аэрации (рис. 17.2).

Как видно из рисунка, на Саларской станции аэрации осуществляется стандартный комплекс очистных мероприятий – механическая (решетки, песколовки, отстойники), биологическая (аэротенки) и химическая (хлорирование) очистка, а также обработка осадка в метантенках и на иловых площадках.

Генеральный план станции составлен по типовым проектам и мало отличается от компоновки других очистных станций.

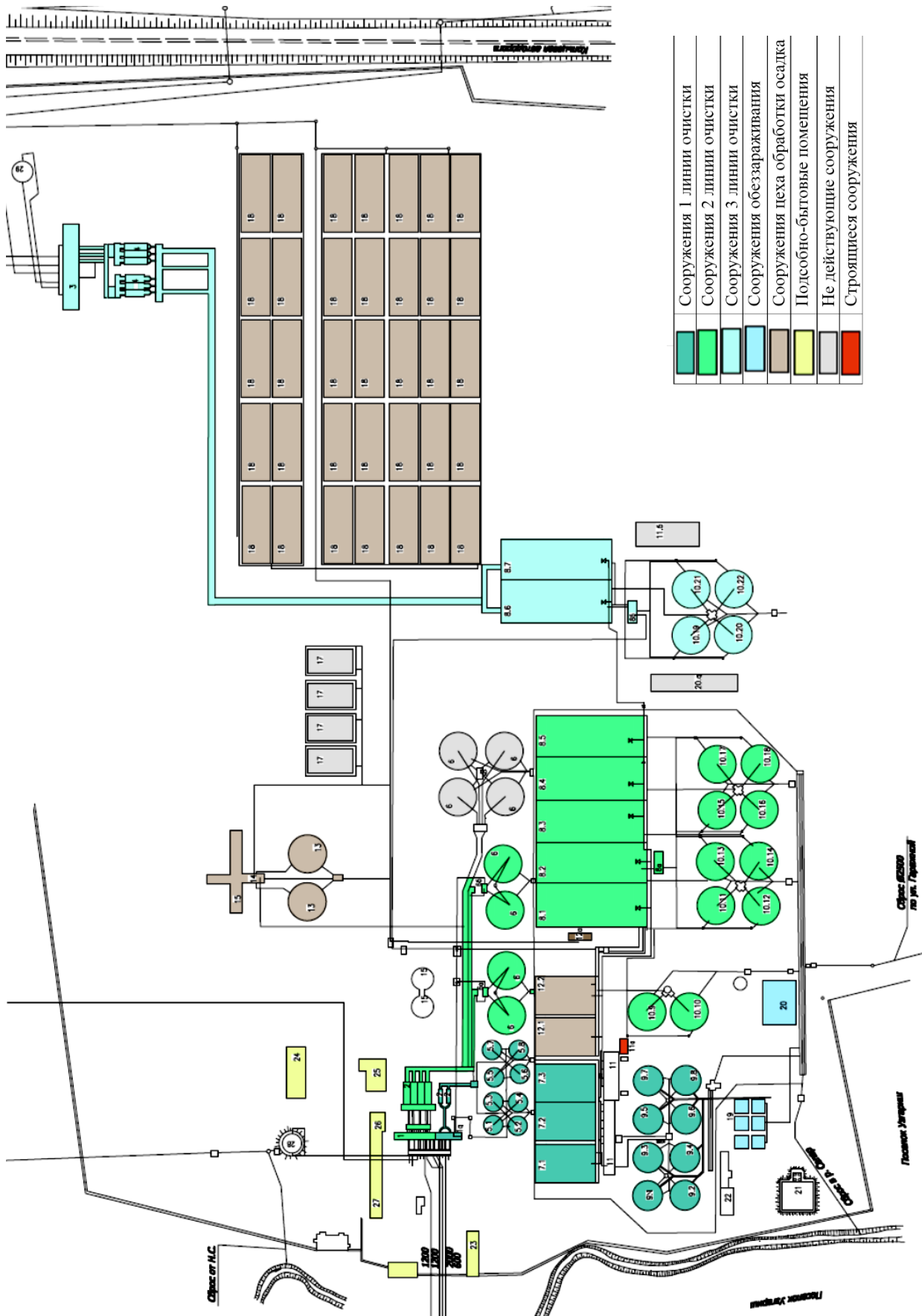


Рис. 17.2. Генеральный план Саларской станции аэрации

### Экспликация к рис. 17.2.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Здание решеток 1 и 2 линия                            | 13. Илоуплотнитель                           |
| 1а. Насосная станция РСО                                 | 14. Иловая насосная станция                  |
| 2. Песколовка 1 линии                                    | 15. Цех обезвоживания осадка                 |
| 3. Здание решеток 3 линия                                | 16. Метантенки                               |
| 4. Песколовка 3 линии                                    | 17. Песковые площадки                        |
| 5. Первичные отстойники D 20 м                           | 18. Иловые площадки                          |
| 6. Первичные отстойники D 40 м                           | 19. Солевое хозяйство                        |
| 6а. Плунжерная насосная станция N2                       | 20. Комплекс по выработке гипохлорита натрия |
| 6б. Плунжерная насосная станция N3                       | 20а. Хлораторная не действующая              |
| 7. Аэротенки L=60 м.                                     | 21. Подстанция 110/6 кВт                     |
| 8. Аэротенки L=108 м.                                    | 22. Электроцех                               |
| 8а. Насосная станция при 108 метровых аэротенках 2 линия | 23. Административно-бытовой комплекс         |
| 8б. Насосная станция N3 (новый комплекс) 3 линия         | 24. РММ (ремонтно-механические мастерские)   |
| 9. Вторичные отстойники D 33 м                           | 25. Котельная                                |
| 10. Вторичные отстойники D 40 м                          | 26. Гараж                                    |
| 11. Насосно-воздуходувная станция                        | 27. Склад                                    |
| 11а. ЗРУ – 6 кВ  | 28. Насосная станция «Аэропорт»              |
| 11б. Насосная станция не действующая                     | 29. Насосная станция «ДСК»                   |
| 12. Аэробный стабилизатор                                |  |

Недостатком можно считать то, что станция аэрации фактически оказалась уже в черте города, в зоне жилой застройки. То есть можно утверждать, что при проектировании станции не были должным образом учтены перспективы развития городского строительства.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Объясните, на каких принципах основывается выбор технологической схемы очистной станции?
2. Как выполняется компоновка плана очистной станции? Какие основные и вспомогательные сооружения должны быть предусмотрены на территории очистной станции?
3. Что представляет собой высотная схема очистной станции? Какие потери необходимо учитывать при построении высотной схемы?
4. Как выстраивается профиль «по илу»?
5. Опишите компоновку и технологический процесс Саларской станции аэрации.

## ГЛОССАРИЙ

**Абсорбент** – жидкость или твердое тело, поглощающее газ, растворенное вещество или энергию во всем своем объеме (ср. Адсорбент).

**Абсорбция** – поглощение вещества или энергии всей массой (объемом) поглощающего тела (другого вещества): газа жидким или твердым веществом, любого загрязнителя - ими же; ослабление света при прохождении через вещество, поглощение звука телами.

**Адсорбент** – вещество с большой удельной (внутренней или наружной) поверхностью, на которой происходит накопление (адсорбция) веществ из соприкасающихся с ней газов или растворов.

**Адсорбция** – концентрирование веществ из газа или раствора, происходящее на поверхности твердого тела или жидкости (концентрирование вещества из объема фаз на поверхности их раздела). Отличают физическую (обратимую) и химическую (необратимую) адсорбцию. В частности, обратимая адсорбция используется в хроматографическом анализе.

Адсорбция играет важную роль в концентрации одних элементов и удалении других при явлениях миграции (например, накопление калия в почвах и вынос натрия).

**Акватория** – водное пространство, ограниченное естественными, искусственными или воображаемыми (условными) границами. Как правило, акватория рассматривается как объемное образование, включающее водную толщу до дна водоема, подстилающие слои литосферы и воздушное пространство, исключая космические высоты (практически выше 50-100 км).

**Анаэробный** – термин, применяемый в отношении организмов (микрофлоры), развивающихся в отсутствии свободного кислорода, а также в отношении обстановки, процессов и явлений, связанных с ними. Область развития А. процессов - застойный режим, скопление органического вещества, где генерируются такие токсичные газы как сероводород, оксид углерода, метан и другие компоненты. Здесь образуются восстановительные геохимические условия, в которых происходит накопление поливалентных элементов (уран, молибден, селен и др.).

**Аэрационная станция** – на сегодняшний день самое современное оборудование для локальной канализации. Её принцип действия основан на использовании биологической очистки и процесса окисления органических веществ сточной воды с помощью пневматической низконапорной аэрации кислородом воздуха.

**Аэротенк** – это резервуар, в который поступают сточная вода (после механической очистки), активный ил и воздух. Хлопья активного ила представляют собой биоценоз аэробных микроорганизмов-минерализаторов (бактерий, простейших, червей и др.). Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов необходима постоянная аэрация (продувка воздухом) воды. Из аэротенка сточная вода в смеси с активным илом поступает во вторичные отстойники,

где ил осаждается. Основная масса его возвращается в аэротенк, а вода подается в контактные резервуары для хлорирования – обеззараживания.

**Баланс водный** – соотношение приходной и расходной частей круговорота воды на каком-то пространстве вплоть до планеты в целом.

**Баланс водохозяйственный** - количественное сопоставление наличия водных ресурсов и потребностей в воде в пределах определенного региона.

**Бассейн водосборный** - территория, на которой собираются воды, поступающие затем в водоток или стоячий водоем (ручей, реку, пруд, озеро, море).

**Бассейн отстойный** - водный бассейн, очищающий мутные воды от взвешенных частиц. Б.о. применяются при очистке сточных вод. Водохранилища и др. участки с пониженной скоростью течения в руслах водотоков играют роль Б.о. и поэтому заиливаются.

**Биологические пруды** – это специально созданные неглубокие водоемы, где протекают естественные биохимические процессы самоочищения воды в аэробных (кислородных) и анаэробных (бескислородных) условиях. Насыщение воды кислородом происходит вследствие естественной атмосферной аэрации и фотосинтеза, но может применяться и искусственная аэрация.

**Биофильтры** – сооружения, в которых создаются условия для интенсификации естественных биохимических процессов. Это резервуары с фильтрующим материалом, дренажем и устройством для распределения воды. Сточная вода с помощью распределительных устройств периодически разливается по поверхности загрузки, профильтровывается и отводится во вторичный отстойник. На поверхности фильтра постепенно созревает биопленка из различных микроорганизмов, которые выполняют ту же функцию, что и на полях фильтрации, т. е. минерализуют органические вещества. Отмершая биопленка смыывается водой и задерживается во вторичном отстойнике.

***Вещество вредное:***

1) химическое соединение, которое при контакте с организмом человека может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья;

2) химическое вещество, вызывающее нарушения в росте, развитии или состоянии здоровья организмов, а также могущее повлиять на эти показатели со временем, в том числе, в цепи поколений.

**Вода промышленная** – вода, ресурсы и состав компонентов которой достаточны для извлечения этих компонентов в промышленных масштабах.

**Вода техническая** – вода, кроме питьевой, минеральной и промышленной, пригодная для использования в народном хозяйстве.

***Вода условно чистая:***

1) вода, незагрязненная выше установленного предела или в которой с добавлением чистой воды концентрация загрязнителей доведена до разрешаемого законодательством уровня;

2) сточные воды, спуск которых без очистки в данный водный объект не приводит к нарушению нормы качества воды в местах водопользования.



**Вода чистая** - вода, не содержащая загрязнений. С санитарной точки зрения В.ч. - не вызывающая у человека ухудшения здоровья. В.ч. - нередко условное, субъективное понятие, так как спутниками воды могут быть вещества и микроорганизмы в различной концентрации, одними людьми воспринимаемые как недопустимые, другими - как вполне приемлемые добавки, у одних лиц вызывающие, у других не вызывающие болезненных явлений. Верхним санитарным пределом, отличающим В.ч. от воды загрязненной, может служить невозможность для человеческого организма (индивидуального или в цепи поколений) адаптироваться к некоторой концентрации загрязнений. Однако в истории медицины известны случаи, когда высокая зараженность вод холерным вибрионом (во Франции) не приводила к вспышке холеры, а в то же время ничтожное их число (в Германии) вызвала такую вспышку.

**Водное законодательство** – комплекс правовых норм, регулирующих отношения, связанные с использованием и охраной водных ресурсов.

**Водный кадастр** – систематизированный свод сведений о водных ресурсах страны. Включает гидрологическую изученность основных гидрологических характеристик и ресурсы поверхностных вод.

**Водный кодекс** – систематизированный законодательный акт, регулирующий отношения по охране и использованию водных объектов.

**Водный баланс Земли** – соотношение, связывающее количество воды, поступающей на поверхность земного шара в виде осадков, и количество воды, испаряющейся с поверхности суши и Мирового океана за определенный период времени. Годовое количество осадков равно 1020 мм, испарение с поверхности Мирового океана 880 мм и с суши 140 мм.

**Водный режим** – изменение во времени уровней, расходов и объемов воды в водных объектах

**Водные ресурсы** – пригодные для использования в народном хозяйстве воды рек, озер, каналов, водохранилищ, морей и океанов, подземные воды, почвенная влага, вода (льды) ледников, водяные пары атмосферы. Общие запасы 1454,3 млн км<sup>3</sup> (из них 2% относятся к пресным водам, а доступны для использования 0,3%). При рациональном использовании они непрерывно возобновляются в процессе влагооборота

**Водное хозяйство** – отрасль народного хозяйства, занимающаяся изучением, учетом, планированием комплексного использования, охраной вод от загрязнения и истощения, транспортировкой их к месту назначения (потребления). Водное хозяйство имеет целью использование поверхностных и подземных вод для нужд населения и всех отраслей народного хозяйства. В его сферу входит также борьба с разрушительным действием водной стихии, наводнениями, селевыми (грязевыми) выносами, оползнями, размывом берегов водохранилищ.

**Водные объекты** – реки, озера, болота, водохранилища и другие формы сосредоточения воды на поверхности суши (например, в виде снежного покрова), для изучения режима которых применяются гидрологические методы измерения и анализа.

**Водоток** – массы перемещающейся в русле воды (ручей, река и т.п.); различают временные и постоянные водотоки.

**Водоохранная зона** – прибрежная полоса (зона) строгого ограничения хозяйственной деятельности, предназначенная для охраны водных объектов от загрязнения, засорения и истощения.

**Водохозяйственный объект** – сооружение, связанное с использованием, восстановлением и охраной водных объектов и их водных ресурсов.

**Водохозяйственная деятельность** – деятельность граждан и юридических лиц, связанная с использованием и охраной водных объектов.

**Водоем рекреационный** – любой водный объект, используемый как место отдыха на воде (лодочный, байдарочный, парусный спорт, туризм и прогулки) и на берегах с купанием в нем или без него. К В.р. относят и водотоки, а не только пруды, озера, водохранилища и моря (Черное, Каспийское, Азовское, Иссык-Куль, бассейны Волги, Дона, Днепра и др.). Примером очень крупного В.р. с прекрасными пляжами, но крайне ограниченной возможностью купания из-за низкой температуры воды может служить оз. Байкал.

**Водоёмкость производства** – количество воды, используемой для получения единицы готовой продукции.

**Водозабор:**

1) изъятие воды из водоема или водотока для удовлетворения хозяйственных или бытовых нужд;

2) комплекс гидротехнических сооружений и оборудования, предназначенных для изъятия воды из открытого водоема, водотока или подземного источника, подъема уровня воды на заданную высоту, регулирования уровня, сброса паводковых вод и приема воды в отводящие устройства с подачей ее в водоводы для транспортировки и использования.

**Водозабор суммарный** – расход воды, изымаемой одновременно в различных точках водотока, водоема или канала.

**Водоудержание** – мероприятия, осуществляемые на водосборах, - лесопосадки, террасирование склонов, снегозадержание, поперечная пахота и др. - с целью уменьшения поверхностного стока, увеличения просачивания воды в почву и снижения склоновой эрозии почв.

**Водообмен:**

1) постепенная смена воды, ее возобновление в ходе круговорота;

2) то же, но с учетом перемешивания вод.

**Водоотведение:**

1) совокупность санитарных мероприятий и технических устройств, обеспечивающих удаление сточных вод за пределы населенного места или

промышленного предприятия; осуществляется с помощью ливневой, промышленной и бытовой, внутренней и наружной канализации;

2) В. с помощью водоотводного канала - освобождение от воды русла реки с целью проведения в нем гидротехнических работ или для охраны от затопления рекой каких-то объектов в период половодья или паводка.

**Водоочистка** – техническое доведение качества воды, поступающей в водопроводную сеть, до установленных нормативами показателей.

**Водопользование** – порядок, условия и формы использования водных ресурсов:

1) использование водных объектов для удовлетворения любых нужд населения и народного хозяйства;

2) использование воды в хозяйственных или бытовых целях без изъятия их из водных объектов, путем "пропускания ее через себя" (напр., гидроэлектростанцией или водяной мельницей);

3) совокупность всех форм и видов использования водных ресурсов в общей системе природопользования. Возможно В. (1, 2) без изменения качества воды (очень редко) и с изменением ее качества (в том числе видового состава животного и растительного мира).

**Водопотребление** – потребление воды из водного объекта или из систем водоснабжения. Отличают возвратное В. - с возвращением забранной воды в источник и безвозвратное В. - с расходом ее на фильтрацию, испарение и т.п.

**Водоснабжение** – совокупность мероприятий (получение воды из природных источников, ее очистка, транспортирование и подача) по обеспечению водой потребителей - бытовых нужд, промышленных предприятий и т.п. Удельные нормы коммунально-бытового В. в странах мира колеблются от 3 до 700 л на человека в сутки. В. очень быстро развивается.

**Водоснабжение обратное** – относительно быстрое повторное поступление использованной воды в технологические циклы или бытовые водопроводные сети после ее очистки (в технологических циклах иногда без нее). В некоторых отраслях промышленности превышает 80 % всей используемой воды, в обитаемых космических аппаратах достигает 100 %. В сильно урбанизированных регионах практически вся вода поступает в водопроводные сети по принципу В.о., но, поскольку отрезок времени в определении понятия В.о. точно не установлен, границу первичного потребления воды и В.о. установить трудно. Технологическая грань В.о. - использование воды без поступления ее в природные циклы.

**Водоток** – перемещающаяся в русле вода (ручей, река и т.п.). Отличают временные и постоянные В.

**Воды грунтовые** – воды, образующие в толще геологических пород первый (верхний) водоносный горизонт. Отличают много разновидностей В.г., в том числе безнапорные и напорные В.г., т.е. имеющие свободную поверхность, давление на которую равно атмосферному или превышает его.

**Воды дренажные** – поверхностные или подземные воды, собираемые дренажными сооружениями и отводимые ими в другое место. Дренажные сооружения также делят на поверхностные и подземные.

**Воды минерализованные** (обычно в приложении к грунтовым водам) – воды, содержащие в заметном количестве минеральные вещества. Различают слабо- (0,5-5 г/л), средне- (5-30 г/л) и сильноминерализованные (более 30 г/л растворимых солей) воды.

**Воды поверхностные** – воды, постоянно или временно находящиеся на земной поверхности как водные объекты любого (твердого, жидкого) физического состояния. К В.п. относятся воды рек, временных водотоков, озер, водохранилищ, прудов, временных водоемов, болот, ледников, наледей и снежного покрова.

**Воды подземные** – воды, находящиеся в почве и геологических породах земной коры в любых физических состояниях, включая и химически связанную воду. В составе В.п. различают грунтовые воды и многие другие их виды (по условиям залегания, происхождению, качеству и т.п. показателям).

**Воды пресные** – воды с содержанием растворимых солей до 1 г/л (в зависимости от химического состава).

**Воды соленые** – воды слабосоленые – с содержанием растворимых солей от 3 до 10 г/л, соленые и очень соленые – от 10 до 50 г/л, рассольные (рапа) – более 50 г/л растворимых солей.

**Воды сточные:**

1) воды, бывшие в производственно-бытовом или сельско-хозяйственном употреблении, а также прошедшие через какую-то загрязненную территорию, в том числе населенного пункта (промышленные, сельско-хозяйственные, коммунально-бытовые, ливневые и т.п. стоки );

2) воды, отводимые после использования в бытовой и производственной деятельности человека. В.с. должны подвергаться очистке.

**Воды термальные** – нагретая или даже перегретая, с температурой выше 100 °С, вода, естественно изливающаяся из земных глубин или добываемая с помощью бурения скважин.

**Выпуск сточных вод** – трубопровод, отводящий сточные воды в водный объект

**Гидросфера** – совокупность всех вод Земли (глубинных, почвенных, поверхностных, материковых, океанических и атмосферных). Как особая земная оболочка рассматриваются лишь воды, находящиеся на поверхности планеты (материковые и океанические).

**Демографическая емкость** – максимальное число жителей, которое может быть размещено в ее границах при условии обеспечения наиболее важных повседневных потребностей населения ресурсами с учетом сохранения экологического равновесия.

**Дожди кислотные (кислотные осадки)** – дождь и снег, подкисленные из-за растворения в атмосферной влаге промышленных выбросов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,

НС1). Осадки, в свою очередь, подкисляют водоемы и почву, что приводит к гибели рыбы, других водных организмов и резкому снижению прироста лесов.

**Дренажные воды** – вода, собираемая дренажными сооружениями и сбрасываемая в водные объекты.

**Загрязнение:** – 1) при внесении в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических или биологических агентов или превышение в рассматриваемое время естественного среднегодовой уровня (в пределах его крайних колебаний) концентрации перечисленных агентов в среде: 2) увеличение количества физических, химических или биологических агентов сверх недавно наблюдавшейся нормы (например, помутнение речных вод после дождя). Загрязнение может возникать в результате естественных причин (загрязнение природное) и под влиянием деятельности человека (загрязнение антропогенное).

**Загрязнение водных объектов** – сброс или поступление иным способом в водные объекты, а также образование в них вредных веществ, которые ухудшают качество поверхностных и подземных вод, ограничивают использование либо негативно влияют на состояние дна и берегов водных объектов.

**Загрязняющее воду вещество, загрязняющее вещество** – вещество в воде, вызывающее нарушение норм качества воды.

**Засорение водных объектов** – сброс или поступление иным способом в водные объекты предметов или взвешенных частиц, ухудшающих состояние и затрудняющих использование водных объектов.

**Зона санитарной охраны** – территория и акватория, на которых устанавливается особый санитарно-эпидемиологический режим с целью предотвращения ухудшения качества воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и охраны водопроводных сооружений.

**Инженерная защита** – комплекс инженерных сооружений, инженерно-технических, организационно-хозяйственных и социально-правовых мероприятий, обеспечивающих защиту объектов народного хозяйства и территории от затопления и подтопления, берегообрушения и оползневых процессов.

**Ионообменный метод очистки** – фильтрование обрабатываемой воды через слой зернистого материала, способного обменивать часть своих ионов на ионы в стоке.

**Источники загрязнения** – объекты, с которых осуществляется сброс или иное поступление в водные объекты вредных веществ, ухудшающих качество поверхностных и подземных вод, ограничивающих их использование, а также негативно влияющих на состояние дна и берегов водных объектов.

**Канцероген** – вещество или физический агент, способный вызывать развитие злокачественных новообразований или способствующих их возникновению.

**Качество воды** – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее конкретных видов водопользования.

**Консервация септика** – подготовка септика к зимнему периоду, если не предполагается его круглогодичное использование

**Контроль качества вод** – проверка соответствия показателей качества вод установленным нормам и требованиям.

**Коэффициент весомости** – количественная характеристика значимости данного параметра среди других параметров, входящих в показатель.

**Локальная канализация** – это канализационная система, обеспечивающая очистку хозяйственно-бытовых стоков от одного или нескольких строений не соединенных с централизованной канализацией.

**Локальные очистные сооружения** – оборудование, предназначенное для устройства канализации в населенных пунктах, где отсутствуют сети централизованной канализации

**Максимально разовая ПДК** – ПДК, которая устанавливается для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, изменение биоэлектрической активности головного мозга, световой чувствительности глаз и др.) при кратковременном воздействии атмосферных загрязнений (до 20 мин).

**Метантенк** – герметически закрытый резервуар, где анаэробные бактерии в термофильных условиях ( $t = 30 - 43^{\circ}\text{C}$ ) сбраживают сырой осадок из первичных и вторичных отстойников. В процессе брожения выделяются газы: метан  $\text{CH}_4$ , водород  $\text{H}_2$ , углекислый газ  $\text{CO}_2$ , аммиак  $\text{NH}_3$  и др., которые могут затем использоваться для разных целей.

**Мутность воды** – содержание взвешенных веществ в единице объема смеси воды и этих веществ, выражаемое в весовых единицах ( $\text{г/м}^3$ ,  $\text{мг/дм}^3$ ) или единицах объема. М.в., как правило, возрастает в водоемах по мере приближения к берегу (зависит от волн, размывающих берег), а в водотоках - от поверхности к их дну (увеличивается течением, размывающим донные осадки). Максимальная М.в. наблюдается во время половодья.

**Мягкость воды** – малое содержание в воде карбонатов кальция и магния. Противопоставляется жесткости воды большому содержанию этих веществ в воде.

**Накопительный септик** – это разновидность локальной канализации, представляющий собой герметичную емкость, предназначенную для временного хранения хозяйственно-бытовых стоков от загородного дома. Данный вид септика требует периодической откачки содержимого ассенизаторским автомобилем.

**Норма загрязнения** – предельная концентрация веществ, поступающего или содержащегося в среде, допускаемая нормативными актами.

**Норма санитарно-гигиеническая** – качественно-количественный показатель, соблюдение которого гарантирует безопасные или оптимальные условия существования человека (напр., норма жилой площади на одного члена семьи, норма качества воды, воздуха и т.д.). Синоним - норматив гигиенический.

**Норма содержания твердых веществ** – допустимая концентрация твердых веществ в уходящих газах.

**Норма стока** – среднее значение величины поверхностного водного стока за многолетний период. Норма годового стока среднее арифметическое годовых величин стока; норма весеннего стока – та же величина от многолетних показателей стока весной. Вычисляют Н.с. за месяц, сезон и т.п.

**Обеззараживание** – является заключительным этапом обработки сточных вод перед сбросом в водоем. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции воды путем хлорирования газообразным хлором  $Cl_2$  или хлорной известью  $CaCl(OCl)$ . Применяют также электролизные установки для получения гипохлорита натрия  $NaClO$  из поваренной соли  $NaCl$ . Возможно обеззараживание и другими бактерицидными веществами.

**Оборотное водоснабжение** – система водоснабжения, при которой сточные воды после очистки снова используются на технологические нужды.

**Очистка воды** – устранение посторонних примесей из вод (включая живые организмы) с помощью механических, физико-химических (хлорированием, озонированием и т.п.) и биологических методов.

**Очистка сточных вод** – устранение из сточных вод организмов, взвешенных и растворенных веществ, могущих оказать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и природу.

**Очистка сточных вод механическая** – удаление легко осаждающихся и всплывающих веществ техническими устройствами и методами. Чаще всего производится с помощью грубозернистых и мелкозернистых (гравийно-песчаных) фильтров.

**Очистка сточных вод химическая** – удаление загрязнителей с помощью химических агентов и с использованием физико-химических свойств веществ. Включает коагуляцию с осаждением (освобождение сточных вод от фосфора, взвешенных и коллоидных веществ), адсорбцию (удаление растворенных органических веществ) и хлорирование (уничтожение живых организмов-дезинфекцию воды).

**Поля фильтрации** – это земельные участки, искусственно разделенные на секции, по которым равномерно распределяется сточная вода, фильтрующаяся через поры грунта. Профильтрованная вода собирается в дренажных трубах и канавах и стекает в водоемы. На поверхности почвы образуется биологическая пленка из аэробных микроорганизмов, способных минерализовать органические вещества.

**Предельно-допустимая концентрация (ПДК)** – это такая концентрация загрязнителя в воде, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного действия, не вызывает патологических изменений или заболеваний.

**Предельно допустимая нагрузка (ПДН)** – степень предельно допустимого загрязнения воды в водном объекте, зависящая от его физических особенностей и способности к нейтрализации.

**Предельно допустимы сброс ПДС** (измеряется в г/с) – масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в единицу времени, при которой в створе реки в пределах 1 км перед пунктом водопользования будет выполняться условие:

$$C_{\text{доп}} = C_n - C_{\phi}$$

**Системы автономной канализации** – канализационные системы, предназначенные для отдельно стоящих домов, которые являются индивидуальными и не связаны с местными системами канализации.

**Септик для загородного дома** – предназначен для первичной механической очистки сточных вод в автономной канализации загородного дома. Представляет собой довольно простое устройство в виде емкости, разделенной внутри на отдельные камеры, в которых происходит осаждение грубодисперсных частиц. Далее осветленные сточные воды попадают на впитывающую или фильтрационную площадку, где происходит их дальнейшая доочистка. **Септики из бетонных колец** – простейший вид септика, представляющий собой сообщающиеся колодцы, из которых периодически откачиваются стоки при помощи ассенизаторского автомобиля.

**Среднесуточная ПДК** – ПДК, которая устанавливается с целью предупреждения общетоксического, канцерогенного и мутагенного влияния вещества на организм человека.

**Ультрафильтрация** – метод очистки стоков путем фильтрования через полупроницаемые мембраны

**Флотация** – в основе процесса флотации лежит молекулярное слипание частиц примесей и пузырьков тонкодиспергированного в воде воздуха или газа.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. И. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий: учеб. пособие для вузов / В. И. Алексеев, Т. Е. Винокурова, Е. А. Пугачев. – М.: АСВ, 2003. – 176 с.
2. Арканова И.А., Авдин В.В. Основы проектирования систем водоснабжения и водоотведения: учеб. Пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 47 с.
3. Васильева Н.В. Водоотведение и очистка сточных вод: курс лекций. – Горки: БГСХА, 2014. – 218 с.
4. Воловник Г.И., Терехов Л.Д. Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения населенных мест: Учеб. пособие /. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. – 113 с.
5. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: Изд-во «Ассоциация строительных вузов», 2006. – 704 с.
6. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учеб. пособие для вузов / В. И. Калищун [и др.]. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2000. – 397 с.
7. Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод: учебное пособие. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127 с.
8. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: учебное пособие. – Вологда: ВоГТУ, 2003. – 152 с.
9. Дикаревский В.С. и др. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: учеб. пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
10. Долина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Днепропетровск.: Континент, 2008. 254 с.
11. Душкин С.С. Ресурсосберегающие технологии при очистке природных и сточных вод. Конспект лекций. – Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017. – 102 с.
12. Евжанов Х.Н. Очистка и повторное использование коллекторно-дренажных вод // Химия и технология воды, 2009, т. 31, №1
13. Исаева А.М. и др. Планы и высотные схемы канализационных очистных сооружений: методические указания по выполнению самостоятельных работ/ А.М. Исаева, В.Е. Кривулина, Ю.П. Чекмарев; под общ. ред. Д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 32 с.
14. КМК 2.04.01-98. Внутренний водопровод и канализация зданий. Госархитектстрой РУз – Ташкент, 2008 г.

15. КМК 2.04.03-97. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госархитектстрой РУз – Ташкент, 2007 г.
16. КМК 2.04.04-97. Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб. Наружные сети и сооружения. Госархитектстрой РУз – Ташкент, 2007 г.
17. Козловская С.Б., Ковалёва Е.А. Конспект лекций по учебной дисциплине «Водоотведение». – Харьков: ХНАГХ, 2007. – 98 с.
18. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: учеб. пособие для вузов / В. И. Калицун, Ю. Н. Ласков, Ю. В. Воронов, Е. В. Алексеев. – М.: Стройиздат, 2000. – 272 с.
19. Лазарев Ю.Г., Клековкина М.П. Строительство наружных сетей водопровода и канализации: уч. пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2014. – 105 с.
20. Луканин А.В. Процессы и аппараты биотехнологической очистки сточных вод: учеб. Пособие. – М.: Университет машиностроения, 2014. – 244 с
21. Музалевская Г.Н. Инженерные сети городов и населенных пунктов: учеб. Пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. - 148 с.
22. Павлинова И.И., Баженов В.И., Губий И.Г. Водоснабжение и водоотведение: учебник и практикум для академического бакалавриата. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2017. – 380 с.
23. Раткович Л.Д. Маркин В.Н. Глазунова И.В. Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем. Монография. М.: ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА-им. К.А.Тимирязева, 2014. – 183 с.
24. Репина Б.Н. и др. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. Справочник. — М.; Высш. шк., 1995 — 431 с.
25. СанПиН № 0255-08. Основные критерии гигиенической оценки степени загрязнения водных объектов по опасности для здоровья населения в условиях Узбекистана. Ташкент, 2008.
26. Технический справочник по обработке воды: в 2 т.: пер. с фр. — СПб.: Новый журнал, 2007.
27. Усаковский, В. М. Водоснабжение и водоотведение в сельском хозяйстве / В. М. Усаковский. – М.: Колос, 2002. – 328 с.
28. Хенце М. и др. Очистка сточных вод. Пер. с датского. М.: Мир, 2004, 471 с.
29. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Методика эколого - водохозяйственной оценки водных объектов. Монография. – М.: ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА-им. К.А.Тимирязева, 2014. – 162с.
30. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
31. Albolafio S. et al. Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. Chemosphere. 2021

32. Asfaha Y.G. Hybrid process of electrocoagulation and electrooxidation system for wastewater treatment: A review *Cleaner Engineering and Technology*. 2021. Volume 4
33. Bai Sh. et al. Optimization of wastewater treatment strategies using life cycle assessment from a watershed perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Volume 312
34. Cheremisinoff N.P. *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. 2002. Butterworth-Heinemann.
35. Einschlag G., Carlos L. *Waste Water - Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*. InTech. 2013
36. Elshorbagy W., Chowdhury R.K. *Water Treatment*. 2013. InTech
37. Fawcett-Hirst W. et al. A review of treatment methods for insensitive high explosive contaminated wastewater. *Heliyon*. 2021. Volume 7, Issue 7
38. Messaoudi M. et al. Study of the permeability of tubular mineral membranes: application to wastewater treatment. *Heliyon*. 2021. Volume 7, Issue 4
39. *Operation of municipal wastewater treatment plants. Manual of Practice No. 11. 6th Edition*. Water Environment Federation. McGraw Hill. 2008
40. Ranade V.V., Bhandari V.M. *Industrial wastewater treatment, recycling, and reuse*. 2014 Elsevier Ltd.
41. Rani S.L.S., Kumar R.V. Insights on applications of low-cost ceramic membranes in wastewater treatment: A mini-review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2021 Volume 4
42. Spellman F.R. *Handbook of water & wastewater treatment plant operations*. CRC Press. 2003. 669 pp.
43. Studer J.A., Weber T.M. *Erdbeben und Infrastrukturen. Abwassersysteme Zürich, Schweiz*. Freigabe BAFU: 2012.
44. Tampleton M., Butler D, *An introduction to wastewater treatment*. Ventus publishing Aps. 2011.
45. Teymoorian T. et al. Direct and indirect effects of SARS-CoV-2 on wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Volume 42

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Раздел 1. КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ</b> .....	6
<b>Глава 1. Значение и задачи канализации</b> .....	6
1.1. Введение .....	6
1.2. Задачи и значение канализации .....	7
1.3. Объекты канализования .....	8
1.4. Сточные воды и их классификация .....	9
1.5. Системы и схемы канализации .....	10
1.5.1. Основные элементы водоотводящих систем .....	10
1.5.2. Внутренняя и наружная канализация .....	12
1.5.3. Системы водоотведения городов .....	16
1.5.4. Системы водоотведения малонаселенных мест и отдельно расположенных объектов.....	20
1.5.5. Системы канализации промышленных предприятий.....	20
1.6. Схемы канализации .....	23
1.6.1. Канализация и ее основные сооружения.....	23
1.6.2. Схемы канализации населенных пунктов и промышленных предприятий .....	24
<b>Глава 2. Расчет расходов коммунально-бытовых и производственных сточных вод</b> .....	28
2.1. Факторы, определяющие объем и режим поступления сточных вод	28
2.2. Нормы водоотведения.....	28
2.3. Учет неравномерности водоотведения. Графики водоотведения .....	31
2.4. Расчетные расходы сточных вод.....	33
<b>Глава 3. Проектирование наружных канализационных сетей</b> .....	35
3.1. Проектирование канализационных сетей .....	35
3.2. Трассировка канализационной сети. ....	36
3.3. Расположение канализационных трубопроводов в поперечном профиле проездов .....	38
3.4. Глубина заложения канализационных сетей .....	40
3.5. Определение расходов для расчетных участков сети.....	42
3.6. Реконструкция и усиление канализационных сетей.....	44
3.6.1. Понятие и обоснование реконструкции и усиления .....	44
3.6.2. Методика решения задач по реконструкции .....	45
3.6.3. Усиление неконструктивных схем системы отведения воды.....	45
<b>Глава 4. Гидравлический расчет канализационных сетей</b> .....	48
4.1. Формы поперечных сечений труб и их гидравлическая характеристика .....	48
4.2. Минимальные диаметры и степень наполнения труб .....	50
4.3. Расчетные скорости движения сточных вод и минимальные уклоны .....	51
4.4. Режим течения сточных вод в наружной канализационной сети.....	53
4.5. Гидравлический расчет самотечных трубопроводов.....	55
4.5.1. Задачи гидравлического расчета.....	55

4.5.2. Порядок гидравлического расчета канализационных трубопроводов.....	55
<b>Глава 5. Правила построения продольного профиля канализационных сетей.....</b>	<b>60</b>
5.1. Продольный профиль канализационной сети .....	60
5.2. Правила конструирования канализационной сети.....	61
5.3. Трубы и коллекторы, применяемые при строительстве канализационной сети .....	62
5.3.1. Требования к материалам канализационных труб.....	62
5.3.2. Материалы трубопроводов .....	62
5.3.2. Монтаж трубопроводов водоснабжения и канализации .....	65
5.4. Методы прокладки подземных канализационных сетей в городах ...	65
5.4.1. Горизонтальное направленное бурение .....	66
5.4.2. Технология прокладки трубопроводов способами прокалывания и продавливания.....	66
<b>Глава 6. Сооружения на канализационных сетях .....</b>	<b>68</b>
6.1. Колодцы канализационных сетей .....	68
6.2. Перепадные колодцы .....	70
6.3. Обеспечение пересечения самотечных трубопроводов с препятствиями.....	72
6.4. Типы и схемы насосных станций для перекачки сточных вод.....	75
<b>Раздел 2. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД .....</b>	<b>79</b>
<b>Глава 7. Состав и свойства сточных вод .....</b>	<b>79</b>
7.1. Характеристика городских и промышленных сточных вод .....	79
7.2. Виды загрязнений сточных вод.....	80
7.3. Загрязнение взвешенными веществами .....	82
7.4. Загрязнение органическими веществами. Показатели БПК иХПК ..	83
7.5. Определение концентрации загрязнений в сточных водах.....	85
7.6. Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод. Влияние сточных вод на водоем.....	85
<b>Глава 8. Определение необходимой степени очистки сточных вод .....</b>	<b>87</b>
8.1. Нормативы качества воды в водоемах .....	87
8.2. Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть и в водоем .....	88
8.2.1. Условия сброса производственных сточных вод в городскую канализацию .....	88
8.2.2. Условия сброса производственных сточных вод в водоемы ....	88
8.3. Самоочищение водоемов .....	90
8.4. Определение предельно-допустимого сброса .....	92
8.5. Определение необходимой степени очистки сточных вод .....	94
8.5.1. Учет факторов самоочищения водоемов в расчетах.....	94
8.5.2. Определение необходимой степени очистки сточных вод .....	95
<b>Глава 9. Определение ущерба от сброса сточных вод в водоемы.....</b>	<b>99</b>
9.1. Экономическая оценка ущерба от загрязнения окружающей природной среды .....	99
9.2. Укрупненная оценка ущерба от загрязнения водоемов .....	101

9.3. Оценка социально-экологического ущерба от загрязнения рек сточными водами.....	103
9.4. Определение компенсационных выплат в Узбекистане .....	104
<b>Глава 10. Методы очистки коммунально-бытовых сточных вод .....</b>	<b>107</b>
10.1. Классификация методов очистки сточных вод .....	107
10.2. Принципы выбора метода удаления загрязнений.....	108
10.3. Количество и качество бытовых сточных вод и их осадков.....	109
10.4. Основные подходы к очистке городских сточных вод и осадка ...	110
10.5. Виды обработки коммунально-бытовых стоков .....	111
10.5. Очистка коммунально-бытовых сточных вод в Ташкенте .....	113
<b>Глава 11. Методы и сущность механической очистки сточных вод.....</b>	<b>115</b>
11.1. Процеживание .....	115
11.2. Гравитационная очистка .....	119
11.2.1. Песколовки .....	119
11.2.2. Отстойники.....	121
11.3. Центробежная очистка .....	126
11.4. Фильтрование.....	129
11.4.1. Механизмы фильтрации.....	130
11.4.2. Типы фильтров.....	130
<b>Глава 12. Методы и сущность биологической очистки.....</b>	<b>136</b>
12.1. Биохимические основы методов биологической очистки .....	136
12.2. Условия проведения биологической очистки .....	137
12.3. Технологии биологической очистки .....	139
12.3.1. Биологическая очистка в естественных условиях .....	140
12.3.2. Биологическая очистка в искусственных условиях.....	142
12.4. Методы глубокой очистки от органических загрязнений и взвешенных веществ .....	147
<b>Глава 13. Виды, методы и сооружения, применяемые для очистки промышленных сточных вод .....</b>	<b>149</b>
13.1. Химические методы очистки сточных вод. Нейтрализация.....	149
13.1.1. Нейтрализация сточных вод.....	149
13.1.2. Окислительный метод очистки. Озонирование. ....	151
13.2. Физико-химическая очистка сточных вод .....	155
13.2.1. Очистка сточных вод флотацией .....	155
13.2.3. Электрохимические методы очистки стоков.....	160
13.2.3. Очистка воды сорбцией .....	163
<b>Глава 14. Канализация малых населенных пунктов и применяемые сооружения .....</b>	<b>168</b>
14.1. Понятие «малой канализации».....	168
14.2. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод .....	169
14.2.1. Очистка очень маленьких объемов сточных вод .....	170
14.2.2. Аэробная очистка стоков малых населенных пунктов.....	174
14.3. Компактные аэрационные установки для биологической очистки сточных вод.....	176
<b>Глава 15. Проблемы очистки сточных вод животноводческих комплексов .....</b>	<b>178</b>

15.1. Статистические данные о животноводстве в Республике Узбекистан .....	178
15.2. Особенности и проблемы очистки сточных вод животноводческих ферм .....	178
15.3. Методы очистки сточных вод животноводческих ферм .....	183
15.3.1. Очистка навозных сточных вод .....	183
15.3.2. Очистка производственно-бытовых сточных вод .....	188
<b>Глава 16. Методы и сооружения обработки осадков сточных вод .....</b>	<b>189</b>
16.1. Образование осадка в очистных сооружениях .....	189
16.2. Состав и свойства осадков сточных вод .....	189
16.3. Утилизация осадков промышленной канализации. ....	190
16.4. Типы сооружений и методы обработки осадков городской канализации .....	191
16.5. Утилизация осадка сточных вод городской канализации .....	192
<b>Глава 17. Общая схема станции очистки сточных вод .....</b>	<b>200</b>
17.1. Технологическая схема очистной станции .....	200
17.2. Компонировка плана очистной станции .....	201
17.2. Высотная схема .....	202
17.3. Построение профиля «по илу» .....	204
17.4. Генеральный план Саларской станции аэрации .....	204
<b>ГЛОССАРИЙ .....</b>	<b>207</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>217</b>

## Mundarija

<b>KIRISH</b> .....	5
<b>1-bo'lim. KANALIZATSIYA TARMOQLARI VA TUZILMALARI</b> .....	6
<b>1-bob. Kanalizatsiyaning ahamiyati va vazifalari</b> .....	6
1.1. Kirish .....	6
1.2. Kanalizatsiya maqsadlari va ahamiyati .....	7
1.3. Kanalizatsiyalash ob'yektlari .....	8
1.4. Oqova suvlari va ularning tasnifi .....	9
1.5. Kanalizatsiya tizimlari va sxemalari .....	10
1.5.1. Suvni chiqarish tizimlarining asosiy elementlari .....	10
1.5.2. Ichki va tashqi kanalizatsiya.....	12
1.5.3. Shaharlarning kanalizatsiya tizimlari .....	16
1.5.4. Kichik aholi punktlari va alohida joylashgan ob'ektlar uchun suvni chiqarish tizimlari .....	20
1.5.5. Sanoat kanalizatsiya tizimlari .....	20
1.6. Kanalizatsiya sxemalari.....	23
1.6.1. Kanalizatsiya va uning asosiy inshootlari .....	23
1.6.2. Aholi punktlari va sanoat korxonolari uchun kanalizatsiya sxemalari .....	24
<b>2-bob. Kommunal va sanoat oqava suvlari xarajatlarini hisoblash</b> .....	28
2.1. Oqava suv olish hajmi va rejimini belgilovchi omillar .....	28
2.2. Suvni chiqarish meyyorlari.....	28
2.3. Suvni chiqarish notekisligini hisobga olish. Suvni chiqarish grafigi.....	31
2.4. Oqava sauvlarning hisobiy sarflari.....	33
<b>3-bob. Tashqi kanalizatsiya tarmoqlarini loyihalash</b> .....	35
3.1. Kanalizatsiya tarmog'ini loyihalash.....	35
3.2. Kanalizatsiya tarmoqlarini trassalash .....	36
3.3. Ko'cha va yo'llarining ko'ndalang kesimidagi kanalizatsiya quvurlarini joylashtirish.....	38
3.4. Kanalizatsiya tarmoqlarini qurish chuqurligi .....	40
3.5. Tarmoqning hisobiy uchastkalari uchun sarflarni aniqlash.....	42
3.6. Kanalizatsiya tarmoqlarini rekonstruksiya qilish va mustahkamlash .....	44
3.6.1. Rekonstruksiya va mustahkamlash kontseptsiyasi va asoslanishi ....	44
3.6.2. Rekonstruksiya muammolarini hal qilish usullari.....	45
3.6.3. Kanalizatsiya tizimining konstruktiv bo'lmagan sxemalarini mustahkamlash .....	45
<b>4-bob. Kanalizatsiya tarmoqlarining gidravlik hisobi</b> .....	48
4.1. Quvurlarning kesma shakllari va ularning gidravlik xususiyatlari .....	48
4.2. Quvurlarning minimal diametrlari va to'ldirish darajasi .....	50
4.3. Oqava suvning taxminiy harakati tezligi va minimal qiyaliklari .....	51
4.4. Tashqi kanalizatsiya tarmog'idagi oqava suvlar oqimi rejimi .....	53
4.5. O'z-o'zini oqish quvurlarini gidravlik hisobi.....	55
4.5.1. Gidravlik hisoblash masalalari .....	55
4.5.2. Kanalizatsiya quvurlarini gidravlik hisoblash tartibi .....	55



<b>5-bob. Kanalizatsiya tarmoqlarining bo'ylama profilini qurish qoidalari</b> .....	60
5.1. Kanalizatsiya tarmog'ining bo'ylama profili .....	60
5.2. Kanalizatsiya tarmog'ini loyihalash qoidalari .....	61
5.3. Kanalizatsiya tarmog'ini qurishda foydalaniladigan quvurlar va kollektorlar .....	62
5.3.1. Kanalizatsiya quvurlari materiallariga qo'yiladigan talablar .....	62
5.3.2. Quvur materiallari .....	62
5.3.3. Suv ta'minoti va kanalizatsiya quvurlarini o'rnatish .....	65
5.4. Shaharlarda yer osti kanalizatsiya tarmoqlarini yotqizish usullari .....	65
5.4.1. Gorizontal yo'nalishli burg'ulash .....	66
5.4.2. Bosish va teshish usullari bilan quvurlarni yotqizish texnologiyasi .....	66
<b>6 -bob. Kanalizatsiya tarmoqlaridagi inshootlar</b> .....	68
6.1. Kanalizatsiya quduqlari .....	68
6.2. Suvtushurgich quduqlari .....	70
6.3. O'z-o'zini oqish quvurlarining to'siqlar bilan kesishishini ta'minlash .....	72
6.4. Oqova suvlarini quyish uchun nasos stantsiyalarining turlari va sxemalari .....	75
<b>2 -bo'lim. OQAVA SUVLARINI TOZALASH</b> .....	79
<b>7-bob. Oqava suvlarning tarkibi va xossalari</b> .....	79
7.1. Shahar va sanoat oqava suvlarining xususiyatlari .....	79
7.2. Oqova suvlarning ifloslanish turlari .....	80
7.3. Suzib yuruvchi moddalar bilan ifloslanish .....	82
7.4. Organik ifloslanish. KBBT va KKBK ko'rsatkichlari .....	83
7.5. Oqava suvlardagi ifloslantiruvchi moddalar jamlanishini aniqlash .....	85
7.6. Oqava suvlarning ifloslanishining sanitariya-kimyoviy ko'rsatkichlari. Oqava suvlarning suv omboriga ta'siri .....	85
<b>8 -bob. Chiqindi suvlarni tozalashning zarur darajasini aniqlash</b> .....	87
8.1. Suv havzalarida suv sifati meyyorlari .....	87
8.2. Oqava suvlarni shahar kanalizatsiya tarmog'iga va suv havzalariga chiqarish shartlari .....	88
8.2.1. Shahar kanalizatsiya tizimiga sanoat oqava suvlarini tashlash shartlari .....	88
8.2.2. Sanoat oqava suvlarini suv havzalariga quyish shartlari .....	88
8.3. Suv havzalarini o'z-o'zini tozalash .....	90
8.4. Chegaraviy ruxsat etilgan tashlanmalarni aniqlash .....	92
8.5. Oqava suvlarni tozalashning zarur darajasini aniqlash .....	94
8.5.1. Suv ob'ektlarining o'z-o'zini tozalash omillarini hisob-kitoblarda inobatga olish .....	94
8.5.2. Oqava suvlarni tozalashning zarur darajasini aniqlash .....	95
<b>9 -bob. Oqova suvlarning suv havzalariga oqishi oqibatida yetkaziladigan zararni aniqlash</b> .....	99
9.1. Atrof -muhit ifloslanishidan zararni iqtisodiy baholash .....	99
9.2. Suv havzalarining ifloslanishidan yetkazilgan zararni umumlashtirilgan baholash .....	101
9.3. Daryolarning oqava suvlar bilan ifloslanishidan ijtimoiy va ekologik zararni baholash .....	103

9.4. O'zbekistonda kompensatsiya to'lovlarini aniqlash.....	104
<b>10 -bob. Shahar oqova suvlarini tozalash usullari .....</b>	<b>107</b>
10.1. Oqava suvlarni tozalash usullarining tasnifi .....	107
10.2. Ifloslanishlardan tozalash usulini tanlash tamoyillari .....	108
10.3. Maishiy oqava suvlarning va cho'kmalarining miqdori va sifati.....	109
10.4. Shahar oqava suvlari va loylarni tozalashga asosiy yondashuvlar.....	110
10.5. Kommunal-maishiy oqova suvlarini tozalash turlari .....	111
10.6. Toshkent shahridagi maishiy kommunal-maishiy oqova suvlarini tozalash .....	113
<b>11 -bob. Oqova suvlarni mexanik tozalash usullari va mohiyati .....</b>	<b>115</b>
11.1. Suzish.....	115
11.2. Tortish kuchi orqali tozalash .....	119
11.2.1. Qum o'shlagichlar .....	119
11.2.2. Tindirgichlar .....	121
11.3. Markazdan ko'chma kuch orqali tozalash.....	126
11.4. Filtrlash.....	129
11.4.1. Filtrlash mexanizmlari.....	130
11.4.2. Filtr turlari.....	130
<b>12 -bob. Biologik tozalash usullari va mohiyati .....</b>	<b>136</b>
12.1. Biologik tozalash usulining biokimyoviy asoslari .....	136
12.2. Biologik tozalash uchun zarur bo'lgan shartlari.....	137
12.3. Biologik tozalash texnologiyalari.....	139
12.3.1. Tabiiy sharoitlarda biologik tozalash .....	140
12.3.2. Sun'iy sharoitda biologik tozalash .....	142
12.4. Organik va suzib yuruvchi ifloslantiruvchi moddalardan chuqur tozalash usullari .....	147
<b>13-bob. Sanoat oqava suvlarini tozalash uchun ishlatiladigan turlar, usullar va tuzilmalar.....</b>	<b>149</b>
13.1. Oqava suvlarni kimyoviy tozalashning usullari. Neytrallashtirish .....	149
13.1.1. Oqava suvlarni neytrallashtirish .....	149
13.1.2. Oksidlash orqali tozalash usuli. Ozonlanish.....	151
13.2. Oqava suvlarni fizik-kimyoviy tozalash.....	155
13.2.1. Oqava suvlarni flotatsiya bilan tozalash.....	155
13.2.2. Oqava suvlarni tozalashning elektrokimyoviy usullari .....	160
13.2.3. Sorbsiya bilan suvni tozalash .....	163
<b>14-bob. Kichik aholi punktlari va amaliy inshootlarni kanalizatsiya qilish... 168</b>	<b>168</b>
14.1. "Kichik kanalizatsiya" tushunchasi .....	168
14.2. Kichik miqdordagi oqava suvlarni tozalash inshootlari .....	169
14.2.1. Juda oz miqdordagi chiqindi suvlarni tozalash .....	170
14.2.2. Kichik aholi punktlarining oqava suvlarini aerobik tozalash.....	174
14.3. Oqava suvlarni biologik tozalash uchun ixcham aerasiya qurilmalari	176
<b>15 -bob. Chorvachilik majmualarini oqava suvlardan tozalash muammolari .....</b>	<b>178</b>
15.1. O'zbekiston Respublikasida chorvachilik bo'yicha statistik ma'lumotlar .....	178

15.2. Chorvachilik xo'jaliklarining oqava suvlarini tozalash xususiyatlari va muammolari.....	178
15.3. Chorvachilik fermalari uchun oqava suvlarni tozalash usullari .....	183
15.3.1. Go'ngli oqava suvlarini tozalash.....	183
15.3.2. Ishlab chiqarish va maishiy oqava suvlarni tozalash.....	188
<b>16-bob. Kanalizatsiya cho'kmasini tozalash usullari va vositalari.....</b>	<b>189</b>
16.1. Kanalizatsiya tozalash inshootlarida loy hosil bo'lish.....	189
16.2. Kanalizatsiya cho'kmalarining tarkibi va xususiyatlari .....	189
16.3. Sanoat oqava suvlari cho'kmalaridan foydalanish.....	190
16.4. Qurilish turlari va shahar kanalizatsiya loylariga ishlov berish usullari .....	191
16.5. Shahar kanalizatsiya loylarini utilizatsiya qilish .....	192
<b>17 -bob. Chiqindi suvlarni tozalash stansiyasining umumiy sxemasi.....</b>	<b>200</b>
17.1. Kanalizatsiya tozalash stansiyasining texnologik sxemasi .....	200
17.2. Kanalizatsiya tozalash stansiyasining planini tuzish.....	201
17.2. Balandlik sxemasi .....	202
17.3. Profilni "loy bo'yicha" qurish.....	204
17.4. Salar aeratsiya stansiyasining bosh plani .....	204
<b>GLOSSARIY .....</b>	<b>207</b>
<b>ADABIYOTLAR RO'YHATI.....</b>	<b>217</b>

## Table of content

<b>INTRODUCTION</b> .....	5
<b>Section 1. SEWERAGE NETWORKS AND STRUCTURES</b> .....	6
<b>Chapter 1. Significance and tasks of sewerage</b> .....	6
1.1. Introduction.....	6
1.2. Sewerage objectives and significance .....	7
1.3. Sewerage facilities .....	8
1.4. Wastewater and its classification.....	9
1.5. Sewerage systems and schemes.....	10
1.5.1. The main elements of drainage systems .....	10
1.5.2. Internal and external sewerage .....	12
1.5.3. Wastewater systems for cities.....	16
1.5.4. Drainage systems for sparsely populated areas and separately located objects .....	20
1.5.5. Industrial sewerage systems .....	20
1.6. Sewerage schemes .....	23
1.6.1. Sewerage and its main structures.....	23
1.6.2. Sewerage schemes for settlements and industrial enterprises .....	24
<b>Chapter 2. Calculation of consumptions of municipal and industrial wastewater</b> .....	28
2.1. Factors determining the volume and mode of wastewater intake .....	28
2.2. Drainage norms.....	28
2.3. Taking into account the unevenness of drainage. Drainage schedules ....	31
2.4. Estimated waste water consumptions .....	33
<b>Chapter 3. Design of external sewerage networks</b> .....	35
3.1. Sewer network design .....	35
3.2. Sewer network tracing .....	36
3.3. Arrangement of sewer pipelines in the cross-section of driveways .....	38
3.4. Depth of sewerage networks .....	40
3.5. Determination of costs for calculated sections of the network .....	42
3.6. Reconstruction and strengthening of sewerage networks .....	44
3.6.1. Reconstruction and strengthening of sewerage networks .....	44
3.6.2. Methods for solving problems of reconstruction .....	45
3.6.3. Strengthening non-structural schemes of the water drainage system	45
<b>Chapter 4. Hydraulic calculation of sewer networks</b> .....	48
4.1. Cross-sectional shapes of pipes and their hydraulic characteristics.....	48
4.2. Minimum diameters and degree of filling of pipes .....	50
4.3. Estimated wastewater movement velocities and minimum slopes .....	51
4.4. Wastewater flow regime in the external sewerage network.....	53
4.5. Hydraulic calculation of gravity pipelines .....	55
4.5.1. Hydraulic calculation tasks.....	55
4.5.2. The procedure for hydraulic calculation of sewer pipelines .....	55
<b>Chapter 5. Rules for constructing a longitudinal profile of sewer networks</b> ...	60
5.1. Longitudinal profile of the sewer network .....	60
5.2. Rules for the design of the sewer network .....	61
5.3. Pipes and collectors used in the construction of the sewer network .....	62

5.3.1. Requirements for materials of sewer pipes .....	62
5.3.2. Pipes materials .....	62
5.3.3. Installation of water supply and sewerage pipelines .....	65
5.4. Methods of laying underground sewerage networks in cities .....	65
5.4.1. Horizontal directional drilling .....	66
5.4.2. The technology of laying pipelines by piercing and punching methods .....	66
<b>Chapter 6. Structures on sewer networks .....</b>	<b>68</b>
6.1. Sewer wells .....	68
6.2. Difference wells .....	70
6.3. Ensuring the intersection of gravity pipelines with obstacles .....	72
6.4. Types and schemes of pumping stations for pumping wastewater .....	75
<b>Section 2. WASTE WATER TREATMENT .....</b>	<b>79</b>
<b>Chapter 7. Composition and properties of wastewater .....</b>	<b>79</b>
7.1. Characteristics of urban and industrial wastewater .....	79
7.2. Types of wastewater pollution .....	80
7.3. Suspended matter pollution .....	82
7.4. Organic pollution. Indicators BOD and CPD .....	83
7.5. Determination of the concentration of pollutants in wastewater .....	85
7.6. Sanitary and chemical indicators of wastewater pollution. Impact of wastewater on the natural water reservoirs .....	85
<b>Chapter 8. Determination of the required degree of wastewater treatment ...</b>	<b>87</b>
8.1. Water quality standards in natural reservoirs .....	87
8.2. Conditions for discharging wastewater into the city drainage network and into the natural reservoir .....	88
8.2.1. Conditions for the discharge of industrial wastewater into the city sew- age system .....	88
8.2.2. Conditions for the discharge of industrial wastewater into the natural reservoirs .....	88
8.3. Self-cleaning of natural water reservoirs .....	90
8.4. Determination of the maximum permissible wastewater discharge .....	92
8.5. Determination of the required degree of wastewater treatment .....	94
8.5.1. Taking into account the factors of self-purification of water bodies in calculations .....	94
8.5.2. Determination of the required degree of wastewater treatment .....	95
<b>Chapter 9. Determination of damage from wastewater discharge into natural water reservoirs .....</b>	<b>99</b>
9.1. Economic assessment of damage from environmental pollution .....	99
9.2. Aggregated assessment of damage from pollution of water bodies .....	101
9.3. Assessment of social and environmental damage from pollution of rivers with wastewater .....	103
9.4. Determination of compensation payments in Uzbekistan .....	104
<b>Chapter 10. Methods for treatment of municipal wastewater .....</b>	<b>107</b>
10.1. Classification of wastewater treatment methods .....	107
10.2. Principles for choosing a method of cleaning from contamination .....	108

10.3. The quantity and quality of waste and sludge from municipal wastewater .....	109
10.4. Key approaches to urban wastewater and sludge treatment.....	110
10.5. Types of municipal wastewater treatment.....	111
10.6. Treatment of municipal waste water in Tashkent .....	113
<b>Chapter 11. Methods and essence of mechanical wastewater treatment.....</b>	<b>115</b>
11.1. Screening .....	115
11.2. Cleaning by the forces of gravity .....	119
11.2.1. Sand traps.....	119
11.2.2. Sediment basins .....	121
11.3. Centrifugal cleaning .....	126
11.4. Filtration .....	129
11.4.1. Filtration Mechanisms .....	130
11.4.2. Filter types .....	130
<b>Chapter 12. Methods and essence of biological treatment .....</b>	<b>136</b>
12.1. Biochemical basis of biological treatment methods.....	136
12.2. Biological treatment conditions.....	137
12.3. Biological treatment technologies .....	139
12.3.1. Biological treatment in vivo .....	140
12.3.2. Biological treatment in artificial conditions .....	142
12.4. Methods for deep cleaning from organic contaminants and suspended solids.....	147
<b>Chapter 13. Types, methods and structures used for industrial wastewater treatment.....</b>	<b>149</b>
13.1. Chemical methods of wastewater treatment. Neutralization.....	149
13.1.1. Wastewater neutralization .....	149
13.1.2. Oxidative cleaning method. Ozonation. ....	151
13.2. Physical and chemical wastewater treatment .....	155
13.2.1. Wastewater treatment by flotation.....	155
13.2.2. Electrochemical methods of wastewater treatment .....	160
13.2.3. Water purification by sorption.....	163
<b>Chapter 14. Sewerage of small settlements and applied structures.....</b>	<b>168</b>
14.1. The concept of "small sewerage" .....	168
14.2. Small amount wastewater treatment plants .....	169
14.2.1. Treatment of very small volumes of wastewater.....	170
14.2.2. Aerobic treatment of wastewater from small settlements .....	174
14.3. Compact aeration plants for biological wastewater treatment .....	176
<b>Chapter 15. Problems of wastewater treatment of livestock complexes.....</b>	<b>178</b>
15.1. Statistical data on livestock in the Republic of Uzbekistan .....	178
15.2. Features and problems of wastewater treatment of livestock farms .....	178
15.3. Wastewater treatment methods for livestock farms .....	183
15.3.1. Manure wastewater treatment.....	183
15.3.2. Industrial and domestic wastewater treatment .....	188

<b>Chapter 16. Methods and facilities for the treatment of sewage sludge.....</b>	<b>189</b>
16.1. Sludge formation in sewage treatment plants.....	189
16.2. Composition and properties of sewage sludge .....	189
16.3. Utilization of industrial sewage sludge. ....	190
16.4. Types of structures and methods of treatment of urban sewage sludge	191
16.5. Urban sewage sludge disposal.....	192
<b>Chapter 17. General scheme of a wastewater treatment plant.....</b>	<b>200</b>
17.1. Technological scheme of the sewage treatment plant .....	200
17.2. Sewage treatment plant plan layout.....	201
17.2. High-rise scheme .....	202
17.3. Building a profile "by silt".....	204
17.4. General plan of Salar aeration station .....	204
<b>GLOSSARY .....</b>	<b>207</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>217</b>

**М.Н. Абдукоддырова, М.В.Радкевич, К.Б.Шипилова**

# **КАНАЛИЗАЦИЯ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

**/ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ /**

Редактор: Н.Ташходжаева

---

*Подписано в печать: 23.11.2021 г. Формат 60x84 - 1/16.*

*Объём: 14,75 п.л. Тираж: 50 экз. Заказ № 0084 .*

*Отпечатано в типографии ТИИИМСХ.*

*Ташкент 100000, ул. Кари-Ниязова, 39.*









